

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PERSISTÊNCIA DE PALHADA DE PLANTAS DE COBERTURA EM
FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E RESPOSTA DO FEIJOEIRO EM
SUCESSÃO**

FABIANA APARECIDA FERNANDES

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP
Janeiro - 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PERSISTÊNCIA DE PALHADA DE PLANTAS DE COBERTURA EM
FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E RESPOSTA DO FEIJOEIRO EM
SUCESSÃO**

FABIANA APARECIDA FERNANDES

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP
Janeiro - 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - RUA DO LAGEADO - BOTUCATU (SP)

F363p Fernandes, Fabiana Aparecida, 1982-
Persistência de palhada de plantas de cobertura em função de doses de silício e resposta do feijoeiro em sucessão / Fabiana Aparecida Fernandes. - Botucatu : [s.n.], 2008.
ix, 80 f. : il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008
Orientador: Leonardo Theodoro Büll
Inclui bibliografia

1. Feijão. 2. Plantio direto. 3. Resíduos vegetais. 4. Silício. 5. Metabolismo secundário. I. Büll, Leonardo Theodoro. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

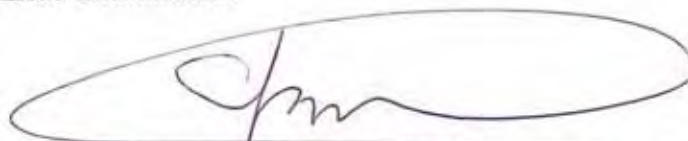
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: PERSISTÊNCIA DE PALHADA DE PLANTAS DE COBERTURA EM
FUNÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO E RESPOSTA DO FEJJOEIRO EM
SUCESSÃO.**

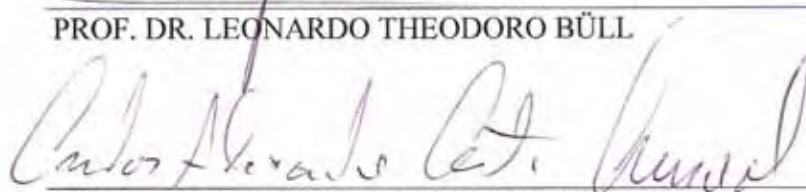
ALUNO: FABIANA APARECIDA FERNANDES

ORIENTADOR: PROF. DR. LEONARDO THEODORO BÜLL

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. LEONARDO THEODORO BÜLL



PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL



PROF. DR. TAKASHI MURAOKA

Data da Realização: 30 de janeiro de 2008.

*Aos meus pais,
Hélio e Edna, pelo
amor, apoio e
atenção e a minha
irmã Sandra,
minha avô e aos
meus tios...*

Dedico

*Aos meus amigos,
os quais levarei comigo nas
minhas lembranças e no
meu coração*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, oportunidades e desafios que tem me proporcionado.

Aos meus pais e minha irmã, pela dedicação, apoio e compreensão que me fortalecem a cada dia.

Ao professor Leonardo Theodoro Büll pela valiosa orientação dedicada.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo, apoio financeiro fundamental na capacitação de profissionais.

A FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP) pelo apoio financeiro ao projeto.

Aos meus companheiros de orientação pelo auxílio e amizade em especial ao aluno de graduação Douglas Crespam.

Aos funcionários da diretoria em especial a Shirley, pela disposição e ajuda relevante.

Ao meu amigo Flávio Binotti, pela contribuição no trabalho, apoio e amizade sincera, apesar da distância.

Aos funcionários das Fazendas de Ensino e Pesquisa da UNESP Campus Botucatu, pelo auxílio prestado.

Aos funcionários da biblioteca “Paulo de Carvalho Mattos” pela dedicação e atenção dispensadas.

Aos amigos, pela companhia, respeito, pela contribuição que ofereceram ao meu crescimento como ser humano e prazer das convivências divididas nos últimos anos: Andréia Rodrigues, Camila Manete Rigolon, Ilka Cantanhede, Rodrigo Foltran e José Iran.

Aos professores Dirceu Maximino Fernandes, Carlos Alexandre Costa Crusciol e Hélio Grassi Filho, pela atenção, sugestões, colaborações e incentivo.

A meu amigo e namorado Jean Adriano Rogoni por estar sempre ao meu lado nos momentos difíceis, pela atenção, carinho, paciência e por me ajudar a ser uma pessoa melhor e principalmente por me ensinar a ver o mundo de uma perspectiva mais feliz e otimista.

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais, em especial, Adenir Pires, Jair Vieira, José Carlos Coelho, José de Pieri e Noel Batista, que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, em especial Ciro Oliveira, Célio Ricardo e Dorival Arruda pelo auxílio e sugestões na realização do experimento.

Á funcionária Regina do Centro de Energia Nuclear – USP, pelas sugestões e auxílio nas análises laboratoriais.

Ao Departamento de Melhoramento e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP de Botucatu, em especial ao funcionário do laboratório Renato.

A todos os meus amigos, com os quais já convivi e/ ou ainda tenho o prazer de conviver, que tornam minha vida bem mais feliz: Fernando Pajara, Edir Rodrigues Lima, José Carlos, Edna Akisue, Alessandra Jacometo, Helena Eid, Jeferson do Prado e Marta Eid e suas filhas, Maiana, Paola e Yasmin.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1 Cultura do feijão	7
4.2 Culturas de cobertura	8
4.3 Plantio Direto.....	12
4.4 Silício	16
4.5 Metabolismo vegetal secundário	20
5 MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1 Localização e caracterização da área experimental	23
5.2 Delineamento experimental.....	23
5.3 Tratamentos	24
5.5 Instalação e condução do experimento.....	24
5.6 Determinações	26
5.6.1 Análise de metabólitos secundários	28
5.6.2 Diagnose foliar - feijão	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1 Análise química do tecido vegetal da parte aérea das plantas de cobertura.....	30
6.2 Análise química do tecido vegetal e biomassa seca da cultura do feijão	40
6.3 Persistência de palhada, acúmulo e liberação de nutrientes	48
6.3.1 Resíduos vegetais produzidos	48
6.3.2 Resíduos vegetais degradados.....	51
7 CONCLUSÕES.....	63
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Atributos químicos do solo usado no experimento (Macronutrientes).....	24
2. Atributos químicos do solo usado no experimento (Micronutrientes e Si disponível em CaCl ₂).	25
3. Atributos do silicato de cálcio e magnésio utilizado no experimento.	25
4. Atributos químicos do solo para cada tratamento após o período de incubação (Macronutrientes).....	28
5. Atributos químicos do solo usado no experimento (Micronutrientes).....	28
6. Composição química do tecido vegetal da parte aérea das plantas de cobertura após a dessecação (valores médios).....	32
7. Composição química do tecido vegetal da parte aérea das plantas de cobertura após o período de decomposição (125 dias).....	33
8. Desdobramentos das interações positivas referente à extração de K(g kg ⁻¹) pelas de cobertura.....	39
9. Desdobramento das interações positivas referentes ao teor de Cu (mg kg ⁻¹)extraído pelas espécies de cobertura até a dessecação.	39
10. Desdobramentos das interações positivas para Fe (mg kg ⁻¹) nas espécies de cobertura após período de decomposição.	40
11. Valores médios da composição química e biomassa seca da parte aérea da cultura do feijoeiro.	42
12. Valores médios para os componentes químicos acumulados pelas espécies de coberturas até a dessecação.	49
13. Desdobramento das interações positivas referente ao K (kg ha ⁻¹) acumulado em coberturas após dessecação.	50
14. Desdobramento das interações positivas referente ao Cu (g ha ⁻¹) acumulado em coberturas após dessecação.	51
15. Valores médios para os componentes químicos remanescentes na palhada das espécies de coberturas após o período de decomposição.....	52
16. Valores médios para lignina, fenóis totais, taninos totais e condensados.....	58
17. Valores médios para lignina e matéria seca após período de decomposição.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Teor de Mg na parte aérea das plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	31
2. Teor de Mn na parte aérea das plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	34
3. Teor de B remanescente na parte aérea de plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	35
4. Teor de Fe remanescente na parte aérea de plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	35
5. Teor de Si remanescente na parte aérea de plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	36
6. Teor de Mg na parte aérea do feijão em função das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	41
7. Teor de S na parte aérea do feijão em função das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	43
8. Teor de Mn na parte aérea do feijão em função das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	43
9. Teor de Si na parte aérea do feijão em função das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	44
10. Desdobramento das interações positivas referentes à massa de matéria seca da parte aérea do feijoeiro em função de plantas de cobertura e das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.	46
11. Teor de P na parte aérea do feijoeiro em função de plantas de cobertura e das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.	46
12. Desdobramento das interações positivas referentes ao teor de S na parte aérea do feijoeiro em função de plantas de cobertura e das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	47
13. Teor de Mg (kg ha ⁻¹) remanescente na parte aérea de plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	53
14. Valores médios de Mn remanescente na palhada em função das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.....	55

15. Desdobramento das interações positivas referentes Cu remanescente (g kg^{-1}) da parte aérea de plantas de cobertura em função das proporções de silicato de cálcio utilizado como corretivo.56
16. Desdobramento das interações significativas para valores médios de taninos condensados nas plantas de cobertura braquiária, guandu e milheto, em função das proporções de silicato utilizado como corretivo.....59
17. Teor de lignina na parte aérea das plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato de cálcio no corretivo.59
18. Teor de lignina na parte aérea das plantas de cobertura braquiária, guandu e milheto em função do aumento das proporções de silicato utilizado como corretivo.....61

1 RESUMO

A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo é essencial para a sustentabilidade do sistema plantio direto, para tanto, é fundamental a seleção de coberturas vegetais com elevada capacidade de produção de massa seca, principalmente, em regiões onde as condições climáticas são favoráveis à rápida decomposição, além do estabelecimento de manejos da palhada que minimizem esse efeito, visando à proteção superficial do solo, formação de palhada, bem como reciclagem de nutrientes, com impacto direto nos atributos químicos do solo e na resposta das culturas subseqüentes ou em rotação. Assim o objetivo do trabalho foi avaliar a persistência da palhada de espécies de cobertura em função da aplicação de silicato e calcário e a resposta da cultura do feijão em sucessão em semeadura direta. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso disposto em um esquema fatorial 3x5, com quatro repetições. O trabalho foi desenvolvido em estufa, no Departamento de Produção Vegetal, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, *Campus* Botucatu. As parcelas foram constituídas por cinco doses de silicato de cálcio, calculadas em função da quantidade necessária para elevar a saturação por bases a 70%, dispostas da seguinte forma: 1 – 0 de silicato cálcio e 100% de calcário; 2 - 25% de silicato de cálcio e 75% de calcário; 3 – 50% de silicato de cálcio e 50% de calcário; 4 – 75% de silicato de cálcio e 25% de calcário; 5 - 100% de

silicato de cálcio e 0 de calcário e três espécies de cobertura: milheto (*Pennisetum americanum* L.), braquiarião (*Brachiaria brizantha*) e guandu anão (*Cajanus cajan* L.). O calcário utilizado foi uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 PA de modo a obter as mesmas proporções de Ca e Mg, tanto no calcário como no silicato variando, dessa maneira, apenas o teor de silício em cada tratamento. As subparcelas foram constituídas por três espécies de cobertura: milheto. Os parâmetros analisados foram: teor e acúmulo de nutrientes na palhada produzida e remanescente após o período de decomposição, metabólitos secundários (lignina, fenóis totais, taninos totais e condensados na palhada produzida e lignina na palhada produzida e remanescente), matéria seca final, análise química do solo, teor de nutrientes e produção de matéria seca no feijoeiro. A matéria seca produzida que retornou ao solo foi a mesma para todos os tratamentos, equivalente a 6 t kg^{-1} . Os maiores teores de N, K, Ca, S, B, Cu, Mn e Zn tanto na palhada produzida como degradada foram obtidos na cultura do guandu. Os maiores teores de Si para palhada produzida (inicial) foram obtidos no guandu, no entanto, após o período de decomposição os maiores teores foram verificados nas gramíneas. As proporções de silicato afetaram de forma negativa os teores de Mg e possibilitaram incremento nos teores de Mn, tanto na palhada produzida como na remanescente. O guandu, apesar de ter apresentado baixa persistência de palhada, foi o resíduo vegetal que proporcionou maior ciclagem de nutrientes. O milheto e a braquiária, produziram as palhadas mais persistentes, porém, com menor ciclagem de nutrientes para o solo. O aumento das proporções de silicato não possibilitaram maior acúmulo de lignina na palhada e também não proporcionaram a obtenção de palhadas mais persistentes. A brachiaria foi a espécie de cobertura mais eficiente para o crescimento da planta de feijão. O crescimento do feijoeiro foi favorecido pela aplicação de silicato de cálcio, sendo que esse resultado depende do tipo de planta de cobertura utilizada no sistema plantio direto.

COVER CROP PERSISTENCE AS A FUNCTION OF SILICON RATE AND THE RESPONSE OF BEAN IN SUCCESSION. Botucatu, 2007. 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FABIANA APARECIDA FERNANDES

Adviser: LEONARDO THEODORO BÜLL

2 SUMMARY

The maintenance of residual vegetation on the surface of the soil is essential for the sustainability no till, therefore, is essential the selection of covering vegetation with an increase capacity for the production of dry mass, especially in regions where climate conditions are favorable for rapid decomposition, along with establishing ways to handle the ground cover to minimize this effect, aiming for the protection of the soil surface, ground cover formation, as well as nutrients recycling, with direct impact on chemical properties of the soil and on response to subsequent or rotation crop. Therefore, the objective of the research was to evaluate the continued usage of the ground cover species as in function of the correction of the soil with silicate and lime and the response of the beans crop in succession in the direct plantation system. The experimental outlined used was the random blocks arranged in a 3x5 factorial design, with four replication. The experiment was developed in greenhouse, in the Department of Agriculture, of the Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA – UNESP, Campus Botucatu. The plots were composed by five doses of calcium silicate, calculated as a function of the quantity necessary to increase base saturation to 70%, arranged as follows: 1 – 0% calcium silicate and 100% lime; 2 – 25% calcium silicate and 75% lime; 3 – 50% calcium silicate and 50% lime; 4 – 75% calcium silicate and 25% lime; 5 – 100% calcium silicate and 0% lime and three species of cover crops: millet (*Pennisetum americanum* L) beard grass (*Brachiaria brizantha*) pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). The lime used was a mixture of CaCO₃ and MgCO₃ PA, so as to obtain the same proportions of Ca and Mg, both in the lime and in the silicate, this way varying, only the silicon content in each treatment. The parameters analyzed were: content and accumulation of nutrients of the cover crops produced and remainder after the decomposition period, secondary metabolites (lignin, total phenols,

total tannins condensed on the ground cover produced and lignin on the remaining cover crops, final dry material, chemical analysis of the soil, nutrient content and bean dry material production. The dry material produced that was returned to the soil was the same for all treatments, equivalent to 6 t kg^{-1} . The largest content of N, K, Ca, S, B, Cu, Mn and Zn, both in the ground cover produced and degraded were obtained in the e pigeon pea crop. The largest content of Si in the produced ground cover (initial) was in the pigeon pea, however, after the decomposition period, the largest amount were found in the grass. The proportion of silicon negatively affected the Mg content and increased the Mn content, both in the ground cover produced as in the remaining. The pigeon pea, besides showing low ground cover persistence, was the residual vegetation that produced the largest cycling of nutrients. The millet and the beard grass produced the most persistent ground cover, although with the least cycling of nutrients to the soil. The proportion of silicate used did not provide major accumulations of lignin in the ground cover, nor did it produce the acquisition of more persistent ground cover. The brachiaria was the better plant at the growth bean. Silicate fertilizer increase the growth bean, this results rely at the covering plants used in no-till system.

Keywords: no till, persistence of ground cover, vegetation cover, silicon

3 INTRODUÇÃO

A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo é essencial para a sustentabilidade do plantio direto, funcionando, também, como um reservatório de nutrientes que são liberados lentamente pela ação dos microorganismos. A eficácia dos preparos conservacionistas de solo, especialmente a semeadura direta, está relacionada, dentre outros fatores, com a quantidade de resíduos culturais e com a cobertura superficial do solo.

O desempenho dos preparos conservacionistas, especialmente a semeadura direta, depende, em grande parte, do conhecimento da taxa de decomposição dos resíduos culturais mantidos sobre a superfície do solo (STOTT et al. 1983). O conhecimento da taxa de decomposição de resíduos culturais contribui para o planejamento de práticas conservacionistas que visem otimizar os benefícios desses resíduos durante os períodos críticos decorrentes da erosão (BERTOL et al., 1998).

No sistema plantio direto, visando controlar a erosão, preconiza-se a manutenção de elevada quantidade de resíduos que protejam a superfície do solo pelo maior período de tempo possível. Por outro lado, para que a cultura de cobertura seja eficiente no suprimento de N e outros nutrientes, há a necessidade de que a decomposição dos resíduos ocorra em sincronismo com a demanda da cultura em sucessão; a combinação

destes dois objetivos tem sido um desafio para agricultores e técnicos (AMADO et al., 2003).

A persistência dos resíduos culturais sobre o solo é definida pela sua velocidade de decomposição, a qual é uma variável importante no manejo do solo. Este processo é essencialmente biológico, sujeito à interferência de diversos fatores (clima, temperatura, tipo de solo, relação C/N etc.), dentre esses a relação C/N assume importante papel na decomposição e na imobilização/mineralização de N do solo (SANTI et al., 2003)

Portanto, é fundamental a seleção de coberturas vegetais com elevada capacidade de produção de massa seca, principalmente, em regiões onde as condições climáticas são favoráveis à rápida decomposição, além do estabelecimento de manejos da palhada que minimizem esse efeito, visando à proteção superficial do solo, formação de palhada, bem como reciclagem de nutrientes, com impacto direto nos atributos químicos do solo e na resposta das culturas subsequentes ou em rotação. Neste sentido, vários autores têm abordado o papel do silício nas plantas, principalmente a sua relação com a síntese de compostos polifenólicos, como a lignina (INANAGA e OKASAKA, 1995; MARSCHENER, 1995), além dos compostos fenólicos, quitinas e peroxidases, relacionando-o a resistência das plantas a doenças e pragas, no entanto, não existe na literatura trabalhos que enfoquem a relação do silício com a degradação da palhada.

Portanto, neste trabalho, a hipótese testada é que o aumento da disponibilidade de silício possibilita incremento na síntese de metabólitos secundários, como lignina, taninos e fenóis, reduzindo a decomposição das plantas e, dessa maneira, aumentando a persistência da palhada ao longo do tempo.

Assim o objetivo do trabalho foi avaliar a persistência da palhada de espécies de cobertura em função da aplicação de doses silicato e a resposta da cultura do feijão em sucessão em semeadura direto.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cultura do feijão

O feijão é uma leguminosa de justificada importância na economia brasileira, por ser uma alternativa de exploração econômica para propriedades rurais, inclusive as pequenas, por ser uma alternativa que ocupa mão-de-obra menos qualificada (FERREIRA et al., 2002) e um dos principais produtos fornecedores de proteína na dieta alimentar.

Devido sua boa adaptação as mais variadas condições edafoclimáticas do Brasil, o feijoeiro faz parte da maioria dos sistemas produtivos, cuja produção é direcionada ao consumo familiar e à comercialização do excedente. O feijoeiro é cultivado nos mais variados tipos de solo, clima, sistemas de produção e em três safras anuais (YOKOYAMA et al., 1996).

Quanto à estrutura produtiva, ainda conforme a Análise Conjuntural (CONAB, 2003 citada por FUSCALDI E PRADO, 2005), as lavouras com área inferior a 10 ha somam 75% do universo de lavouras nacionais de feijão. Contudo, as lavouras de 10 a 100 ha representam 19%, e de 100 a 500 ha somam 4% do universo. Já as

lavouras com mais de 500 ha, somam apenas 2% da área cultivada com feijão, no Brasil. Portanto, a cultura do feijão continua sendo uma atividade de pequenos e médios produtores rurais.

O feijão tem extrema importância econômica no Brasil. De acordo com os valores divulgados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2008), na safra 2006-07, o feijão representou o quinto grânifero mais produzido, ficando atrás apenas da soja, do milho, do arroz e do trigo.

4.2 Culturas de cobertura

Um fator determinante para o sucesso do sistema plantio direto é a escolha da espécie de cobertura do solo (ARGENTA et al., 2001). O retorno de material orgânico ao solo é prática essencial para garantir a sustentabilidade de qualquer atividade agrícola produtiva na região tropical, em especial em agroecossistemas intensivos (PRIMAVESI et al., 2002). No entanto, nas regiões tropicais são poucos os trabalhos de pesquisa sobre este assunto (PEREIRA, 1990), onde o clima favorece a rápida decomposição dos restos culturais, devendo-se, neste caso, atentar para a quantidade e persistência dos resíduos vegetais (PRIMAVESI et al., 2002).

As coberturas vegetais podem exercer efeitos positivos e negativos sobre o desenvolvimento de plantas, sendo que a escolha das espécies para compor um programa de rotação e sucessão de culturas deve levar em conta, entre outros fatores, o seu objetivo. Para cobertura vegetal do solo e suprimento inicial de palhada, deve-se optar por espécies de gramíneas com elevada capacidade de produção de matéria seca, facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade, rapidez na formação da cobertura, eficiente reciclagem, funcionando como fonte de nutrientes, características ecofisiológicas da espécie compatíveis ao local de cultivo e possibilidade de retorno financeiro (ARGENTA et al. 2001). Dispõe-se de várias espécies de cobertura de solo com características adequadas para o SPD, beneficiando os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, dentre as quais se pode citar o milheto, o guandu e a braquiária.

Cultivado há muito tempo no continente africano, o milheto (*Pennisetum americanum*) é uma gramínea anual, de clima quente, muito resistente à seca, no Brasil, pode ser usada como forrageira e vem se destacando no seu uso em rações e em

consórcio com leguminosas em plantio direto. Possui inflorescência na forma de panícula terminal que mede de cinco a cinquenta centímetros de comprimento, sistema radicular vigoroso, embora 80% das raízes se concentrem nos primeiros dez centímetros. Em condições de solo e clima às vezes bastante inóspitos, o milho desenvolve um sistema radicular profundo, que permite à planta aproveitar melhor os nutrientes que estão abaixo da camada superficial do solo, além disso, as grandes raízes auxiliam na descompactação, reestruturação do solo e permite acesso à água em períodos de seca (SALTON e KICHEL, 1998).

Apesar dos avanços na pesquisa e todo conhecimento técnico a respeito do sistema plantio direto (SPD), a maximização de seus benefícios na região dos Cerrados, onde ocupa extensas áreas, tem como maiores obstáculos a monocultura e a dificuldade de manutenção de 12 t ha⁻¹ de palhada sobre o solo, indicada como ideal para essa região (SANCHEZ e LOGAN, 1992; SÉGUY et al., 1992; ALVARENGA et al., 2001). Entre as inúmeras espécies que tem sido avaliadas e recomendadas, o milho ainda é a mais utilizada como planta de cobertura no cerrado, ocupando, atualmente, uma área estimada em 4,0 milhões de hectares (MARTINS NETO e BONAMIGO, 2005). Isso se deve, principalmente, à elevada tolerância à seca, ao seu rápido crescimento, à elevada capacidade de extração e reciclagem de nutrientes e à alta produção de matéria seca, da ordem de 5 a 15 t ha⁻¹, variação que ocorre em razão das condições de clima, época de semeadura e da fertilidade do solo

A capacidade de aproveitar melhor os nutrientes permite um crescimento vigoroso, chegando a 2 metros de altura; outra vantagem do milho é a lenta decomposição de sua palhada, liberando lentamente os nutrientes absorvidos pela planta, tornando-os disponíveis para as culturas subseqüentes (CHAGAS, 2004). Outro efeito útil dessa cultura é a cobertura do solo com massa seca, que exerce proteção contra intempéries, (NETTO, 1998).

Segundo PITOL et al. (1996), o uso do milho no plantio direto tem sido viável por permitir a formação de ótima cobertura do solo. De acordo com KICHEL e MACEDO (1994), a utilização de milho em sistema de plantio direto deve-se à formação de uma ótima palhada. CARNEIRO e BORGES (1994) destacam a viabilidade de uso do milho na entressafra, devido à rapidez com que cobre o solo.

O guandu foi introduzido no Brasil e Guianas pela rota dos escravos procedentes da África, tornando-se largamente distribuída e semi naturalizado na

região tropical, onde assumiu importância como fonte de alimento humano, forragem e também como cultura para adubação verde (MORTON et al., 1982).

Como existe um grande número de variedades, as plantas de guandu apresentam grande variação de porte, hábito de crescimento, características de sementes e respostas a fotoperíodo. O guandu, de ciclo anual ou perene, é uma leguminosa forrageira comumente semeada nas regiões tropicais e subtropicais, adaptada a ampla faixa de precipitação, mostra-se resistente à seca, desenvolvendo-se melhor em temperaturas mais elevadas (MITIDIARI, 1983; SEIFFERT e THIAGO, 1983). A maioria dos acessos é sensível ao fotoperíodo e tem resposta positiva ao florescimento em dias curtos (SUMMERFILED e ROBERTS, 1985). Na estação seca, na região dos Cerrados, torna-se caducifólia devido à severa deficiência hídrica registrada na região nesse período (PEREIRA et al., 1992). O guandu (*Cajanus cajan*), de ciclo anual ou perene, é uma leguminosa forrageira comumente semeada nas regiões tropicais e subtropicais. Adaptada a ampla faixa de precipitação, mostra-se resistente à seca, desenvolvendo-se melhor em temperaturas mais elevadas (MITIDIARI, 1983; SEIFFERT e THIAGO, 1983). A maioria dos acessos é sensível ao fotoperíodo e tem resposta positiva ao florescimento em dias curtos (SUMMERFILED e ROBERTS, 1985). Na estação seca, na região dos Cerrados, torna-se caducifólia devido à severa deficiência hídrica registrada na região nesse período (PEREIRA et al., 1992). O *Cajanus cajan* var. *flavus* DC, inclui plantas de porte baixo, produção precoce de sementes, flores de cor amarela, vagens de cor verde com duas a seis sementes (EMBRAPA, 2006).

As leguminosas possuem a capacidade de fixar N atmosférico por meio de simbiose com bactérias específicas e, desta forma, elevar a disponibilidade desse nutriente no solo, sendo uma característica positiva para beneficiar a cultura em sucessão (MASCARENHAS et al., 2003). No entanto, espécies dessa família são pouco utilizadas como plantas de cobertura em sistema plantio direto, sendo mais empregadas como adubos verdes, devido ao desenvolvimento inicial lento, maior custo na aquisição de sementes e, principalmente, em função da alta taxa de decomposição de seus resíduos, o que deixa o solo desprotegido rapidamente (ARGENTA et al., 2001). A taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação C/N do tecido, por isso espécies não gramíneas possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas as gramíneas (CERETTA et al., 2002). No entanto, apesar de possuírem menor relação C/N as leguminosas também podem ser incluídas no plano de rotação de culturas em sistema plantio direto, pois apresentam

vantagens em curto prazo, como a liberação de nutrientes durante a decomposição (DAROLT, 1998)

A braquiária é um gênero de forrageiras proveniente da África, e introduzido no Brasil em 1952 (SERRÃO e SIMÃO NETO, 1971). A *Brachiaria brizantha* é uma planta perene, ereta, entouceirada de 0,9 - 1,3 m de altura. Coloração geralmente verde-amarelada, com os racemos das inflorescências alargadas ou alada de 3-5 cm de largura. A partir da base da planta e dos rizomas formam-se muitos colmos. Os rizomas são em forma de tubérculos arredondados com até 15 mm de diâmetro, apresenta raízes fasciculadas e raízes adventícias a partir de nós inferiores dos colmos. As folhas possuem bainhas mais longas que os entrenós, estriadas, papiloso-pubescentes, lígulas em forma de cortina densa de cílios. Lâminas lanceoladas, com até 30 cm de comprimento por 15 mm de largura, com margens denticuladas e ásperas, com nervura mediana evidente, esparsamente pilosa. As inflorescências são panículas racemosas, com 15-25cm de comprimento, apresentando de 3 - 6 racemos ascendentes, com 4-10cm de comprimento, de raque achatada com 3-5mm de largura, regularmente distanciadas entre si (LORENZI, 2000).

As forrageiras tropicais, tais como as braquiárias, são conhecidas pela sua adaptação às condições clima e solos tropicais e produzem matéria seca em abundância e durante todo o ano, se as condições de temperatura e umidade foram favoráveis. Solos sob pastagem de braquiária são reportados como ricos em matéria orgânica, cujos teores são inclusive maiores que os dos cerrados virgens (SÉGUY et al. , 1994). Kanno et al. (1999) consideraram *Brachiaria brizantha* como a melhor opção a ser introduzida na rotação cultura-pastagem para melhorar a qualidade do solo, no que diz respeito à quantidade e distribuição de biomassa radicular.

Os resíduos de gramíneas promovem a melhoria do solo por possuírem maior conteúdo de lignina, possibilitando aumento de ácidos carboxílicos e ácidos húmicos nos substratos (PRIMAVESI, 1982) favorecendo a estruturação e a estabilidade dos agregados do solo (FASSBENDER e BORNEMISZA, 1994) e tornando-o menos suscetível à compactação. Para Tisdall e Oades (1979), o aumento da estabilidade de agregados devido a ação de gramíneas se deve a liberação de polissacarídeos por hifas de micorrizas associadas. Ao compararem cinco gramíneas (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *B. brizantha* cv. Marandu, *Panicum maximum* cv. Tanzânia, *P. maximum* cv. Tobiata e *Andropogus gayanus* cv. Baeti), Kanno et al. (1999) concluíram que, para

melhorar a qualidade do solo, no que refere á quantidade e distribuição da biomassa radicular, a *B. brizantha* é a melhor opção para ser introduzida na rotação cultura-pastagem.

Salton (2000) salienta que, como elemento de cobertura, as plantas forrageiras, tais como as braquiárias, se destacam por apresentar ativo e contínuo crescimento radicular, alta capacidade de produção de biomassa, reciclagem de nutrientes e preservação do solo no que diz respeito à matéria orgânica, nutrientes, agregação, estrutura, permeabilidade, infiltração de água no solo e melhor movimentação e conservação de água no perfil, em função dos canais abertos pelas raízes decompostas.

Vários autores têm demonstrado a importância da braquiária como cultura de cobertura em seus experimentos, entre eles Aidar et al. (2000) que trabalhando com a palhada de braquiária associada aos restos culturais do milho obteve 17 t ha⁻¹ de matéria seca, que manteve-se como proteção plena da superfície do solo por mais de 107 dias. Oliveira (2001) também observou maior produção de matéria seca e persistência de palhada de braquiária, obtida em consórcio com milho, seguidos do sorgo, braquiária solteira, plantas daninhas, arroz e soja, avaliados por ocasião da floração do feijoeiro. Teixeira Neto (2002), estudando fontes de cobertura, constatou que a maior produção de biomassa seca total foi obtida no tratamento braquiária solteira (28,8 t ha⁻¹), seguidos dos consórcios arroz + braquiária (21,9 t ha⁻¹) e milho + braquiária (15,33 t ha⁻¹) e dos cultivos arroz solteiro (13,02 t ha⁻¹) e milho solteiro (9,78 t ha⁻¹). Já com relação a biomassa seca residual, feita aos 120 dias após a dessecação, a maior quantidade foi obtida pela braquiária solteira (10,4 t ha⁻¹) seguida dos consórcios arroz + braquiária (7,88 t ha⁻¹) e milho + braquiária (7,17 t ha⁻¹), do milho solteiro (3,35 t ha⁻¹) e do arroz solteiro (2,04 t ha⁻¹). Quanto à longevidade, o autor verificou que o menor percentual de decomposição foi da palhada resultante do consórcio milho + braquiária (53% de redução), seguido da braquiária solteira (61% de redução), arroz + braquiária (64% de redução), milho solteiro (66% de redução) e arroz solteira (85% de redução).

4.3 Plantio Direto

O sucesso do plantio direto como sistema de produção agrícola está diretamente relacionado com a dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais. Nesse

sistema, os resíduos vegetais mantidos na superfície do solo funcionam como um reservatório de nutrientes que são liberados lentamente pela ação dos microorganismos, além de aumentar a estabilidade estrutural e proteger contra a erosão hídrica (SIDIRAS et al., 1982). A manutenção da palha na superfície do solo é de fundamental importância para a sustentabilidade do sistema plantio direto, reforçando a preocupação em se produzir resíduos vegetais que tenham decomposição mais lenta, o que significa manter o resíduo protegendo o solo por maior período de tempo, de forma a promover benefícios químicos, físicos e biológicos ao solo, caracterizando-o como sendo um sistema de cultivo conservacionista (CERETTA et al., 2002).

A queda de rendimento das culturas, causada principalmente pela degradação do solo, está associada, na maioria dos casos, a não-reposição dos nutrientes por elas extraídos, devido ao alto custo dos fertilizantes minerais industrializados e à má utilização dos resíduos orgânicos gerados nas propriedades. Visando reverter o processo de degradação física dos solos agrícolas, práticas de manejo de solos e de culturas, tais como: cultivo mínimo, plantio direto, adubação verde, adubação orgânica, consorciação, rotação de culturas, dentre outras têm sido recomendadas (ANDREOLA et al. 2000).

Pequenas quantidades de resíduos podem reduzir substancialmente a erosão hídrica em relação ao solo descoberto, especialmente se a superfície apresentar baixa rugosidade (COGO, 1981 citado por BERTOL et al., 1998). Por outro lado, grandes quantidades de resíduos culturais sobre a superfície do solo podem alterar a produção das culturas subsequentes (JESSOP e STEWART, 1983; LYNCH, 1984 citados por BERTOL, et al. 1998), especialmente se não for adotado um adequado sistema de rotação de culturas.

O desempenho dos preparos conservacionistas, especialmente a semeadura direta, depende, em grande parte, do conhecimento da taxa de decomposição dos resíduos culturais mantidos sobre a superfície do solo (STOTT et al. 1990). O conhecimento da taxa de decomposição de resíduos culturais contribui para o planejamento de práticas conservacionistas que visem otimizar os benefícios desses resíduos durante os períodos críticos decorrentes da erosão (BERTOL et al., 1998).

Nas áreas de plantio direto, têm-se verificado aumento dos níveis de nutrientes, aumento da atividade de microrganismos, melhor aproveitamento do nitrogênio fixado, melhor infiltração e armazenamento de água, maior estabilidade dos agregados do solo, aumento na produção das culturas na seca e controle da variação da temperatura do solo (BALBINO et al., 1996)

A formação da cobertura vegetal depende de vários fatores, como solo, clima e a cultura a ser utilizada para formação da cobertura morta. A cobertura morta é a mais importante, tendo como funções o controle da erosão e de plantas daninhas, manutenção da umidade e aumento do teor de matéria orgânica (VEDOATO, 1985). Além disso, a presença de resíduos vegetais na superfície proporciona um aumento dos níveis de pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis até camadas mais profundas do solo em detrimento do teor de Al trocável (SIDIRAS e PAVAN, 1985; OLIVEIRA e PAVAN, 1996). A persistência de resíduos culturais no solo varia com a forma de manejo (DOUGLAS JÚNIOR et al., 1980) tipo (HOUSE e STINNER, 1987), tempo de permanência no campo (STROO et al., 1989) e grau de trituração do resíduo, temperatura e umidade (PARR e PAPENDICK, 1978) e nível de fertilidade do solo.

Os resíduos culturais mantidos na superfície do solo apresentam maior resistência à decomposição do que quando incorporados ao solo. De acordo com Brown e Dickey (1970), ao longo de um ano e meio, a taxa de decomposição desses resíduos foi equivalente a 33% daquele dos resíduos incorporados. Estudando o assunto num período de dois anos, Douglas Júnior et al. (1980) observaram uma perda de massa de 31% no resíduo de trigo mantido na superfície do solo, influenciada pela temperatura e umidade.

A proteção do solo com cobertura vegetal, nas regiões de clima temperado, tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores (DERPSCH e CALEGARI, 1992). Entretanto, nas regiões tropicais, são poucos os trabalhos de pesquisa sobre este assunto (LANDERS, 1995), onde o clima favorece a rápida decomposição dos restos culturais, devendo-se, então, atentar para a quantidade e durabilidade dos resíduos vegetais (ALVES et al., 1995).

A velocidade de degradação de palha está diretamente ligada às condições de umidade e temperatura, que favorecem a ação dos macro e microrganismos decompositores, assim, quanto maior a temperatura e a umidade no ambiente, maior a fração da fitomassa degradada (KHATOUNIAN, 1999). Outro fator que podem contribuir para acelerar a degradação dos restos vegetais é a fragmentação, mais precisamente o tamanho das partículas do resíduo e o seu maior contato com o solo.

Alguns estudos, relacionados à persistência de resíduos culturais com a temperatura e umidade, têm mostrado que essa relação é predominantemente exponencial (HUNT, 1977; WIEDER e LANG, 1982). Outros, por outro lado, mostram

relação linear entre quantidades de resíduos culturais sobre a superfície do solo e tempo de exposição desses resíduos no solo (DOUGLAS JÚNIOR et al., 1980). Deve-se considerar que a previsão da taxa de decomposição de resíduos culturais ao longo do tempo, por meio de modelo exponencial, pressupõe que determinada quantidade de resíduo seja preservada da decomposição, num período de tempo relativamente longo, incompatível com a realidade no campo. A tendência natural num período de tempo relativamente curto é que todo o resíduo tenha sido decomposto no solo, pela ação dos organismos decompositores, influenciados pelas variáveis ambientais, o que está de acordo com a previsão de decomposição desses resíduos por meio de modelo linear (DOUGLAS JÚNIOR et al. 1980). Assim, para prever a taxa de decomposição de resíduos culturais no solo ao longo do tempo, devem-se utilizar modelos de regressão linear, relacionando quantidades de resíduos e períodos de tempo (BERTOL et al., 1998).

Bortoluzzi et al. (2000), avaliando o efeito do manejo da palhada de aveia preta sobre a emergência da soja, cobertura, temperatura e teor de água do solo, verificaram que o manejo da palhada em pé manteve a cobertura do solo por período maior de tempo; a temperatura máxima foi superior no solo sem palha e sem plantas daninhas e inferior no solo com palha em pé. Segundo o mesmo autor, o manejo da palhada, com relação ao teor de água no solo não foi afetado, em virtude da elevada precipitação pluvial, o mesmo ocorreu com a velocidade de emergência das plântulas de soja nos diferentes manejos da palhada.

O manejo de resíduos culturais, em superfície ou incorporação no solo, resulta em diferentes velocidades de decomposição. Todavia, não existe consenso na literatura com relação ao melhor método para a avaliação desta decomposição, sendo a concentração de N e as relações C/N e lignina/N sugerida por alguns autores (MELLILO et al., 1982; BERG, 1986). Outros autores avaliam esta decomposição por meio de incubação de material vegetal com solo, em laboratório ou no campo, sendo esta taxa estimada pela perda de peso decorrente da liberação de carbono na forma de CO₂ (HOLTZ, 1995; SILVA et al. 1997; SCHUNKE, 1998).

Estudando a velocidade de decomposição da palhada de milho e sorgo, bem como o acúmulo de nutrientes na fitomassa e sua mineralização, Moraes (2001) observou que a taxa de decomposição da palhada é maior nos primeiros 42 dias e que a mineralização dos nutrientes é mais acentuada após a dessecação e rolagem dos resíduos.

Bertol et al. (1998) verificaram que, após 180 dias, a aveia-preta apresentou uma diminuição de 80% e o milho 64% da massa seca remanescente.

Amado et al. (2003) avaliaram a influencia de doses de N aplicadas na cultura da aveia sobre a decomposição e a liberação de N dos resíduos e sobre o rendimento de milho cultivado em sucessão em dois anos consecutivos e não verificaram diferença estatística na velocidade de decomposição dos resíduos de aveia adubada com doses de N, mesmo quando a relação C/N da fitomassa foi reduzida de 50 para 26, já com relação ao N liberado pelos resíduos de aveia foi diretamente proporcional à dose de N utilizada, no entanto, embora tenha sido verificado efeito positivo da adubação nitrogenada aplicada na aveia sobre a nutrição e sobre o rendimento do milho cultivado em sucessão, nenhuma das doses avaliadas foi suficiente para alcançar o rendimento obtido no tratamento com pousio e N aplicado em cobertura.

No sistema plantio direto, com vistas em controlar a erosão, preconiza-se a manutenção de elevada quantidade de resíduos que protegem a superfície do solo pelo maior período de tempo possível, por outro lado, para que a cultura de cobertura seja eficiente no suprimento de N e outros nutrientes, há a necessidade de que a decomposição dos resíduos ocorra em sincronismo com a demanda da cultura em sucessão, a combinação destes dois objetivos tem sido um desafio para agricultores e técnicos (AMADO et al., 2003).

Portanto, é fundamental a seleção de coberturas vegetais com elevada capacidade de produção de massa seca, principalmente, em regiões onde as condições climáticas são favoráveis à rápida decomposição, além do estabelecimento de manejos da palhada que minimizem esse efeito, visando à proteção superficial do solo, formação de palhada, bem como reciclagem de nutrientes, com impacto direto nos atributos químicos do solo e na resposta das culturas subseqüentes ou em rotação.

4.4 Silício

O óxido de silício (SiO_2) é o elemento mineral primário mais abundante em solos tropicais e constitui a base estrutural da maioria das argilas (BARBOSA FILHO et al., 2000). Mas, devido ao processo de dessilicização que ocorre durante a intemperização, o Si é encontrado predominantemente nas formas de quartzo,

opala e outras formas não disponíveis às plantas. Portanto, solos pobres em Si são também pobres em outros nutrientes essenciais.

Solos tropicais e subtropicais sujeitos a processos intemperização e lixiviação mais acentuada e cultivados intensivamente tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, devido à dessilicatização. Apresentam ainda, baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de P, além de uma atividade microbiana reduzida (LIMA FILHO et al., 1999).

A absorção do silício da solução do solo ocorre de forma passiva pela maioria das gramíneas, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas, sendo não seletivo, seu transporte na planta é feito pelo xilema, onde se encontra na forma de ácido monossilícico, e a sua distribuição na parte aérea, depende da taxa de transpiração desses órgãos (YOSHIDA, 1965 citado por FARIA, 2000)

A essencialidade do silício é muito difícil de ser comprovada devido à sua abundância na biosfera, pois ele está presente em quantidades significativas em sais nutrientes, água e ar purificado (WERNER e ROTH, 1983), mas mesmo não sendo essencial tem papel importante para o desenvolvimento e crescimento das plantas, principalmente gramíneas.

As plantas superiores podem ser classificadas em relação ao acúmulo de Si como acumuladoras, não acumuladoras e intermediárias (MIYAKE e TAKAHASHI, 1983). Segundo Takahashi e Miyake (1977) as plantas em que a absorção do Si excedeu à absorção de água foram separadas em acumuladoras de silício e as plantas em que a absorção de Si é similar ou menor que a de água, foram consideradas não acumuladoras de silício. Algumas gramíneas forrageiras, o arroz e a cana-de-açúcar apresentam maior acúmulo de silício, sendo consideradas acumuladoras (KORNDORFER et al., 1999a; KORNDORFER et al., 1999b).

Uma vez na planta, o Si é imóvel, ou seja, não se redistribui devido às formas em que ocorre no tecido vegetal. Cerca de 90 a 95g kg⁻¹ de silício é encontrada na forma de SiO₂ gelatinoso, mas também ocorre como polímeros, formando complexos com polifenóis de grande estabilidade e baixa solubilidade (MENGEL e KIRKBY, 1982, citados por BARBOSA FILHO, 1987).

O silício é depositado principalmente na parede celular, aumentando a rigidez das células (ADATIA e BESFORD, 1986). As células epidérmicas

ficam mais grossas e com um grau maior de lignificação e / ou silicificação, formando uma barreira mecânica que apresenta a função de limitar a perda de água, dificultar a penetração de hifas de fungo e o ataque de insetos. Quando a concentração de silício na planta aumenta, o ácido monossilícico polimeriza-se (YOSHIDA, 1975). Esta concentração de ácido na epiderme aumenta a rigidez da parede celular, proporcionando uma melhor arquitetura da planta, deixando as folhas mais eretas, aumentando assim a interceptação da luz solar e a taxa fotossintética. A taxa fotossintética esta relacionada à produção de matéria seca, quanto maior a fotossíntese maior a produção de matéria seca (MARSCHNER, 1995).

A deposição de silício absorvido é influenciada por vários fatores, dentre eles pela idade da planta, do tipo de localização dos tecidos envolvidos e da absorção através das raízes, além da transpiração. A variação ampla dos teores de silício no tecido vegetal é resultado tanto da fisiologia das diferentes espécies, quanto do ambiente onde as plantas se desenvolvem (CHAGAS, 2004).

Existem na planta três locais reconhecidos de deposição de Si: a parede celular, o lúmen celular e os espaços intercelulares nos tecidos das raízes, talos ou na camada extracelular da cutícula (SANGSTER et al., 2001).

Segundo Agarie et al. (1998) o silício está associado à prevenção do progresso da senescência foliar, devido à manutenção da fotossíntese e da distribuição de clorofila, principalmente em condições de altas temperaturas e baixa umidade. De acordo com os mesmos autores o silício está envolvido na estabilidade térmica dos lipídeos nas membranas celulares e que em condições de estresse ambiental, o silício previne a deterioração estrutural e funcional das membranas celulares do arroz, sendo que é esta estabilidade que contribui para a prevenção do envelhecimento da folha.

No Brasil, grande parte dos trabalhos trata do Si nas gramíneas, em especial no arroz e como corretivo de solo (KORNDORFER et al., 1999a; KORNDORFER et al., 1999b; CARVALHO-PUPATTO, 2003; CHAGAS, 2004; PEREIRA et al., 2003; KORNDÖRFER et al., 2003; CRUSCIOL et al., 2003; BARBOSA, 2003).

Comercialmente, as escórias básicas de siderurgia, que são silicatos de Ca e Mg, além de poderem ser utilizadas como corretivos do solo devido à sua basicidade, são fontes de Si; os termofosfatos magnesianos (silicofosfatos de magnésio) também se caracterizam como fontes de silício. Além disso, as escórias apresentam

componentes neutralizantes, silicatos de cálcio e magnésio, comportando-se semelhantemente aos calcários, podendo justificar seu uso como corretivo. A superioridade das escórias em relação aos calcários, em certas situações, é atribuída ao seu conteúdo de micronutrientes, tendo, portanto, um efeito fertilizante (CARVALHO–PUPATTO, 2003).

As escórias são subprodutos das indústrias siderúrgicas, resíduos da metalurgia do ferro, através do processamento em altas temperaturas, acima de 1900° C. No processo siderúrgico, o calcário, o minério de ferro e o coque ou carvão são aquecidos, promovendo a redução do ferro; os silicatos e demais impurezas combinam-se com Ca e Mg do calcário e através da ação térmica, é obtido o ferro-gusa e a escória (FIRME, 1986).

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de ferro-gusa, com produção anual de 25 milhões de toneladas, o que corresponde à fabricação de cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória por ano. É gerada em média uma tonelada de escória de alto forno para cada quatro toneladas de ferro-gusa produzidas (COELHO, 1998).

Segundo Piau (1991), na escória são encontrados em alta quantidade Ca, Mg e Si, enquanto que outros elementos como Fe, Mn, Cu, Co, Mo, Zn e B são encontrados em baixos teores, dependendo da fusão e da basicidade da escória. Com relação aos metais pesados, estudos com escórias contendo Al, Ti, Pb, Cr, Ni, Ba, V, Cd e Sr, mostraram que estes metais contidos no solo e nos corretivos não prejudicam a vida vegetativa das plantas nem causam danos ao solo (PIAU, 1995).

A eficiência agrônômica da escória varia de acordo com a granulometria, a dosagem, o tipo de solo e o tempo de contato com o solo (PIAU, 1991; NOVAIS et al, 1993; AMARAL SOBRINHO et al., 1993; OLIVEIRA et al, 1994). A quantidade de silicatos a ser aplicada ao solo, deve ser baseada em qualquer um dos métodos de recomendação de calagem, porque os silicatos de Ca e Mg apresentam comportamento e composição semelhantes ao dos carbonatos, podendo substituir os calcários com vantagens (CHAGAS, 2004).

De acordo com Marschner (1995) o ácido silícico tem alta afinidade por o-difenóis, como o ácido caféico e ésteres correspondentes, resultando em complexos de silício de alta estabilidade e baixa solubilidade. Estes complexos teriam uma função estrutural na forma de depósitos nas paredes de células lignificadas, balanceando a biossíntese de lignina, o que seria considerado uma vantagem para a planta, já que a biossíntese dos complexos de silício demanda muito menos energia do que a síntese de lignina (RAVEN, 1983, citado por MARSCHNER, 1995). Mengel e Kirkby (1987) citam

que tanto o ácido silícico como o ácido bórico, reage com fenóis como o ácido caféico, um precursor da lignina, para formar mono, di ou complexos polímeros de silício. Portanto, possivelmente, o silício afeta a síntese de lignina e esta possível ligação, entre silício e a síntese de lignina é um importante foco da função bioquímica do silício.

Epstein (1999) sugere que o Si possa agir como um segundo mensageiro dentro das células, afirmando, também, que os mecanismos de defesa mobilizados pelo Si incluem acumulação de lignina, compostos fenólicos, quitinas e peroxidases. Fawe et al. (1998) identificaram que o silício inicia uma seqüência de reações que formam mecanismos de defesa bioquímicos na planta infectada de pepino.

Inanaga e Okasaka (1995) observaram o papel do Si e do Ca na formação de ligações entre carboidratos e lignina, através da associação com ácidos fenólicos e anéis aromáticos, nas paredes celulares de plantas de arroz.

As pesquisas científicas têm demonstrado o envolvimento do silício em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida da planta, com papéis bastante diversos. Além de promover melhorias no metabolismo, em situações de estresses bióticos pode ativar genes envolvidos na produção de fenóis e enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa da planta (LIMA FILHO et al., 1999)

4.5 Metabolismo vegetal secundário

Os fenólicos vegetais são compostos secundários, não nitrogenados, baseados em cadeias de carbono, cujo elemento estrutural fundamental caracteriza-se por um anel benzênico ao qual está ligada pelo menos uma hidroxila (BRUNETON, 1991). Apresentam como diferença aos lipídeos, o fato de apresentarem maior solubilidade em água e menor em solventes orgânicos não polares (SALISBURY e ROSS, 1992).

Dentre os compostos fenólicos, destaca-se o grupo dos polifenóis, polímeros dos fenóis simples, que apresentam grande peso molecular (ROBBERS et al., 1997). Segundo o mesmo autor os dois principais grupos de polifenóis são as ligninas e os taninos.

De acordo com Gershenzon (1984), plantas deficientes em N, P, K e S freqüentemente têm maiores concentrações de compostos fenólicos, e a adição destes

elementos estimulam o crescimento e suprimem a síntese dos fenólicos. O autor sugere que o aumento considerável de fenólicos em plantas sob estresse nutricional resulta de novas taxas de síntese, através do incremento da atividade de enzimas como a fenilalanina-amônia-liase. Como as taxas de síntese de proteínas diminuem em condições de deficiência de N, os carboidratos não utilizados poderiam ser desviados para a síntese dos fenólicos. Outros autores contradizem a relação positiva entre a disponibilidade de nutrientes e o aumento da suscetibilidade das plantas a herbivoria (FOX e MACAULEY, 1977; MATTSON *et al.*, 1991; CLANCY *et al.*, 1993). Segundo os trabalhos destes autores, o aumento da desfolhação compensaria a menor taxa de nutrientes disponíveis nas folhas.

Quimicamente a lignina é um polímero de fenilpropanos, altamente ramificado. É um componente estável das paredes das células, atuando na defesa contra agentes patogênicos e perdas por estresse hídrico (KOZLOWSKA e KRZYWANSKI, 1994), podendo responder por 20-30% do peso das células lenhosas. Sendo assim, quando ocorre o crescimento dos tecidos de suporte e condução, a competição por recursos pode limitar a produção de compostos secundários que possuem a mesma via de síntese, como os taninos (WARING e SCHLESINGER, 1985).

Os taninos compreendem um grande grupo de substâncias complexas, e que ocorrem, em geral, como misturas de polifenóis difíceis de separar por não se cristalizarem, por isso, muitos destes compostos nunca foram isolados e caracterizados, dificultando a compreensão da sua origem biogenética (ROBBERS *et al.*, 1997). Apesar da sua solubilidade em água, os taninos são destruídos por fervura prolongada, e podem, também, reagir com o ar e tornarem-se inativos (MARTINS *et al.*, 1994).

Os taninos costumam ser divididos em taninos hidrolisáveis, compostos de alto de peso molecular, passíveis de sofrer hidrólise, produzindo os ácidos fenólicos (ácido gálico, por ex.) e açúcar; e taninos condensados, que sofrem hidrólise e possivelmente são derivados de flavonóides.

Estes taninos contêm, basicamente, núcleos fenólicos, algumas vezes ligados a carboidratos ou proteínas, e quando tratados com agentes hidrolíticos, tendem a polimerizar-se, resultando em produtos insolúveis, geralmente de coloração vermelha, conhecidos como flobafenos (HASLAM, 1966; ROBBERS *et al.* 1997). Zucker (1983) sugeriu que os taninos condensados estariam relacionados à proteção contra microrganismos, enquanto que os hidrolisáveis protegeriam a planta contra herbívoros.

Os taninos hidrolisáveis são encontrados em abundância em folhas, frutas, vagens de dicotiledônea, mas não tem sido detectados em monocotiledôneas (LEWIS e YAMAMOTO, 1989). Os taninos condensados são mais vastamente distribuídos no reino vegetal em relação aos taninos hidrolisáveis. São chamados condensados devido a sua estrutura química compacta.

Uma das principais características dos taninos é a sua propriedade de precipitar proteínas, e de combinar-se com elas tornando-as resistentes às enzimas proteolíticas. Por este fato, os taninos vegetais são utilizados para “curtir” a pele de animais, evitando a sua putrefação. Nos tecidos vivos, essa ação é conhecida como “adstringência”, o que constitui a base da sua aplicação terapêutica (ROBBERS *et al.*, 1997).

Dentre as funções fisiológicas relacionadas à presença dos taninos nas plantas estão: proteção contra a dessecação, decomposição e ataque de herbívoros; armazenagem de materiais de reserva, alguns relacionados ao metabolismo dos carboidratos; formação e transporte de açúcares; antioxidantes; proteção do turgor celular; ou apenas acúmulo de produtos residuais do metabolismo (ESAU, 1965; FEENY, 1970). Taninos previnem uma degradação rápida da planta no solo (BUNN, 1988), causando um aumento de nutrientes que serve como estoque para a planta no próximo período de vegetação (SYNGE, 1975).

Alguns autores consideram que os taninos predominam entre as espécies arbóreas, devido ao grande investimento energético exigido na síntese destes compostos (FEENY, 1976; COLEY, 1987), ou à sua possível função como precursores no processo de lignificação (BATE-SMITH, 1972).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em casa de vegetação durante o ano agrícola 2006/2007, no Departamento de Produção Vegetal, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, *Campus* Botucatu, localizado no município de Botucatu-SP. As coordenadas geográficas da área são latitude de 22° 51'S, longitude de 48° 26 e altitude de 740m.

5.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema em esquema fatorial 5x3, com quatro repetições.

5.3 Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos de três espécies de plantas de cobertura: milho (*Pennisetum americanum*), braquiarião (*Brachiaria brizantha*) e guandu anão (*Cajanus cajan* L.) e cinco níveis proporcionais de silicato de cálcio 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, aplicado nas doses crescentes de 0, 2,31, 4,63, 6,96 e 9,27 g vaso⁻¹, balanceadas com cinco doses decrescentes de calcário 9,27; 6,96; 4,63; 2,31 e 0 g vaso⁻¹, sendo este utilizado para manter o corretivo de solo com o mesmo teor de Ca e Mg, de modo a proporcionar o mesmo pH em todos os tratamentos, a fim de alcançar saturação por bases a 70%, diferindo apenas na quantidade de silício.

5.4 Análise estatística

O efeito das espécies sobre as características determinadas foram submetidos à análise de variância individual, e suas médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Em seguida, foram feitas regressões para proporções de silicato.

5.5 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos, de 20 dm³, contendo 13 dm³ de solo sendo os primeiros centímetros separados para acomodar a palhada.

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, de textura argilo-arenosa, sendo retirado da camada arável (0-20 cm). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo para realização de análise química de acordo com metodologia descrita por Raij et al. (2001), para determinar as características químicas do solo, as quais estão contidas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Atributos químicos do solo usado no experimento (Macronutrientes).

pH	M.O.	P (resina)	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
CaCl ₂	g dm ³	mg dm ⁻³	mmol c dm ⁻³							%
4,2	6	1	7	21	0,4	6	2	8	30	28

Tabela 2. Atributos químicos do solo usado no experimento (Micronutrientes e Si disponível em CaCl_2).

B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
-----mg dm ⁻³ -----					
0,2	0,8	19	3,3	0,2	6,6

A escolha desse solo, com baixo teor de matéria orgânica, levou em consideração o baixo teor de silício, com a finalidade de obter resultados à aplicação de doses crescentes desse elemento.

Posteriormente foram estabelecidas as quantidades de calcário e de silicato usadas em cada tratamento, de acordo com o V% identificado na análise de solo, respeitando as proporções de cada tratamento na utilização de cada corretivo. Antes da utilização foi realizada a análise do silicato (Tabela 3), o calcário utilizado foi uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 PA de modo a obter as mesmas proporções de Ca e Mg, tanto no calcário como no silicato variando, dessa maneira, apenas o teor de silício em cada tratamento.

Tabela 3. Atributos do silicato de cálcio e magnésio utilizado no experimento.

SiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	Mo	Zn	PRNT
-----g kg ⁻¹ -----									-----µg g ⁻¹ -----	
230	398	120	4,2	1,9	3,7	110	18	0,4	0,133	88

O método de incubação utilizado foi o descrito por Medina-Gonzales et al. (1988). Os corretivos foram incorporados ao solo no dia 17/11/2006, previamente peneirado, colocando-se a mistura em sacos plásticos e adicionando-se água até atingir a capacidade de campo. Os sacos plásticos foram pesados semanalmente, a fim de manter o teor de umidade na capacidade de campo, sendo que, alterações superiores a 5% no peso do saco plástico indicaram a necessidade de adição de água. As amostras foram incubadas por um mês.

Após esse período as amostras foram colocadas em vasos e estes foram dispostos sobre o piso cimentado da casa de vegetação. Não foi instalado um sistema de irrigação, optou-se pelo fornecimento manual de água às plantas, de modo a ter maior controle do volume aplicado. Portanto, foi determinada a curva característica de retenção de água pelo solo, por meio de placa porosa, como descrita por Kiehl (1979). De posse deste valor, os vasos foram pesados, obtendo-se assim a retenção para a manutenção da umidade durante o experimento através de pesagens diárias e regas pela superfície.

Antes da semeadura das plantas de cobertura foi realizada a adubação fosfatada com 100 mg kg^{-1} de P por vaso. O plantio foi realizado no dia 22 de dezembro de 2006 e a germinação ocorreu no dia 01/01/07. Foram conduzidas seis plantas de cada cultura por vaso.

As adubações de cobertura foram realizadas em quatro aplicações da seguinte maneira: a primeira 17 dias após o plantio com 100 mg kg^{-1} de N e 100 mg kg^{-1} de K, a segunda 31 dias após a germinação com 50 mg kg^{-1} de N, a terceira 45 dias após a germinação com 50 mg kg^{-1} de N e a quarta 52 dias após a germinação com micronutrientes, pela aplicação de 200 ml por vaso da solução diluída de Hoagland e Arnon (1950).

Aos 90 dias após a emergência foi realizada a aplicação de glyphosate $1080 \text{ g i.a ha}^{-1}$. Após a dessecação as espécies de cobertura, braquiária, guandu e milheto, foram seccionadas em pedaços de 10-12 cm, secas em estufa a 60° C , até a obtenção de peso constante, para determinação da matéria seca, posteriormente foram acomodadas na superfície do solo, nos primeiros 4cm do vaso, mantendo a mesma quantidade de palha para todos os tratamentos, com total de $56,7 \text{ g vaso}^{-1}$, o que corresponde a 6 t ha^{-1} . Nesta ocasião foi retirada uma amostra para análise química de planta e metabólitos secundários.

A semeadura do feijão foi realizada no dia 20 de maio de 2007, utilizando-se o cv. Pérola. Utilizou-se como tratamento de sementes carboxin 200 g i.a L^{-1} + thiran 200 g i.a L^{-1} , na dose de 2 ml kg^{-1} de semente de feijão, tendo como objetivo a diminuição de patógenos associados a sementes e a proteção das plântulas contra os patógenos de solo, durante a germinação.

O feijão foi colhido por ocasião do florescimento pleno no dia 25/07/2007, sendo as plantas secas em estufa a 60° C , até a obtenção de peso constante, para determinação da matéria seca e colheita de material para análise nutricional da planta.

5.6 Determinações

A primeira amostragem de solo foi realizada após 30 dias de reação dos corretivos no solo, sendo as análises demonstradas nas Tabelas 4 e 5, de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001) e as determinações de silício em CaCl_2 e

seguiram a metodologia proposta por Korndörfer et al. (1999a). As análises de solo do experimento foram realizadas após a desmontagem dos vasos, após a retirada da cultura do feijão, coletando-se quatro porções de solo por vaso para compreender 500 g, perfazendo um total de 185 dias de reação dos corretivos no solo, as análises seguiram a mesma metodologia da análise anterior.

A coleta do material vegetal das plantas de cobertura para determinação da persistência da palhada foi realizada após a colheita do feijão, uma vez que a quantidade inicial de palhada foi a mesma para todos os tratamentos. A quantidade de palha remanescente na área foi obtida pelo peso seco da massa vegetal coletada nos vasos após transformação em kg ha^{-1}

Por ocasião da colheita das plantas de cobertura realizaram-se análises quanto ao teor de nutrientes, silício total, fenóis totais, lignina, taninos totais e condensados. O material vegetal das plantas de cobertura coletado após a colheita do feijão foi analisado quanto ao teor de nutrientes, silício total e lignina. Não foi realizada a análise de fenóis totais e taninos, após o período de decomposição das coberturas, em função da volatilidade desses compostos, visto que, as plantas no momento da colheita foram secas a 60°C para a determinação da matéria seca.

Para determinação dos teores de nutrientes os resíduos coletados em cada parcela sofreram uma pré-limpeza, por meio de peneiras, para redução da quantidade de solo aderido. Os materiais vegetais foram lavados, sem o emprego de detergente, agitando-os por alguns segundos em água deionizada, em três porções sucessivas, sendo a seguir colocados sobre papel absorvente (MALAVOLTA et al., 1997). As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 60°C , até atingirem peso constante de massa de matéria seca. A seguir, o material foi moído em moinho tipo Willey, para posterior determinação dos teores de macronutrientes (MALAVOLTA et al., 1997) e micronutrientes conforme metodologia descrita por HILDEBRAND (1977). O silício total foi determinado segundo técnica descrita por Elliot e Snyder (1991), adaptada por Korndörfer et al. (1999a).

Tabela 4. Atributos químicos do solo para cada tratamento após o período de incubação (Macronutrientes).

Trat.	pH CaCl ₂	M.O. g dm ³	P mg dm ⁻³	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %
-----mmol _c dm ⁻³ -----											
1	5,0	7	2	-	24	0,8	15	9	25	49	51
2	5,1	7	2	-	24	0,6	17	9	27	51	53
3	5,0	6	2	-	23	1,0	17	8	26	50	53
4	4,6	6	2	-	27	0,7	15	6	22	49	45
5	4,6	6	2	-	28	0,6	15	5	21	49	42

- 1 – 0 de silicato cálcio e magnésio 100% de calcário;
 2 – 25% de silicato de cálcio e magnésio e 75% de calcário;
 3 – 50% de silicato de cálcio e magnésio e 50% de calcário;
 4 – 75% de silicato de cálcio e magnésio e 25% de calcário;
 5 – 100% de silicato de cálcio e magnésio e 0 de calcário.

Tabela 5. Atributos químicos do solo usado no experimento (Micronutrientes).

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si (CaCl ₂)
-----mg dm ⁻³ -----						
1	0,45	1,6	12	6,4	0,3	2,8
2	0,40	1,6	12	7,0	0,2	4,2
3	0,32	1,5	12	7,0	0,2	4,2
4	0,29	1,6	15	8,5	0,2	5,4
5	0,34	1,7	17	9,3	0,2	6,4

- 1 – 0 de silicato cálcio e magnésio e 100% de calcário;
 2 – 25% de silicato de cálcio e magnésio e 75% de calcário;
 3 – 50% de silicato de cálcio e magnésio e 50% de calcário;
 4 – 75% de silicato de cálcio e magnésio e 25% de calcário;
 5 – 100% de silicato de cálcio e magnésio e 0 de calcário.

5.6.1 Análise de metabólitos secundários

Após o corte, as plantas foram picadas e secas em estufa a 40°C, com circulação de ar forçada e mantidas até peso constante. Posteriormente, foi feita a moagem das amostras em moinho tipo Wiley, usando peneiras com malha de 0,25 mm. O material moído foi armazenado em temperatura ambiente, num local arejado e escuro, para evitar a degradação dos taninos.

Os teores de lignina em detergente ácido foram determinados seguindo a metodologia citada por Van Soest e Wine, (1967), pelo método do ácido sulfúrico a 72% (v/v). O conteúdo de fenóis totais e taninos foram analisados através do método Folin-Ciocalteu e os taninos condensados pelo método Porter et al. (1986).

A quantidade de nutrientes, silício total, fenóis totais, ligninas e taninos totais e condensados contidos na palhada, durante o transcorrer do tempo, foram

obtidos pelo produto destes com a quantidade de massa de matéria seca do resíduo vegetal, sendo apresentado em peso área⁻¹.

5.6.2 Diagnose foliar - feijão

No florescimento pleno das plantas de feijão, foram retiradas de duas plantas por vaso para a análise de nutricional.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise química do tecido vegetal da parte aérea das plantas de cobertura

Na Tabela 6 estão apresentados os dados obtidos referentes aos teores de macronutrientes e micronutrientes extraídos pelas espécies de cobertura até a dessecação e colheita, 90 dias após a germinação. Já na Tabela 7 estão apresentados os dados referentes aos teores de macro e micronutrientes remanescentes nas espécies de cobertura após o período de decomposição (125 dias), por ocasião da colheita do feijão.

Mediante os resultados apresentados (Tabelas 6 e 7) é possível observar que houve efeito significativo para as diferentes proporções de silicato testadas apenas para teores de Mg, tanto na palhada produzida pelas espécies de cobertura como pela palhada remanescente, sendo os dados ajustados a função linear (Figura 1), observa-se que houve diminuição da extração desse nutriente em função do aumento na proporção de silicato aplicado ao solo. O que demonstra que apesar dos teores de CaO e MgO terem sido ajustados para os dois corretivos de acidez de solo para o fornecimento das mesmas quantidades destes elementos, o calcário foi mais eficiente em disponibilizar o Mg em relação ao silicato. O efeito negativo das proporções de silicato utilizadas para Mg

remanescente na palhada (Tabela 7), ocorreu em função desta variável ter afetado os teores do nutriente extraídos pela palhada de cobertura. Esses resultados estão de acordo com o menor teor de Mg no solo observado pelo aumento da proporção de silicato de cálcio e magnésio utilizado como corretivo (Tabela 4), permitindo que o calcário apresente maior teor de Mg disponível no solo e, portanto, mais disponíveis as plantas de cobertura em relação ao silicato de cálcio.

Os teores dos demais macronutrientes N, P, K, Ca, e S não foram significativos para proporções de silicato, tanto na palhada produzida pelas coberturas como na palhada remanescente. No entanto, comparando-se os dados das Tabelas 6 e 7 é possível verificar que houve redução nos teores de macronutrientes nas palhadas após o período de decomposição, exceto para o S, apresentando valores finais maiores que os da palhada inicial para todas as proporções de silicato, isso não indica que houve incremento de S na palhada e sim um efeito de aumento da concentração deste nutriente na cobertura vegetal remanescente, já que os demais nutrientes foram liberados para o sistema e o S não foi liberado da palhada.

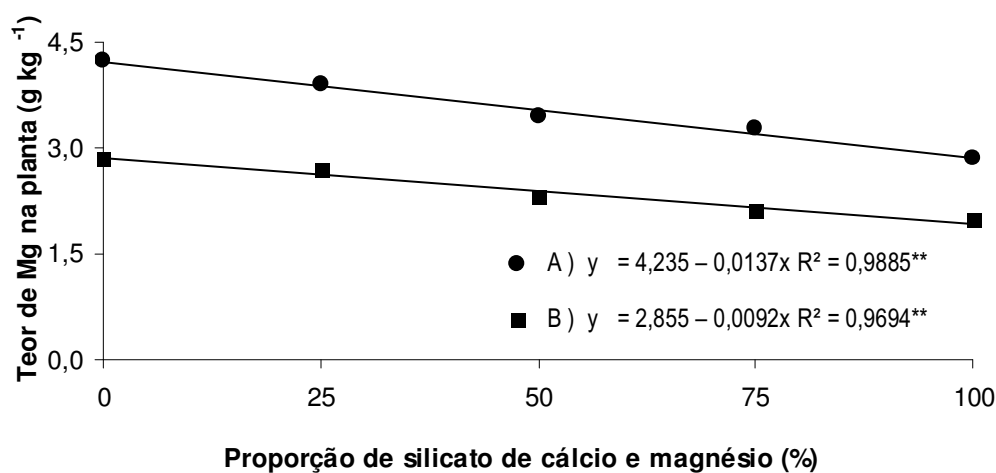


Figura 1. Teor de Mg na parte aérea das plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato. A – composição da palhada produzida, B – composição da palhada remanescente.

Tabela 6. Composição química do tecido vegetal da parte aérea das plantas de cobertura após a dessecação (valores médios).

Tratamentos	Macronutrientes (g kg ⁻¹)					Micronutrientes (mg kg ⁻¹)						
	N	P	K	Ca	Mg (1)	S	B	Cu	Fe	Mn (2)	Zn	Si
0	21,41	2,74	10,16	6,83	4,25	1,92	34,33	9,25	142,91	125,00	51,75	0,60
25	21,16	2,60	12,41	6,25	3,90	1,95	32,16	8,83	205,25	156,00	40,91	0,67
50	21,25	3,00	10,58	6,08	3,45	1,98	31,33	8,66	192,91	166,75	34,75	0,65
75	22,75	2,90	12,16	6,91	3,27	2,20	32,25	10,41	176,25	173,83	38,75	0,69
100	20,66	2,78	11,50	6,58	2,85	1,87	28,41	9,33	144,08	210,83	33,41	0,75
Espécies de Cobertura												
Bracharia	15,35 b	2,55	9,95 b	4,10 b	4,12 a	1,40 c	22,85 b	6,90 b	162,30	153,05	18,50 b	0,61 b
Guandu	34,90 a	3,06	15,35 a	11,10 a	2,15 b	2,54 a	50,50 a	13,35 a	208,90	167,50	67,10 a	0,94 a
Milheto	14,10 b	2,81	8,80 b	4,40 b	4,37 a	2,01 b	21,75 b	7,65 b	145,65	179,05	34,15 b	0,47 b
Si	0,71 ^{NS}	0,63 ^{NS}	2,02 ^{NS}	0,61 ^{NS}	6,55 ^{**}	1,21 ^{NS}	0,95 ^{NS}	1,39 ^{NS}	0,99 ^{NS}	4,36 ^{**}	0,69 ^{NS}	1,21 ^{NS}
F	266,01 ^{**}	3,01 ^{NS}	43,28 ^{**}	122,58 ^{**}	54,32 ^{**}	41,61 ^{**}	92,32 ^{**}	61,83 ^{**}	2,23 ^{NS}	1,28 ^{NS}	13,53 ^{**}	38,51 ^{**}
Si X Cob	0,84 ^{NS}	0,40 ^{NS}	3,81 ^{**}	0,98 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,56 ^{NS}	1,51 ^{NS}	2,32 [*]	1,44 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,15 ^{NS}
DMS Cob	2,46	-	1,83	1,23	0,57	0,30	5,82	1,54	-	-	23,17	0,17
RL	-	-	-	-	25,93 ^{**}	-	-	-	-	-	-	-
RQ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	14,91	23,60	20,91	24,47	20,75	19,90	23,92	21,58	56,92	30,88	75,44	25,76

^{NS} não significativo

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

(1) $y = 4,235 - 0,0137x$ $R^2 = 0,9885$ (2) $y = 128,6833 + 0,757x$ $R^2 = 0,9311$

Tabela 7. Composição química do tecido vegetal da parte aérea das plantas de cobertura após o período de decomposição (125 dias).

Tratamentos	Macronutrientes (g kg ⁻¹)					Micronutrientes (mg kg ⁻¹)																			
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si													
Proporção de silicato (%)	(1)					(2)					(3)					(4)					(5)				
0	17,66	2,48	2,16	13,33	2,85	2,79	55,51	19,08	4207,50	290,00	73,58	1,49													
25	16,66	2,45	2,75	11,83	2,70	2,57	46,75	15,16	3317,50	282,91	54,75	1,31													
50	16,83	2,48	2,50	12,25	2,31	2,80	47,00	16,25	3550,41	304,58	68,25	1,39													
75	16,58	2,51	2,41	12,33	2,12	2,69	47,91	17,75	3550,00	315,58	58,41	1,37													
100	17,50	2,42	2,50	12,41	1,99	2,81	45,50	15,16	3624,16	373,91	68,58	1,55													
Espécies de Cobertura																									
Braquiária	16,10 b	2,43	2,15 b	9,40 b	2,70 a	2,04 b	40,60 b	13,65 b	3540,00	297,85 b	54,90 b	1,51 a													
Guandu	20,00 a	2,43	2,80 a	19,55 a	1,62 b	3,75 a	65,90 a	21,40 a	3942,50	384,55 a	82,70 a	1,31 b													
Milheto	15,05 b	2,54	2,45 ab	8,30 b	2,86 a	2,41 b	39,05 b	15,00 b	3467,20	257,80 b	56,55 b	1,39 ab													
Si	0,59 ^{NS}	0,10 ^{NS}	1,90 ^{NS}	0,85 ^{NS}	6,57 ^{**}	0,33 ^{NS}	1,76 ^{NS}	2,28 ^{NS}	2,87 [*]	5,49 ^{**}	1,46 ^{NS}	3,09 [*]													
Cob	27,55 ^{**}	0,56 ^{NS}	7,68 ^{**}	180,08 ^{**}	37,13 ^{**}	42,22 ^{**}	42,83 ^{**}	22,34 ^{**}	2,84 ^{NS}	29,43 ^{**}	9,71 ^{**}	4,39 [*]													
Si X Cob	0,61 ^{NS}	0,55 ^{NS}	0,95 ^{NS}	0,69 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,65 ^{NS}	1,38 ^{NS}	2,65 [*]	1,58 ^{NS}	1,02 ^{NS}	1,08 ^{NS}													
DMS Cob	1,71	-	0,40	1,58	0,38	0,48	7,91	3,01	-	41,03	17,19	0,17													
RL	-	-	-	-	25,50 ^{**}	-	3,94 [*]	-	-	16,91 ^{**}	-	-													
RQ	-	-	-	-	-	-	-	-	5,34 [*]	-	-	11,53 ^{**}													
CV (%)	13,10	15,23	21,27	16,58	20,74	22,67	21,23	23,47	18,59	17,04	34,58	15,68													

^{NS} não significativo

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

$$(1) \quad y = 2,855 - 0,0092x$$

$$R^2 = 0,9694$$

$$(2) \quad y = 52,25 - 0,0746x$$

$$R^2 = 0,5576$$

$$(3) \quad y = 4078,8928 - 23,1080x + 0,1937x^2$$

$$R^2 = 0,6618$$

$$(4) \quad y = 273,3 + 0,820x$$

$$R^2 = 0,7699$$

$$(5) \quad y = 1,4855 - 0,0008x + 0,00009x^2$$

$$R^2 = 0,9930$$

A crescente porcentagem de silicato de cálcio e magnésio proporcionou incremento no teor de Mn, tanto na palhada produzida pelas plantas de cobertura como na palhada remanescente, após o período de decomposição. Possivelmente estes resultados estão relacionados ao fato do silicato de cálcio conter certa porcentagem de Mn em sua composição, o que permitiria maior disponibilidade desse micronutriente às plantas de cobertura.

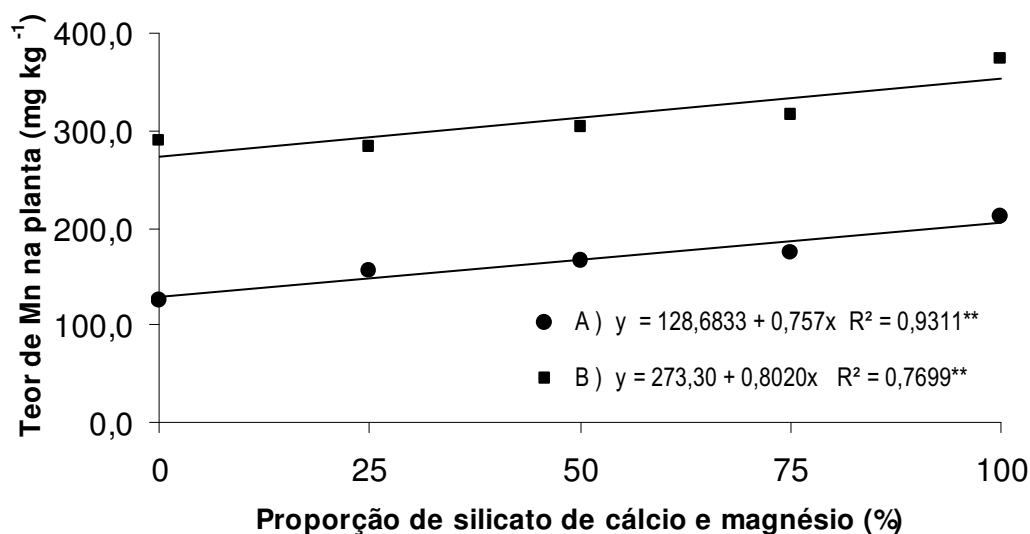


Figura 2. Teor de Mn na parte aérea das plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato. A – composição da palhada produzida, B – composição da palhada remanescente.

Quanto aos teores de micronutrientes na palhada degradada foram encontradas respostas significativas também para B e Fe em função das proporções de silicato utilizadas, sendo que os maiores teores na palhada degradada foram obtidos na ausência de corretivo silicatado (Figuras 3 e 4). Cabe destacar que os teores remanescentes nas plantas de cobertura para todos os micronutrientes foram superiores aos valores observados na palhada inicial, o que não indica que houve incremento desses nutrientes na palhada e sim um efeito de aumento da concentração na cobertura vegetal remanescente, já que os demais nutrientes foram liberados para o sistema.

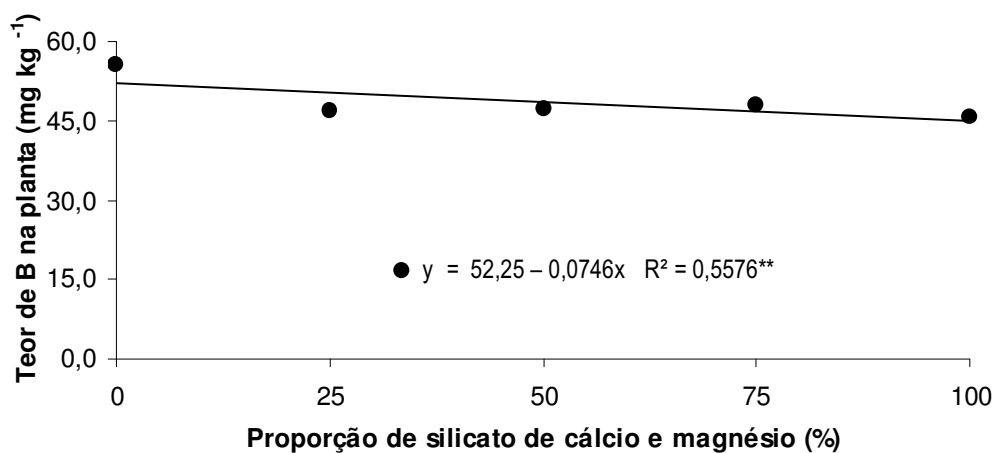


Figura 3. Teor de B remanescente na parte aérea de plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato.

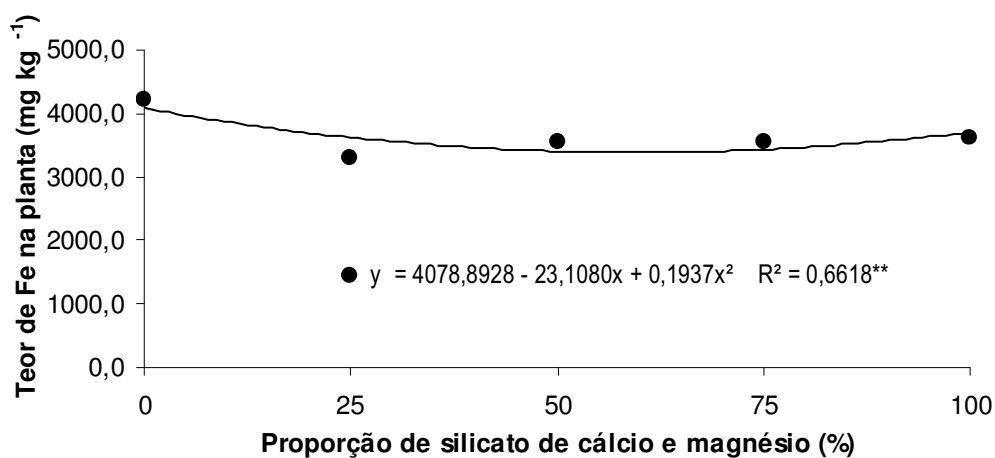


Figura 4. Teor de Fe remanescente na parte aérea de plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato.

O aumento da porcentagem de silicato, não resultou em efeito significativo no acúmulo de silício pelas plantas de cobertura no momento da colheita (Tabela 6). No entanto, na palhada degradada houve incremento significativo nos teores de Si em função do aumento da proporção de silicato utilizado como corretivo (Figura 5).

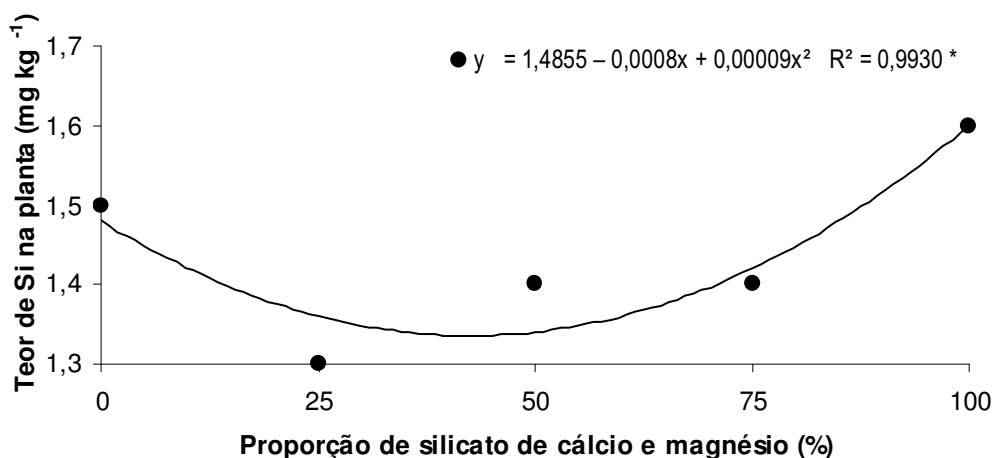


Figura 5. Teor de Si remanescente na parte aérea de plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato.

As plantas de cobertura braquiária, milho e guandu, apresentaram diferentes composições químicas, com efeito significativo para os seguintes elementos: nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn) e silício (Si), tanto na palhada inicial como na degradada (Tabela 6 e 7). Houve ainda na palhada degradada efeito significativo para Mn. De acordo com Corrêa et al. (2004) e Rosolem et al. (2005) a escolha da espécie de planta de cobertura do solo, pode alterar a fertilidade do solo, permitindo assim melhor desenvolvimento e produtividade da cultura em sucessão.

Para os teores de N, K, Ca, S, B, Cu, Zn e Si o guandu apresentou maiores teores na palhada produzida (no momento da colheita). Na palhada degradada foram observados resultados semelhantes à palhada inicial, no entanto, para K não houve diferença significativa para as plantas de cobertura guandu e milho (Tabela 7).

O guandu pertence à família das Leguminosae, as quais apresentam a característica de fixação biológica de nitrogênio em razão da ação simbiótica entre a planta e a bactéria do gênero *Rhizobium* ou *Bradyrhizobium*, fato que permite a esta planta de cobertura utilizar o nitrogênio atmosférico e transformá-lo em aminoácidos, possibilitando assim maior teor desse nutriente em sua composição, quando comparado as gramíneas braquiária e milho (Tabela 6). Os dados obtidos para teores de N concordam com os obtidos por Soares (2006), que relatou maiores valores desse nutriente nas leguminosas em relação às gramíneas, no entanto, os teores de N obtidos na palhada de

guandu neste trabalho ($34,9 \text{ g kg}^{-1}$) foram superiores aos obtidos pelo autor em feijão de porco ($25,85 \text{ g kg}^{-1}$) e crotalária ($14,7 \text{ g kg}^{-1}$).

O maior teor de N na parte aérea de guandu, de forma indireta, contribui para maior produção de aminoácidos e proteínas, aumentando, conseqüentemente, os teores de outros nutrientes que também fazem parte de compostos de carbono como é o caso do S (TAIZ e ZEIGER, 2004), dessa forma, este nutriente apresenta maior teor no guandu em relação à braquiária e o milheto (Tabela 6). O guandu mostrou-se mais eficiente na absorção dos macronutrientes K e Ca e dos micronutrientes B, Cu, Zn e Si.

Quanto ao K os teores observados no milheto ($8,8 \text{ g kg}^{-1}$) e na braquiária ($9,95 \text{ g kg}^{-1}$) foram inferiores aos obtidos por Soares (2006) para as mesmas culturas $24,16$ e $31,52 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Isto indica que tanto os fatores edáficos quanto o clima podem influenciar na absorção de nutrientes pelas plantas. Segundo Malavolta (1976) as gramíneas parecem ser capazes de se aproveitar mais do K do solo que outras espécies, este efeito pode estar relacionado à menor CTC das raízes das plantas monocotiledôneas (gramíneas), em comparação as dicotiledôneas (leguminosas), apresentando como conseqüência, maior energia de ligação entre os cátions monovalentes e colóides da raiz (MALAVOLTA, 1981). Discordando do que foi observado neste trabalho, devido provavelmente ao efeito de diluição, isto porque, mesmo não considerando os diferentes valores de matéria seca produzidas pelas espécies de cobertura, era possível observar no momento da colheita que as gramíneas possuíam maior quantidade de massa em relação ao guandu.

Já para o Mg as gramíneas apresentaram maior teor em relação ao guandu. Segundo Malavolta (1981) em virtude da alta energia de ligação dos cátions divalentes aos colóides das raízes das leguminosas, é de se esperar maior conteúdo de Ca e Mg pelas leguminosas, no entanto, observou-se apenas maiores teores para o guandu de Ca, sendo assim, é provável que tenha ocorrido inibição competitiva entre Ca e Mg, provocada pela disputa do mesmo carregador, com a conseqüente restrição à absorção de Mg (MALAVOLTA, 1980). Não houve diferença significativa quanto aos teores de P entre as espécies testadas.

Quanto ao K, os dados observados na palhada inicial apresentaram interação significativa entre as espécies testadas e as proporções de silicato, estando os desdobramentos apresentados na Tabela 8, onde pode se verificar que houve diferença

significativa para o teor de potássio extraído pelas espécies de cobertura dentro das proporções de silicato, sendo os maiores teores do elemento extraídos pelo guandu independente da proporção de silicato e apresentando resultados semelhantes à braquiária apenas na proporção 25% de silicato. Não foram observadas diferenças significativas para as espécies de coberturas na ausência da aplicação de silicato. Já para as proporções de silicato/calcário em guandu, os dados se ajustaram a equação quadrática. A possível justificativa da melhor eficiência na absorção do potássio pelo guandu, em relação as demais plantas de cobertura pode estar relacionada à sua menor absorção de Mg (Tabela 6), uma vez que esses nutrientes, juntamente com o Ca, apresentam competição nos sítios de trocas dos colóides, proporcionando um gradiente de concentração que sempre irá favorecer um nutriente em relação aos demais, tal fato torna-se mais importante quando diz respeito a região da rizosfera da planta, local em que esses cátions são efetivamente absorvidos, e a qual é condicionada pela espécie vegetal em questão, neste caso o guandu.

Na observação da degradação da palhada sobre o solo para as diferentes espécies de cobertura, verificou-se que houve redução dos teores de macronutrientes na palhada remanescente, apenas para P, K e Mg. Isto ocorre por que o K não é metabolizado na planta e forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (ROSOLEM et al., 2003). Assim, à medida que as espécies de cobertura se degradam, a concentração desse nutriente no tecido diminui, pois é facilmente lavado da palhada seca pela água das chuvas (KHATOUNIAN, 1999). Concordando com os dados obtidos para P, Crusciol et al.(2005), observou rápida liberação inicial desse elemento dos tecidos orgânicos. Em relação ao Ca e S houve aumento nos teores em relação à palhada inicialmente depositada ao solo, discordando de Oliveira et al. (1999), segundo o qual, o Ca e o Mg participam de compostos iônicos e moléculas solúveis e, portanto, apresentam elevada liberação. Tal fato por ser atribuído provavelmente a sujeira no material analisado.

Quanto ao teor de Cu no momento da colheita, observou-se interação significativa entre as proporções de silicato e as espécies de cobertura, estando os desdobramentos apresentados na Tabela 9, onde se pode verificar que houve efeito significativo para espécies de cobertura dentro de proporções de silicato, sendo os maiores teores de Cu verificados quando se utilizou o guandu como espécie de cobertura, com exceção a proporção de 50% de silicato em que não houve diferença significativa entre o guandu e o milheto. Já para proporções de silicato dentro de espécies de cobertura não foi verificado efeito significativo.

Tabela 8. Desdobramentos das interações positivas referente à extração de K(g kg⁻¹) pelas de cobertura.

Tratamentos Proporção de silicato (%)	Espécies de cobertura		
	Braquiária	Guandu (1)	Milheto
0	10,25 a	11,00 a	9,25 a
25	12,50 a	16,50 a	8,25 b
50	5,50 c	16,50 a	9,75 b
75	11,50 b	16,75 a	8,15 b
100	10,00 b	16,00 a	8,50 b
DMS Coberturas		4,08	
RL	-	-	-
RQ	-	7,53 **	-

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

$$(1) \quad y = 11,55 + 0,181x + 0,0014x^2$$

$$R^2 = 0,8862$$

Tabela 9. Desdobramento das interações positivas referentes ao teor de Cu (mg kg⁻¹) extraído pelas espécies de cobertura até a dessecação.

Tratamentos Proporção de silicato (%)	Espécies de cobertura		
	Braquiária	Guandu	Milheto
0	6,5 b	13,50 a	7,75 b
25	7,5 b	12,50 a	6,50 b
50	6,5 b	10,50 a	9,00 ab
75	7,0 b	16,75 a	7,50 b
100	7,0 b	13,50 a	7,50 b
DMS Coberturas		3,44	
RL	-	-	-
RQ	-	-	-

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

Em relação às espécies de cobertura após o período de decomposição foram observados efeitos significativos para todos os micronutrientes em relação às espécies de coberturas, exceto para o Fe (Tabela 7). O guandu foi a espécie com maiores teores remanescentes de B, Cu, Mn e Zn. Em relação ao Si as gramíneas (braquiária e milheto) não apresentaram diferenças significativas entre si, apresentando maiores teores deste elemento benéfico em relação ao guandu.

Cabe ressaltar que o teor dos micronutrientes observados na palhada degradada foram maiores, tanto para as proporções de silicato utilizadas como para as diferentes espécies de cobertura, em função do aumento da concentração desses

elementos na palhada. Houve redução apenas nos teores de B e Cu para o guandu, ou seja, apenas esses elementos foram liberados para o sistema.

Tabela 10. Desdobramentos das interações positivas para Fe (mg kg^{-1}) nas espécies de cobertura após período de decomposição.

Tratamentos Proporção de silicato (%)	Espécies de cobertura		
	Braquiária	Guandu	Milheto
0	4177,50	3942,5	4502,50
25	3435,00 ab	3857,5 a	3660,00 b
50	3286,25	4107,5	3257,50
75	3760,00	3175,0	3715,00
100	3041,25 b	4630,0 a	3201,25 b
DMS Coberturas	1166,04		
RL	-	-	-
RQ	-	-	3,93 *

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RQ: regressão quadrática

$$(1) \quad y = 4136,3928 - 349614x + 0,2877x^2$$

$$R^2 = 0,3644$$

Ressalta-se que para os teores de Fe, houve interação significativa entre proporções de silicato e as espécies de coberturas, sendo os desdobramentos apresentados na Tabela 10, onde pode-se verificar diferenças significativas para espécies de cobertura apenas quanto se utilizou silicato como corretivo da acidez do solo, sendo que os maiores teores de Fe remanescente foram verificados para o guandu na dose 100 de silicato. Em relação às proporções de silicato dentro de espécies de coberturas, observou-se efeito significativo para o milho, sendo os dados ajustados a função quadrática.

6.2 Análise química do tecido vegetal e biomassa seca da cultura do feijão

As variáveis analisadas na cultura do feijão estão apresentadas na Tabela 11. A matéria seca do feijoeiro não foi afetada pelo aumento das porcentagens de silicato de cálcio. Nascimento et al. (2005) observaram que a aplicação de doses crescentes de silício proporcionaram aumento no número de vagens por planta de feijão de inverno nos anos de 2003 e 2004, entretanto, esses resultados não refletiram em aumento de produtividade da cultura.

Verifica-se que a aplicação de silicato reduziu o teor de Mg no feijoeiro (Figura 6). A redução no acúmulo de Mg pelo feijoeiro na presença de silicato, foi proporcional as reduções no teor desse elemento e nas plantas de cobertura (Figura 1), o que justifica a diminuição no acúmulo de Mg pela planta de feijão quando se utilizou silicato como corretivos.

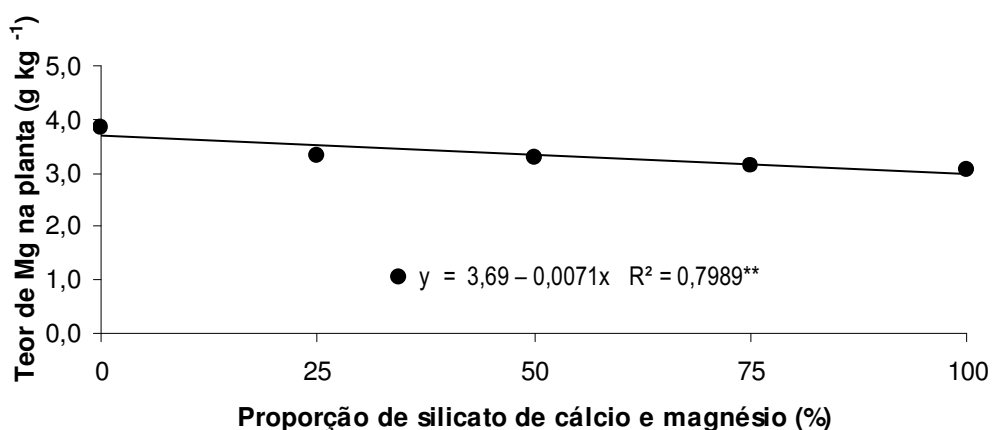


Figura 6. Teor de Mg na parte aérea do feijão em função das proporções de silicato.

Em relação ao S (Figura 7), foram obtidos aumentos nos teores do elemento em função do aumento das proporções de silicato, os dados ajustaram-se a função quadrática. O feijoeiro exige quantidades elevadas de S para produção de proteínas, bem como para seu desenvolvimento, pois o nutriente além de estar envolvido em processos de transferência de elétrons, enzimáticos, reações de oxirredução e fixação biológica de N, é constituinte dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina, que constituem cerca de 90% do total de S na planta (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997).

Tabela 11. Valores médios da composição química e biomassa seca da parte aérea da cultura do feijoeiro.

Tratamentos	MS	Macronutrientes (g kg ⁻¹)							Micronutrientes (mg kg ⁻¹)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si		
Proporção de silicato (%)	-g vaso ⁻¹ -					(1)	(2)			(3)		(4)			
0	30,18	28,83	4,79	31,66	17,91	3,86	3,07	90,75	11,16	264,50	406,41	129,91	0,68		
25	31,72	31,08	4,99	34,58	15,83	3,31	3,15	92,42	11,50	276,58	429,41	154,16	0,72		
50	28,99	30,41	5,30	35,58	16,58	3,27	2,98	96,00	11,25	281,58	453,58	151,83	0,78		
75	28,78	30,83	4,85	33,25	17,16	3,15	3,06	100,67	12,16	303,33	487,00	152,41	0,80		
100	30,12	31,00	5,04	35,66	17,00	3,05	3,31	96,92	12,41	265,83	543,83	153,58	0,87		
Espécies de Cobertura															
Braquiária	31,69 a	26,95 b	4,91	29,90 b	16,75	2,92 b	3,25 a	89,40	11,20 b	254,20 b	426,15 b	139,65	0,71 b		
Guandu	25,44 b	37,70 a	5,17	41,30 a	17,05	4,04 a	2,80 b	103,05	12,65 a	245,60 a	570,55 a	156,60	0,92 a		
Milheto	32,80 a	26,65 b	4,91	31,25 b	16,90	3,04 b	3,30 a	93,60	11,25 ^{NS}	235,30 b	395,45 b	148,90	0,69 b		
Si	0,73 ^{NS}	0,71 ^{NS}	1,23 ^{NS}	0,94 ^{NS}	1,00 ^{NS}	5,62 ^{**}	2,39 [*]	0,28 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,44 ^{NS}	4,88 ^{**}	1,04 ^{NS}	3,57 [*]		
F	13,79 ^{**}	54,54 ^{**}	1,13 ^{NS}	21,23 ^{**}	0,06 ^{NS}	35,75 ^{**}	19,41 ^{**}	1,50 ^{NS}	3,82 [*]	10,44 ^{**}	24,72 ^{**}	1,16 ^{NS}	17,91 ^{**}		
Si X Cob	4,53 ^{**}	1,19 ^{NS}	2,35 [*]	1,05 ^{NS}	0,87 ^{NS}	1,97 ^{NS}	3,05 ^{**}	0,88 ^{NS}	2,08 ^{NS}	1,30 ^{NS}	0,87 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,88 ^{NS}		
DMS Cob	4,66	3,71	0,48	5,89	-	0,44	0,27	24,81	1,44	79,57	81,99	34,29	0,13		
RL	-	-	-	-	-	17,97 ^{**}	-	-	-	-	**	-	13,90 ^{**}		
RQ	-	-	-	-	-	-	1,62 [*]	-	-	-	-	-	-		
CV (%)	15,93	12,52	12,59	17,70	15,66	13,75	9,01	26,68	16,07	29,31	18,12	23,69	17,41		

^{NS} não significativo

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

$$(1) \quad y = 3,69 - 0,0071x$$

$$R^2 = 0,7989$$

$$(2) \quad y = 3,124 - 0,0052x + 0,00007x^2$$

$$R^2 = 0,6610$$

$$(3) \quad y = 397,5666 + 1,3293x$$

$$R^2 = 0,9590$$

$$(4) \quad y = 0,6817 + 0,0018x$$

$$R^2 = 0,9733$$

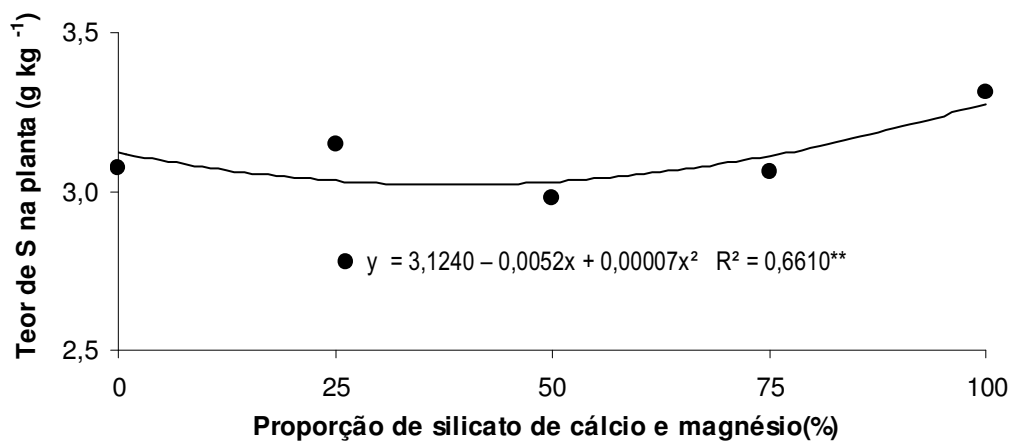


Figura 7. Teor de S na parte aérea do feijão em função das proporções de silicato.

Quanto aos micronutrientes o acréscimo nas proporções de silicato, elevou os teores de Mn e Si no feijoeiro, sendo os dados ajustados a funções lineares. O aumento no teor de Si no feijoeiro está relacionado com o aumento na sua disponibilidade no solo (Tabela 4). Para Mn mesmo não havendo acréscimo significativo no solo houve aumento na sua disponibilidade.

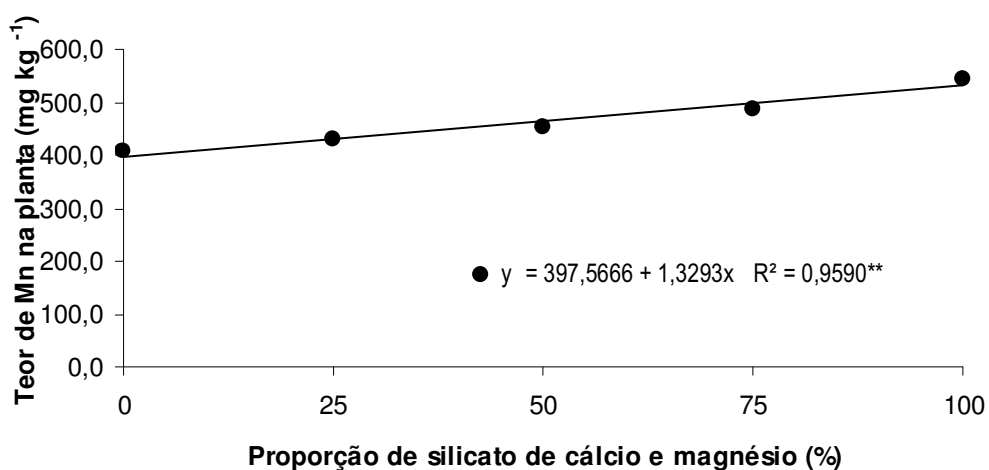


Figura 8. Teor de Mn na parte aérea do feijão em função das proporções de silicato.

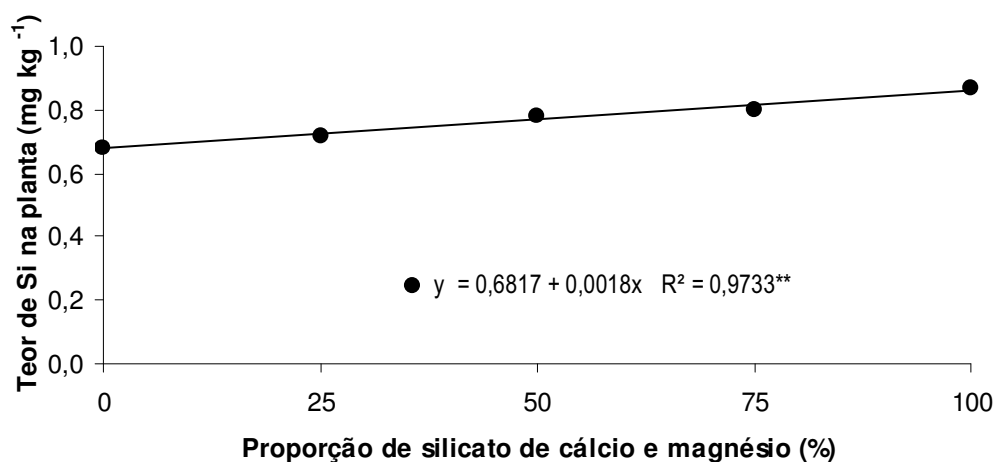


Figura 9. Teor de Si na parte aérea do feijão em função das proporções de silicato.

Em relação às espécies de cobertura, a braquiária e o milheto promoveram maiores teores de matéria seca para o feijoeiro (Tabela 11). Esses resultados concordam com os obtidos por Nunes et al. (2006) que demonstraram maior produtividade de feijão quando semeado sobre a palhada de braquiária em relação ao guandu. No sistema plantio direto a escolha das espécies de plantas de cobertura do solo, pode alterar tanto a fertilidade do solo (CORRÊA et al., 2007; ROSOLEM et al. 2005), bem como o desenvolvimento da cultura comercial, permitindo maior produtividade agrícola.

Os teores dos nutrientes N, K, Mg, Fe, Mn e Si, foram significativamente maiores para as plantas de feijoeiro que tiveram como resíduo o guandu, em função provavelmente do efeito de diluição, uma vez que, os resíduos de guandu apresentaram plantas de feijoeiro com menores valores de matéria seca. Já para os teores de S, as gramíneas (braquiária e milheto) apresentaram maior capacidade de acumulação desse elemento, sendo os teores nas gramíneas significativamente maiores quando comparados a leguminosa (guandu). Para o teor de Cu, não foram observadas diferenças significativas para a cultura do milheto e do guandu.

A massa seca da parte aérea do feijoeiro foi desfavorecida pelo aumento da porcentagem de silicato, sendo que a interação foi significativa apenas para a cultura do guandu, havendo decréscimo linear na produção de matéria seca em função do aumento da porcentagem de silicato utilizado como corretivo, podendo inferir que quando plantado em sucessão ao guandu, deve-se aplicar calcário em detrimento ao silicato de

cálcio para correção do solo para o feijoeiro. No entanto, são poucos os trabalhos com silício para a cultura do feijão, devendo haver maior quantidade de estudos para que possam ser obtidas conclusões mais seguras sobre o efeito desse elemento para o feijoeiro, principalmente no sistema plantio direto.

Quanto ao P, houve interação significativa entre as proporções de silicato e as plantas de cobertura, no entanto, apenas a braquiária apresentou efeito significativo com comportamento quadrático crescente em função do aumento da proporção de silicato, sendo a porcentagem de 50% de silicato a que apresentou o maior teor de P no feijoeiro (Figura 11). Quanto às plantas de cobertura a braquiária e o milho foram superiores ao guandu apenas na porcentagem de 50% de silicato, para as demais porcentagens não houve diferenças significativas entre as culturas. Corrêa et al. (2004) denotaram a importância do fornecimento de P ao solo em razão de diferentes palhadas de plantas de cobertura na cultura da soja. As espécies vegetais são muito importantes na solubilização do P, principalmente o não-lábil, pois existem espécies que possuem a capacidade de solubilizar o elemento mediante a exsudação de suas raízes, a qual contém ácidos orgânicos, e estes, por sua vez, agem na dissolução do colóide liberando o P para o meio (CHIEN e MENON, 1995).

Vale ressaltar que o P é o nutriente mais limitante da produtividade de biomassa em solos tropicais (NOVAIS e SMYTH, 1999), assim práticas que possibilitem o aumento desse nutriente no solo e, conseqüentemente, a maior disponibilidade à planta, tornam-se de extrema importância na sustentabilidade da produção agrícola moderna. É a produção de biomassa (parte aérea e raiz) que irá produzir o aporte de matéria orgânica no solo, a qual tem como uma de suas funções influir na adsorção de P no solo, podendo complexar esse elemento ou recobrir a superfície dos sesquióxidos de Fe e Al com moléculas de ácidos húmicos, que representam pontos importantes de fixação de P, principalmente em condições de solos intemperizados (ANDRADE et al. 2003). Portanto, todas as práticas de manejo que visam manter ou incrementar os níveis de P pelo aumento da matéria orgânica podem resultar em benefícios no aproveitamento de P pelas plantas (ALMEIDA et al., 2003).

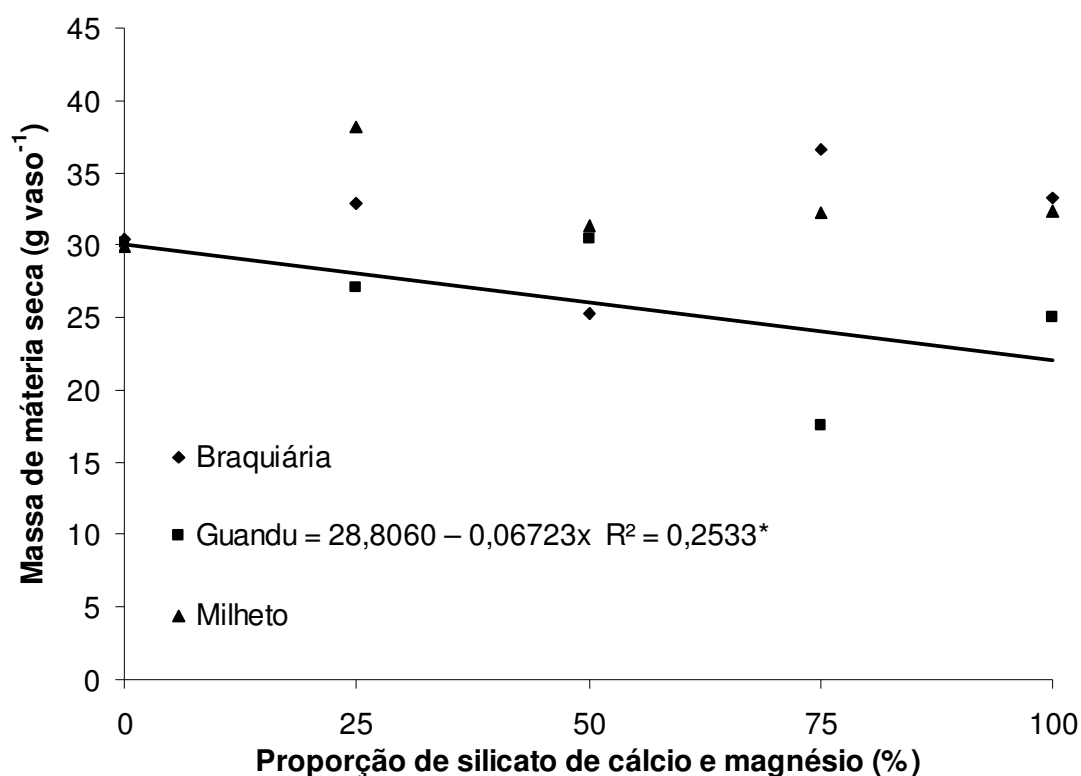


Figura 10. Desdobramento das interações positivas referentes à massa de matéria seca da parte aérea do feijoeiro em função de plantas de cobertura e das proporções de silicato.

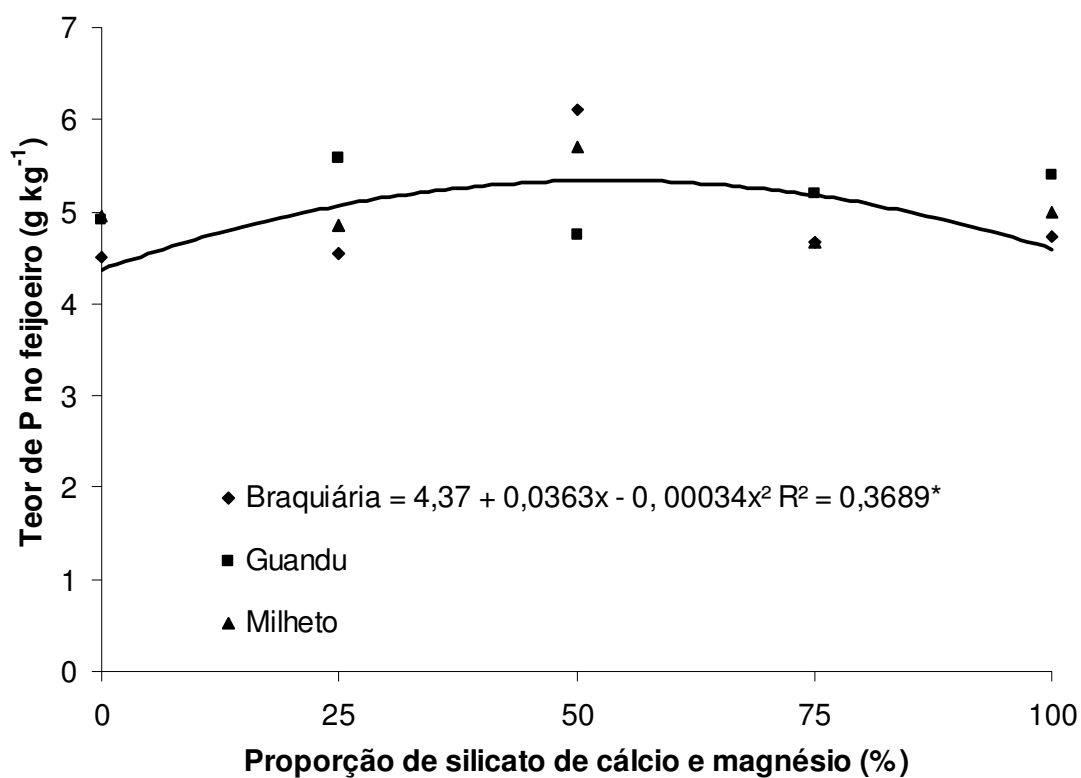


Figura 11. Teor de P na parte aérea do feijoeiro em função de plantas de cobertura e das proporções de silicato.

Em relação ao acúmulo de enxofre (S) no feijoeiro, houve interação significativa entre as proporções de silicato e plantas de cobertura (Figura 12), sendo que a braquiária apresentou redução no teor desse elemento em função da aplicação de silicato de cálcio, já o milho apresentou crescimento linear no acúmulo do elemento em função do aumento das porcentagens de silicato utilizado como corretivo. Para a cultura do guandu a interação também foi significativa, porém se ajustando a função quadrática, sendo o maior teor de S obtido para a maior porcentagem de silicato utilizada. As gramíneas braquiária e guandu, foram superiores ao guandu em disponibilizar o elemento para o feijão, exceto na porcentagem 0 de silicato onde apenas a braquiária foi superior ao guandu e na 75, em que não houve diferença para as diferentes culturas de cobertura testadas.

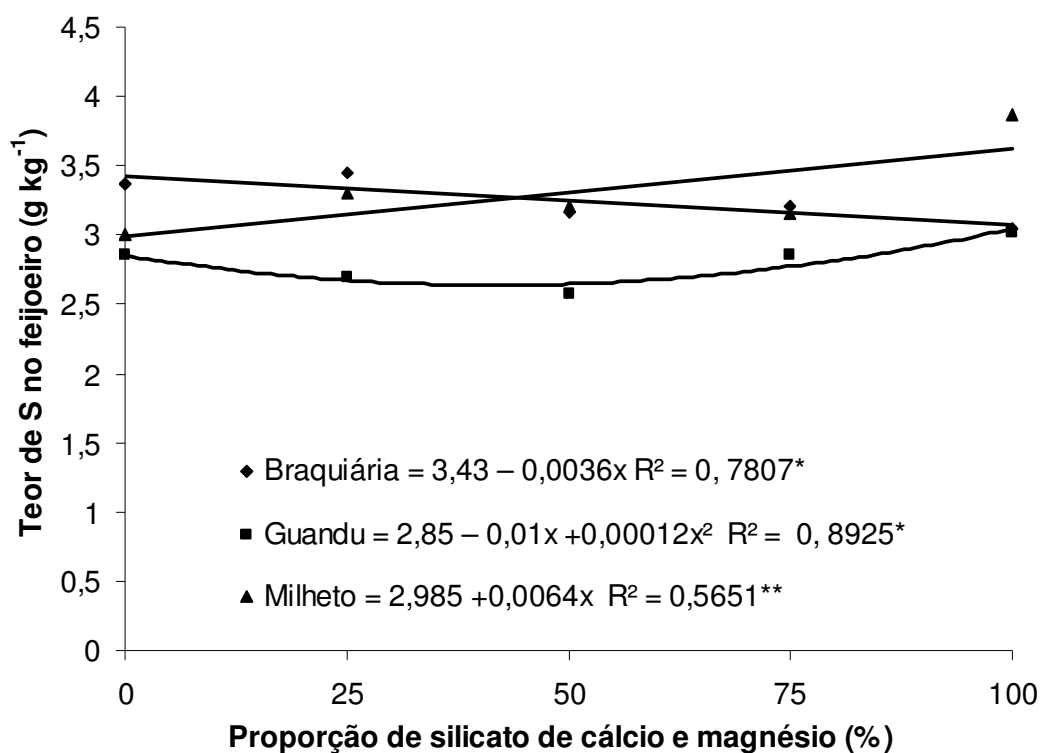


Figura 12. Desdobramento das interações positivas referentes ao teor de S na parte aérea do feijoeiro em função de plantas de cobertura e das proporções de silicato.

6.3 Persistência de palhada, acúmulo e liberação de nutrientes

6.3.1 Resíduos vegetais produzidos

Como a quantidade acumulada de um elemento na palhada provém da multiplicação do teor do nutriente pela matéria seca, e tendo em vista que, considerou-se a mesma matéria seca inicial para as diferentes espécies de cobertura, de modo a fornecer quantidade equivalente a 6 t ha^{-1} de matéria seca produzida é possível observar que o comportamento dos dados para valores acumulados de nutrientes até a dessecação e colheita foram similares aos apresentados pelos teores de nutrientes até a dessecação e colheita, Tabelas 6, 8 e 9. No entanto, optou-se pela apresentação desses dados para que fosse possível discutir melhor os resultados referentes à matéria seca remanescente.

Cabe ainda ressaltar que independente das proporções de silicato utilizadas como corretivos de acidez de solo os macronutrientes foram extraídos na seguinte ordem: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, variando apenas quanto a proporção 75% de silicato, na qual, a quantidade extraída de P foi superior ao Mg.

O nutriente acumulado em maior quantidade, pelas espécies de cobertura foi o N seguido pelo K, discordando dos dados observados por Lima (2004), que trabalhando com sorgo de guiné, milho e painço obteve maior quantidade de K acumulada seguida pelo N. Segundo Raij et al. (1996) as gramíneas apresentam alta reciclagem de K, o que favoreceria a rotação e sucessão com leguminosas fornecedoras de N, no entanto, observou-se que o guandu acumulou maiores quantidades de N e K que as gramíneas, o que deve ter ocorrido em função do efeito de diluição, por que as gramíneas produziram maior quantidade de matéria seca que o guandu, porém considerou-se o mesmo valor para o retorno da matéria seca ao solo. As quantidades de N observadas para braquiária e milho 92,1 e 84,6 kg ha^{-1} , foram inferiores as obtidas por Torres (2005) 130,8 e 165,6 kg ha^{-1} , respectivamente.

Em relação aos demais nutrientes, para braquiária e o milho, seguiram a seguinte ordem: $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{S}$, sendo que os valores obtidos de Ca e Mg foram semelhantes. Já para o guandu as quantidades acumuladas obedeceram a seqüência: $\text{Ca} > \text{P} > \text{S} > \text{Mg}$.

Tabela 12. Valores médios para os componentes químicos acumulados pelas espécies de coberturas até a dessecação.

Tratamentos Proporção de silicato (%)	Macronutrientes (kg. ha ⁻¹)					Micronutrientes-(g ha ⁻¹)						
	N	P	K	Ca	Mg (1)	S	B	Cu	Fe	Mn (2)	Zn	Si
0	128,5	16,45	61,0	39,5	25,55	11,55	206,0	55,5	1609,0	750,0	310,5	4,50
25	127,0	15,65	74,5	41,5	23,40	11,70	193,1	53,0	1231,5	937,5	245,5	4,11
50	127,5	18,05	63,5	36,5	20,75	11,90	188,0	52,0	1157,5	1000,5	108,5	3,95
75	136,5	17,40	73,0	37,5	10,65	13,20	193,5	62,5	1057,5	1043,0	232,5	4,05
100	124,0	16,70	69,0	41,0	17,15	11,25	170,5	56,0	864,5	1265,0	100,5	3,72
Espécies de Cobertura												
Braquiária	92,1 b	15,30	59,7 b	24,6 b	24,75 a	8,43 c	137,1 a	41,4 b	973,8	918,3	111,0 b	3,73 b
Guandu	209,4 a	18,39	92,1 a	66,6 a	12,93 b	15,27 a	303,0 a	80,1 a	1704,3	1005,0	402,6 a	5,63 a
Milheto	84,6 b	16,86	52,8 b	26,4 b	26,22 a	12,06 b	130,5 b	45,9 b	873,9	1074,0	204,9 b	2,84 b
Si	0,71 ^{NS}	0,63 ^{NS}	2,02 ^{NS}	0,61 ^{NS}	6,57 ^{**}	1,21 ^{NS}	0,95 ^{NS}	1,39 ^{NS}	0,54 ^{NS}	4,36 ^{**}	0,69 ^{NS}	0,90 ^{NS}
F	266,01 ^{NS}	3,01 ^{NS}	43,28 ^{**}	122,58 ^{**}	54,32 ^{**}	41,61 ^{**}	92,32 ^{**}	61,83 ^{**}	2,44 ^{NS}	1,28 ^{NS}	13,53 ^{**}	38,26 ^{**}
Si X Cob	0,84 ^{NS}	0,40 ^{NS}	3,81 ^{**}	0,98 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,56 ^{NS}	1,51 ^{NS}	2,32 [*]	0,99 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,19 ^{NS}
DMS Cob	18,71	-	13,90	9,35	4,31	2,31	44,36	11,73	-	-	176,44	1,00
RL	-	-	-	-	25,93 ^{NS}	-	-	-	-	-	15,25 ^{**}	-
RQ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	14,91	23,60	20,91	24,47	20,75	19,90	23,92	21,57	109,48	30,87	75,55	25,30

^{NS} não significativo

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

(1) $y = 25,41 - 0,0822x$

$R^2 = 0,9885$

(2) $y = 772,1 + 4,542x$

$R^2 = 0,9311$

Cabe ressaltar que o guandu acumulou as maiores quantidades de Ca e S, sendo que para esse último elemento a braquiária apresentou os menores valores de acúmulo. Quanto ao Mg as gramíneas foram significativamente superiores ao guandu em seu acúmulo. Para o P os valores acumulados não diferiram para as diferentes espécies de cobertura do solo.

As quantidades acumuladas de micronutrientes pelas coberturas, nas diferentes proporções de silicato utilizadas seguiram a seguinte seqüência: Fe>Mn>Zn>B>Cu>Si. O milho teve maior quantidade acumulada de Mn em relação ao Fe, diferindo das demais espécies analisadas.

O guandu apresentou maior acúmulo de B, Cu, Zn e Si em relação às gramíneas. Para valores acumulados de Fe e Mn não houve diferenças entre as espécies testadas.

Tabela 13. Desdobramento das interações positivas referente ao K (kg ha⁻¹) acumulado em coberturas após dessecação.

Tratamentos Proporção de silicato (%)	Espécies de cobertura		
	Braquiária	Guandu (1)	Milheto
0	61,5	66,0	55,5 a
25	75,0 ab	99,0 a	49,5 b
50	33,0 b	99,0 a	58,5 b
75	69,0 b	100,5 a	49,5 b
100	60,0 b	96,0 a	51,0 c
DMS Coberturas		31,10	
RL	-	-	-
RQ	-	7,58 **	3,93 *

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

$$(1) \quad y = 69,3 + 1,086x - 0,0084x^2$$

$$R^2 = 0,8862$$

Em relação ao K, houve interação significativa entre as proporções de silicato e as diferentes coberturas, sendo que na proporção 0 de silicato não houve diferenças significativas entre as diferentes coberturas, já na dose 25 a braquiária e o guandu não apresentaram diferenças. Nas demais doses o guandu foi superior no acúmulo de K. Quanto às proporções de silicato apenas houve interação significativa para o guandu,

sendo que os dados se ajustaram a função quadrática (Tabela 13), com tendência de crescimento em função do aumento da proporção de silicato utilizado.

Tabela 14. Desdobramento das interações positivas referente ao Cu (g ha^{-1}) acumulado em coberturas após dessecação.

Tratamentos Proporção de silicato (%)	Espécies de cobertura		
	Braquiária	Guandu	Milheto
0	39,0 b	81,0 a	46,5 b
25	45,0 b	75,0 a	39,0 b
50	39,0 b	63,0 a	54,0 ab
75	42,0 b	100,5 a	45,0 b
100	42,0 b	81,0 a	45,0 b
DMS Coberturas		20,68	
RL	-	-	-
RQ	-	-	-

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

Quanto ao Cu, as interações estão apresentadas na Tabela 14. O guandu apresentou maior acúmulo do elemento independente da proporção de silicato, em relação às demais espécies de cobertura, sendo para na proporção 50 não houve diferença significativa entre as coberturas guandu e milheto.

6.3.2 Resíduos vegetais degradados

Os valores remanescentes dos nutrientes, obtidos na análise da palhada das espécies de cobertura após a dessecação e manejo da parte aérea das plantas e, após 125 dias de decomposição dos resíduos vegetais estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Valores médios para os componentes químicos remanescentes na palhada das espécies de coberturas após o período de decomposição.

Tratamentos Proporção de silicato (%)	Macronutrientes (kg ha ⁻¹)							Micronutrientes-(g ha ⁻¹)						
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si		
0	48,91	7,37	6,17	33,91	9,00	7,67	147,92	52,58	12490,33	775,83	139,17	4,41		
25	50,71	7,92	8,58	31,75	9,58	7,75	136,00	46,50	10256,75	861,25	169,17	4,14		
50	47,16	7,25	6,91	30,50	7,42	7,17	122,92	43,58	9719,83	811,50	185,50	3,79		
75	45,41	7,27	7,08	31,25	6,58	7,25	129,75	46,92	10697,83	877,17	158,92	4,27		
100	51,91	7,35	7,50	33,41	6,33	7,91	128,00	41,83	10393,75	1083,33	192,08	4,80		
Espécies de Cobertura														
Brachiaria	56,2 a	8,50 a	7,50 a	32,85	9,55 a	7,20 b	142,25 a	47,85 a	12414,35 a	1040,85 a	192,40 a	5,32 a		
Guandu	32,8 b	3,97 b	4,65 b	32,20	2,70 b	6,25 b	108,90 b	34,85 b	6470,00 b	635,25 b	139,45 b	2,17 b		
Milheto	57,5 a	9,82 a	9,60 a	31,25	11,10 a	9,20 a	147,60 a	56,15 a	13250,75 a	969,35 a	207,45 a	5,36 a		
Si	0,89 ^{NS}	0,28 ^{NS}	1,74 ^{NS}	0,59 ^{NS}	5,25 ^{**}	0,39 ^{NS}	1,13 ^{NS}	1,36 ^{NS}	1,34 ^{NS}	5,97 ^{**}	1,05 ^{NS}	1,20 ^{NS}		
F	41,85 ^{**}	56,38 ^{**}	22,76 ^{**}	0,23 ^{NS}	83,33 ^{**}	14,14 ^{**}	9,02 ^{**}	15,63 ^{**}	27,49 ^{**}	32,60 ^{**}	9,81 ^{**}	49,21 ^{**}		
Si X Cob	0,61 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,79 ^{NS}	0,69 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,77 ^{NS}	1,03 ^{NS}	2,55 [*]	0,78 ^{NS}	1,55 ^{NS}	1,79 ^{NS}	0,34 ^{NS}		
DMS Cob	9,37	1,78	2,27	-	2,13	1,75	30,44	11,84	3074,82	165,36	49,71	1,14		
RL	-	-	-	-	17,37 ^{**}	-	-	-	-	16,61 ^{**}	-	-		
RQ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
CV (%)	19,67	24,57	32,12	20,29	28,13	23,71	23,49	26,24	29,43	19,23	28,36	27,52		

^{NS} não significativo

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

(1) $y = 9,45 - 0,0333x$

$R^2 = 0,8270$

(2) $y = 755,6333 + 2,52x^2$

$R^2 = 0,6955$

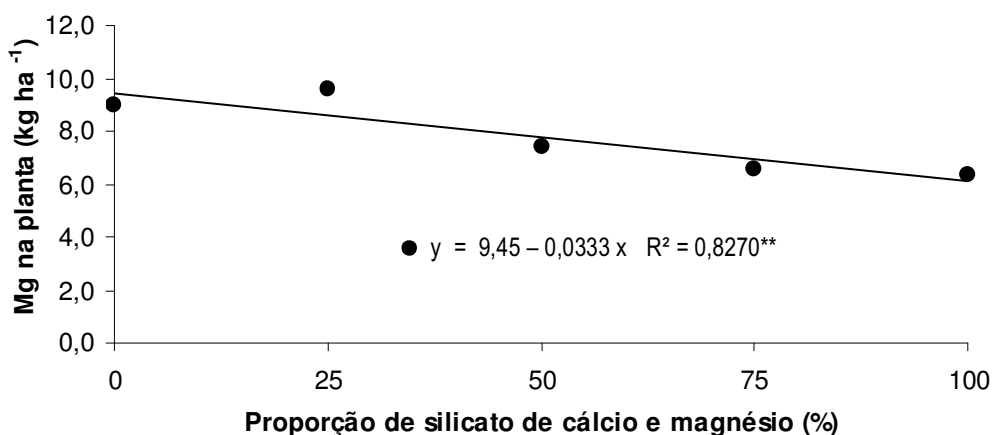


Figura 13. Mg (kg ha⁻¹) remanescente na parte aérea de plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato.

Em relação aos macronutrientes, houve efeito significativo nos valores remanescentes de Mg em função do aumento das proporções de silicato, sendo os dados ajustados a equação linear, ou seja, houve redução nos valores remanescentes do elemento em função do aumento da proporção do silicato no corretivo. Esse resultado confirma a interferência verificada em relação às diferentes proporções de silicato na diminuição do teor médio de Mg no solo (Tabela 4), bem como a menor absorção desse nutriente pelas plantas de cobertura (Figura 1), além da menor absorção do elemento pela planta feijão após semeadura sobre guandu e milho (Figura 6). A razão para a menor disponibilidade de Mg pelas plantas de cobertura, assim como as demais variáveis, novamente, está ligada a presença de Mg mais solúvel no calcário em relação ao Mg do silicato de cálcio, permitindo maior disponibilidade deste no solo e, conseqüentemente, maior absorção e liberação pelas plantas de cobertura e culturas de interesse comercial.

A braquiária e o milho apresentaram valores remanescentes significativamente maiores de N, P, K e Mg, principalmente em razão da maior quantidade de matéria seca remanescentes para essas espécies (Tabela 17). Para o valor acumulado de S o milho apresentou no final do período de decomposição uma palhada mais rica neste elemento em relação às demais espécies.

Cabe destacar quando ao N, a capacidade relativamente maior de liberação para o solo desse elemento no guandu 176,6 kg ha⁻¹, contra 35,9 e 27,1 kg ha⁻¹ da braquiária e milho. Discordando de Primavesi et al. (2002), segundo o qual, as gramíneas

por seu elevado potencial de produção de matéria seca, podem depositar mais N no solo que as leguminosas.

Em relação à quantidade potencial de P a ser liberada dos tecidos orgânicos, segundo Lima (2004), este elemento está ligado estruturalmente a moléculas protéicas e a compostos ligados ao transporte de energia, podendo ficar disponível para absorção do sistema radicular quanto para imobilização em compostos minerais de difícil solubilidade. De acordo com os dados obtidos é possível verificar que as diferentes espécies de cobertura apresentam baixa capacidade de acúmulo e conseqüentemente baixas quantidades desse elemento sendo liberados para o solo entre 6,8 a 14, 42 kg ha⁻¹, para braquiária, guandu e milheto, respectivamente, sendo que para o guandu esses valores equivalem a 79% do valor de P acumulado.

Ressalta-se a grande capacidade de fornecimento de K pelas espécies de cobertura braquiária, guandu e milheto: 52,2; 87,45 e 43,2 kg ha⁻¹, respectivamente. Isto ocorre em função desse cátion ser o mais abundante no citoplasma das células vegetais que, porém, não possuem função estrutural (MARSCHNER, 1995), formando ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (ROSOLEM, et al. 2003).

Para os valores de Ca remanescentes na palha pode-se notar que para braquiária e o milheto apresentaram aumento nesse nutriente quando relacionado ao valor inicial acumulado, o que se deve a efeitos de concentração. Já o guandu disponibilizou para o solo cerca de 30 kg ha⁻¹ desse nutriente, em função provavelmente da sua maior decomposição em relação às demais espécies de cobertura.

Observa-se que as gramíneas forneceram os maiores valores de Mg liberados : 15,2 e 20,97 kg ha⁻¹ para braquiária e milheto, respectivamente, em relação ao guandu que forneceu apenas 10,23 kg ha⁻¹. Já com relação ao S o guandu mostrou-se superior (9,02 kg ha⁻¹), quando aos valores disponibilizados ao solo durante o ciclo em relação às gramíneas (1,23 e 2, 86 kg ha⁻¹ braquiária e milheto, respectivamente).

Dessa maneira, pode-se notar que o guandu apresentou os menores teores remanescentes dos nutrientes N, P, K, Mg e S, bem como valores remanescentes de Ca próximos aos obtidos pelas demais espécies de cobertura, mesmo apresentando um valor acumulado superior (Tabelas 12 e 15). Portanto, era de se esperar que o desenvolvimento do feijão fosse favorecido pela palhada de guandu, o que não aconteceu (Figura10), permitindo assim inferir que as quantidades de nutrientes disponibilizados

pelas plantas de cobertura de milho e braquiária foram suficientes para proporcionar crescimento adequado ao feijoeiro. De acordo com Torres et al (2005) a taxa de mineralização e, conseqüentemente, liberação do N das plantas de guandu, milho e braquiária ocorreu 42 dias após a dessecação e, Moraes (2001) verificou que a mineralização dos nutrientes foram mais acentuadas nos 63 dias após a dessecação e rolagem dos resíduos.

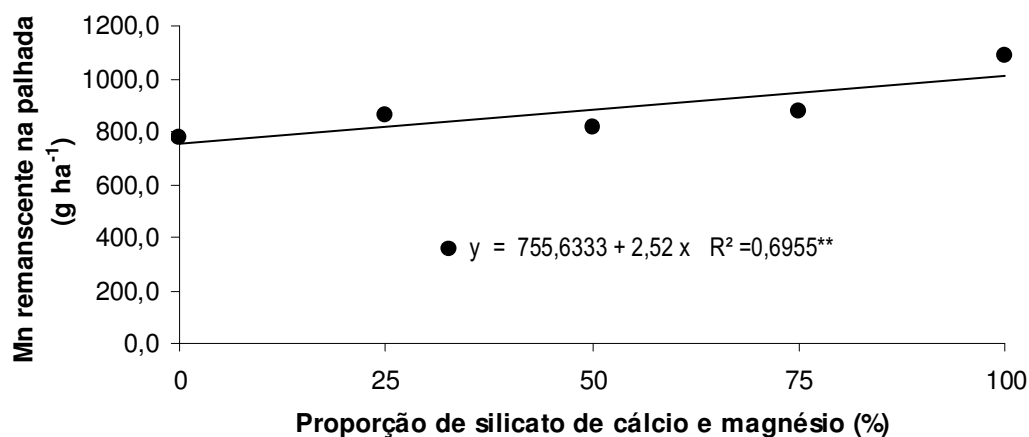


Figura 14. Valores médios de Mn remanescente na palhada em função das proporções de silicato.

No sistema plantio direto, o uso de plantas de cobertura restitui quantidades consideráveis de nutrientes aos cultivos subseqüentes, sendo o conhecimento da dinâmica de liberação desses pelos resíduos vegetais de fundamental importância (BÔER et al., 2007), devendo-se assim, adaptar espécies e épocas de manejo que permitam a sincronia entre a liberação de seus nutrientes com a demanda nutricional da cultura em sucessão (AMADO et al., 2003, BRAZ et al., 2004), atualmente, as plantas de cobertura que fornecem os nutrientes de forma gradativa no solo tornam-se mais adaptadas ao sistema plantio direto, entre elas o milho e, especialmente, a *Brachiaria ruziziense* são exemplos de plantas de coberturas aptas a serem utilizadas no sistema plantio direto na instalação da cultura do feijão em sucessão..

Com relação às espécies de cobertura, foram obtidos valores remanescentes significativamente superiores para as gramíneas (braquiária e milho) para todos os micronutrientes. Cabe destacar que o guandu foi a única espécie de cobertura que conseguiu disponibilizar todos os micronutrientes para o solo com exceção ao Fe, nas seguintes quantidades 194,1, 45,25, 369,75 e 263,15 g ha⁻¹ para B, Cu, Mn e Zn, respectivamente. O milho disponibilizou apenas Mn (35 g ha⁻¹). Para o silício não houve liberação para o solo, uma vez que, os valores acumulados na palhada antes da decomposição são superiores aos observados na palha final, após o período de decomposição, isso ocorre porque, à medida que a palha sofre este processo de decomposição os nutrientes mais solúveis são mineralizados e exsudados para o exterior da planta, restando os de menor solubilidade, no caso o silício.

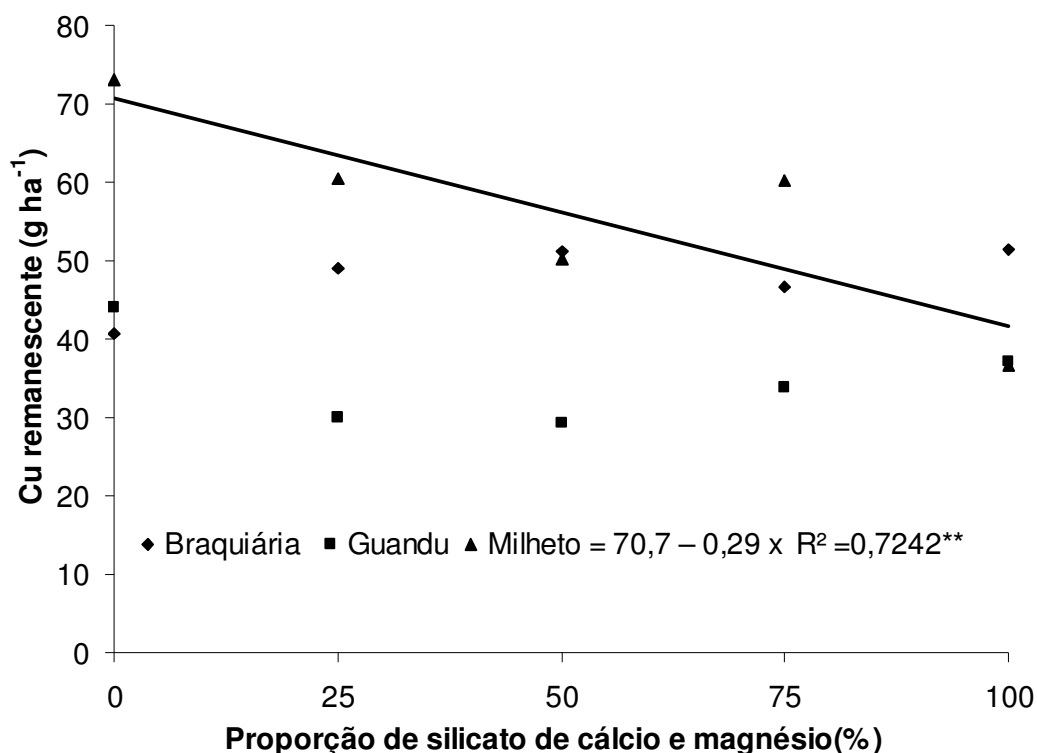


Figura 15. Desdobramento das interações positivas referentes Cu remanescente (g ha⁻¹) da parte aérea de plantas de cobertura em função das proporções de silicato.

Os valores médios de Cu remanescente apresentaram interação entre coberturas e as porcentagens de silicato utilizado como corretivo, sendo a interação

significativa para milheto, com redução no teor remanescente, ou seja, menor teor de Cu acumulado em função da maior porcentagem de silicato no corretivo (Figura 15).

6.4 Metabolismo Secundário

Quanto aos dados referentes ao metabolismo secundário de plantas, cujos parâmetros analisados estão apresentados na Tabela 16, apenas houve efeito significativo em relação às proporções de silicato utilizado para taninos condensados, sendo que os dados se ajustaram a função linear, para qual, há redução na quantidade de taninos condensados em função do aumento da proporção de silicato. Discordando dos resultados obtidos, segundo Epstein (1999), os mecanismos de defesa metabolizados pelo silício incluem a acumulação de lignina, compostos fenólicos e peroxidases. Discordando também de outros autores, segundo os quais, o Si absorvido pela planta é depositado principalmente na parede celular, abaixo da cutícula, aumentando a rigidez da célula (ADATIA e BESFORD, 1986), e podendo elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina da parede celular (LEE et al., 1990).

Ainda na mesma tabela, foram encontrados efeitos significativos para espécies de cobertura para todos os parâmetros analisados (lignina, fenóis totais, taninos totais e condensados), sendo encontrados os maiores teores no guandu, com exceção a taninos condensados, em que o milheto não apresentou diferença significativa em relação ao guandu. Em relação à lignina cabe ressaltar que os menores teores foram encontrados no milheto.

Em relação a taninos condensados, pode-se observar que houve interação significativa entre proporções de silicato e as espécies de coberturas, sendo que os dados estão apresentados na Figura 16, onde pode se verificar que houve efeito significativo para coberturas apenas na ausência de silicato como corretivo de acidez, sendo que neste caso o guandu apresentou os maiores teores de taninos em relação às demais espécies. Para proporções de silicato dentro de espécies de cobertura, apenas houve efeito significativo para o guandu, sendo que os dados se ajustaram a função quadrática, ou seja, houve diminuição dos teores de taninos condensados com aumento das proporções de silicato utilizadas.

Tabela 16. Valores médios para lignina, fenóis totais, taninos totais e condensados.

Tratamentos Prop. de Silicato (%)	Lignina (g kg ⁻¹)	Fenóis totais ¹	Taninos totais ¹	Taninos condensados ² (1)
0	49,41	17,53	11,96	0,69
25	50,75	15,87	10,34	0,47
50	52,33	17,74	12,04	0,52
75	49,00	17,12	11,69	0,50
100	55,41	15,59	10,27	0,42
Espécies de Cobertura				
Braquiária	42,3 b	14,53 b	9,33 b	0,42 b
Guandu	80,9 a	19,88 a	13,55 a	0,60 a
Milheto	30,95 c	15,90 b	10,89 b	0,54 ab
Silício	1,08 ^{NS}	1,28 ^{NS}	1,79 ^{NS}	3,63 *
F Coberturas	182,44 **	17,22 **	17,40 **	5,47 **
Si x Coberturas	1,12 ^{NS}	0,69 ^{NS}	0,955 ^{NS}	3,68 **
DMS Cob.	6,66	2,30	1,75	0,14
Proporção de Silicato	RL	-	-	9,28**
	RQ	-	-	-
CV (%)	16,87	17,83	20,31	34,87

¹ Valores expressos em equivalente grama de ácido tânico / kg de matéria seca

² Valores expressos em equivalente grama de leucocianidina / kg de matéria seca

^{NS} Não significativo

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

(1) $y = 0,626 - 0,0020x$

$R^2 = 0,6374$

Quanto aos valores de metabólitos secundários na palhada das espécies de coberturas após o período de decomposição, as amostras foram analisadas apenas quanto ao teor de lignina, em função do fato dos taninos e fenóis sofrerem volatilização pelo processo de secagem para obtenção da matéria seca. Com relação às proporções de silicato utilizadas como corretivos de acidez de solo, houve efeito significativo para os teores de lignina, que se ajustaram a função quadrática (Figura 17), onde se pode observar que o maior teor de lignina foi obtido na ausência de silicato como corretivo (proporção 0 de silicato). Já para os dados de matéria seca final não houve efeito significativo para as diferentes proporções de silicato, indicando que as diferenças apresentadas nos teores de lignina da palhada degradada foram insuficientes para alterar a degradação, e desse modo, alterar os valores de matéria seca final.

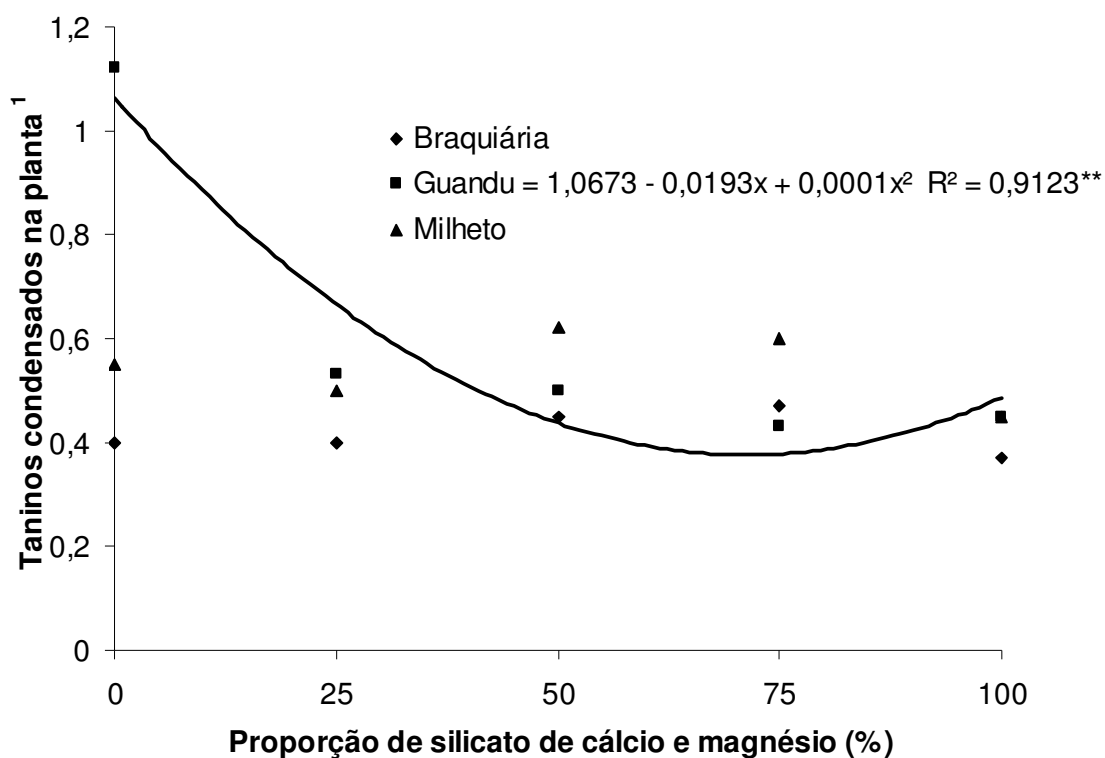


Figura 16. Desdobramento das interações significativas para valores médios de taninos condensados (1 – Valores expressos em equivalente grama de leucocianidina) nas plantas de cobertura braquiária, guandu e milheto, em função das proporções de silicato.

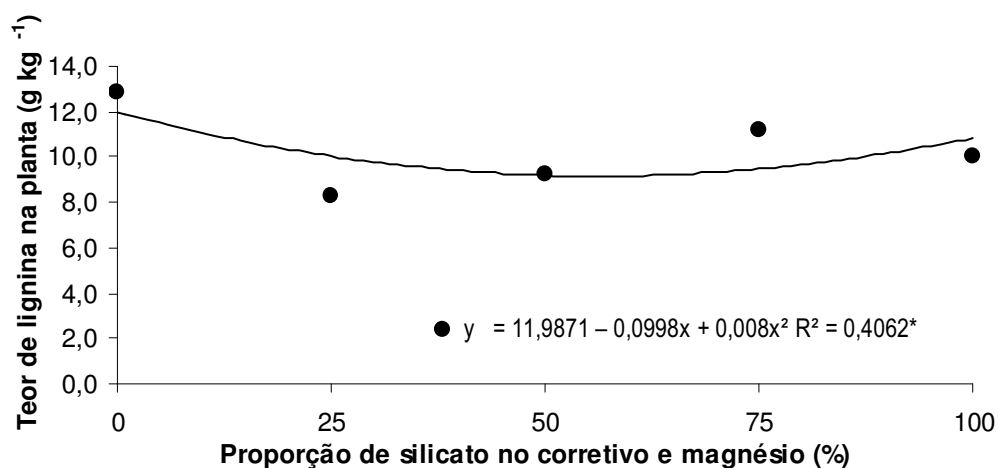


Figura 17. Teor de lignina na parte aérea das plantas de cobertura em função do aumento das proporções de silicato.

Ressalta-se que para as diferentes espécies de cobertura analisadas os maiores teores de lignina foram obtidos no guandu e braquiária. Cabe ressaltar que os

teores de lignina diminuíram com a decomposição dessas palhadas, em especial, para o guandu que passou do teor $80,3 \text{ g kg}^{-1}$ para $11,24 \text{ g kg}^{-1}$.

Observou-se também que para teores de lignina houve interação significativa entre proporções de silicato e as espécies de cobertura, estando os desdobramentos apresentados na Figura 18, onde se pode verificar que houve diferenças significativas das espécies de cobertura para a proporção 0 e 75% de silicato, sendo que tanto na ausência quanto na presença do silicato, os teores de lignina foram superiores para braquiária e milheto. Já com relação às proporções de silicato dentro das espécies de cobertura, houve efeito significativo apenas para o milheto, sendo os dados ajustados a função quadrática. Em relação à matéria seca final das espécies de cobertura (t ha^{-1}), os maiores valores remanescentes foram verificados para as palhadas de milheto e braquiária. Isto ocorre por que as leguminosas, por apresentarem uma estreita relação C:N e um maior conteúdo de N e C-solúveis em água (Giacomini et al. 2000) são rapidamente decompostas, liberando a maior parte dos nutrientes dos resíduos nos primeiros 30 dias após o seu manejo (DA ROS e AITA, 1996) . Em função desta rápida decomposição, é pequena a sua contribuição na proteção do solo contra a erosão. Por outro lado, as gramíneas caracterizam-se pela elevada relação C:N da palhada o que resulta numa menor taxa de decomposição favorecendo uma maior conservação de umidade no solo e maior proteção do solo contra os processos erosivos.

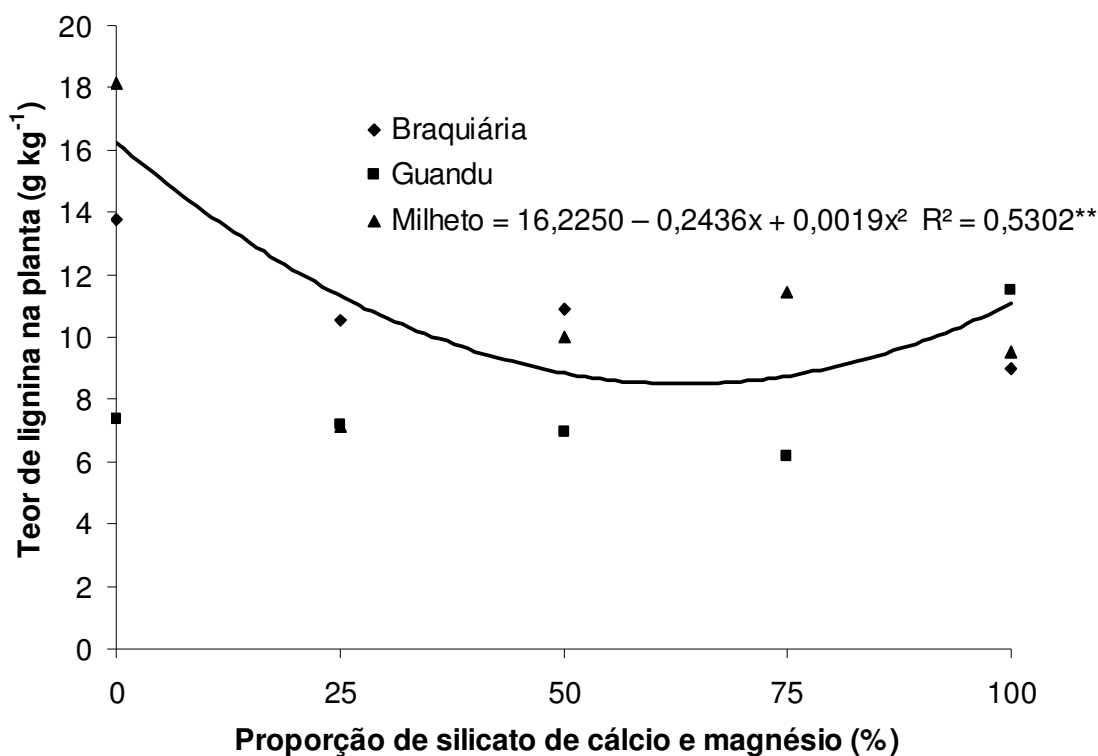


Figura 18. Teor de lignina na parte aérea das plantas de cobertura braquiária, guandu e milho em função do aumento das proporções de silicato

As espécies que apresentaram os maiores teores de lignina (braquiária e guandu), não apresentaram os maiores valores de matéria seca final (braquiária e milho), o que se deve, provavelmente, a sua concentração, principalmente no guandu que apresentou os menores valores de matéria seca final.

Os resultados obtidos para matéria seca remanescente foram significativos para as espécies de cobertura do solo, sendo que as gramíneas apresentaram maior persistência de palhada após o período de decomposição em relação à leguminosa (guandu). O guandu apresentou a maior taxa de decomposição em relação às gramíneas, apresentando 27% de matéria seca remanescente, já para milho e braquiária no final do período de decomposição restavam 65 e 58%, respectivamente.

Tabela 17. Valores médios para lignina e matéria seca após período de decomposição.

Tratamentos		Lignina (g kg ⁻¹)	MS (T ha ⁻¹)
Prop. de Silicato (%)		(1)	
0		12,85	2,89
25		8,28	3,23
50		9,26	2,90
75		11,17	2,95
100		10,00	3,03
Espécies de cobertura			
Braquiária		11,87 a	3,50 a
Guandu		11,24 ab	1,64 b
Milheto		7,83 b	3,88 a
F	Silício	2,99 *	0,58 ^{NS}
	Cob	7,53 **	73,89 **
	Si x Cob	3,12 **	0,84 ^{NS}
DMS Cob.		3,45	0,48
Proporção de Silicato	RL	-	-
	RQ	4,11 *	-
CV (%)		34,30	20,74

^{NS} não significativo

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey

* significativo a 5% de probabilidade

** significativo a 1% de probabilidade

RL: regressão linear

RQ: regressão quadrática

$$(1) \quad y = 11,9871 - 0,0998x + 0,008x^2$$

$$R^2 = 0,4062$$

A escolha das gramíneas braquiária e milheto permitiu melhor crescimento do feijoeiro em relação ao guandu e apresentou menor taxa de decomposição no solo em relação à leguminosa, fator importantíssimo para a proteção do solo contra erosão e na disponibilidade de água no solo, a qual rege também o transporte de nutrientes do solo até a raiz da planta pelos processos de fluxo de massa e de difusão. Esses resultados discordam dos obtidos por Silva et al. (1997) que avaliaram a taxa de decomposição do guandu e da braquiária e obtiveram taxas de decomposição de 61,9 e 78,9%, respectivamente, decorridos 60 dias após a implantação de bolsas de decomposição.

7 CONCLUSÕES

O guandu foi a planta de cobertura que apresentou os maiores teores de N, K, Ca, S, B, Cu, Mn e Zn, tanto na palhada produzida como na remanescente, após o período de decomposição.

Os teores de Mg foram maiores para as gramíneas tanto na palhada produzida como na degrada.

As palhadas de braquiária e milho apresentaram maior persistência em relação ao guandu. O Guandu disponibilizou os nutrientes mais rapidamente que as gramíneas.

As gramíneas, braquiária e milho, possibilitaram maior produção de matéria seca pelo feijoeiro.

As doses de silicato de cálcio e magnésio não interferem na produção de matéria seca do feijoeiro.

As maiores doses de silicato de cálcio e magnésio reduziram os teores de Mg nas espécies de cobertura e aumentaram o teor de Mn.

As maiores doses de silicato de cálcio e magnésio não reduziram a decomposição da palhada e apresentaram efeito negativo para os teores de lignina

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, H. et al. Bean production and white mould incidence under no-till system. **Annual Report of bean Improvement Cooperative**, v. 43, p. 150 -151, 2000.

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, v. 58, p. 343 – 351, 1986.

AGARIE, S.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Involvement of silicon in the senescence of rice leaves. **Plant Production Science**, v. 1, n. 2, p. 104- 105, 1998.

ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J.; BARRON, V. Cor de solo, formas de fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolo desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 985-1002, 2003.

ALVARENGA, R. C.; LARA-CABEZAS, W. A.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25 - 36, 2001.

ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.127-32, 1995.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; DIAS, A., BARROS, N. F.; Aplicação de resíduo siderúrgico em Latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 17, p. 229 – 304, 1993.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II – Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1085 – 1096, 2003.

ANDRADE, E.S.; MENDONÇA, V.H.; ALVAREZ, V.; NOVAIS, R.F. Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1003-1011, 2003.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 867 – 874, 2000.

ARGENTA, G. et al. Efeito do manejo mecânico e químico da aveia –preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 851-860, 2001.

BALBINO, et al. **Plantio direto**. In: _ ARAÚJO, R. S. et al. Cultura do feijoeiro comum no Brasil, Piracicaba. v. 301 – 352, 1996.

BARBOSA FILHO, M. P. Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura). **Informações agronômicas**, n. 89, 2000.

BARBOSA, D. S.; ARRUDA, D. G.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; RAMOS, L. A.; CAMARGO, M. S.; RESENDE, R. H. Comparação entre silicato e calcário na correção do pH e no fornecimento de silício em profundidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. (CD – ROM).

BATE-SMITH, E. C. Attractants and repellents in higher animals. p.45-56. In: HARBORNE, J.B. (ed.). **Phytochemical Ecology**. London, Academic Press, 1972. 272p.

BERG, B. Nitrogen release from litter and humus in coniferus forest soil. A mini review. **Scand. Journal Forestry Research**, v.1, p. 359 – 369, 1986.

BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A. S. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 705-712, 1998.

BÔER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 449 – 457, 2000.

BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M. da; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, p.83-87, 2004.

BROWN, P. L. e DICKEY, D. D. Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. **Soil Science**, v. 34, p. 118 – 121, 1970.

BRUNETON, J. **Elementos de Fitoquímica y de Farmacognosia**. Zaragoza, Editorial Acribia S.A., 1991. 594p.

BUNN, S. E. Processing of the leaf litter in 2 northern jarrah forest streams, Western-Australia .2. The role of macroinvertebrates and the influence of soluble polyphenols and inorganic sediment. **Hydrobiologia**, v. 162, n. 3, p. 211-223, 1988.

CARNEIRO, J.O.F.; BORGES, E.P. Avaliação de diferentes doses e formas de aplicação de herbicidas no manejo de milho (*Penisetum americanum*). Maracajú: Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, 1994. 3p. (Informativo Técnico, 10/94).

CARVALHO-PUPATTO, J. G. **Trocas gasosas e eficiência de uso da água da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de silício**. Botucatu, 2003. 151p. Tese (doutorado em Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.49-54, 2002.

CHAGAS, R. C. S. **Avaliação de fontes de silício para as culturas do arroz e milho**. Piracicaba, 2004. 80p. Tese (doutorado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

CHIEN, S. H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v.41, p.227-234, 1995.

CLANCY, K.M.; ITAMI, J.K.; HUEBNER, D.P. Douglas-fir nutrients and terpenes: potential resistance factors to western spruce budworm defoliation. **Forest Science**, v. 39, n.1, p. 78-94, 1993.

COELHO, P. E. Da escória ao vidro. **Revista Limpeza Pública**, n. 49, p. 36 – 45,1998.

COLEY, P.D. Patrones en las defensas de las plantas: ¿porqué los herbívoros prefieren ciertas especies? **Revista de Biología Tropical**, v. 35, p.151-164, 1987.

CONAB. Levantamento de grãos. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf. Acesso em: mar. 2008.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.9, p.1307-1317, 2007.

CRUSCIOL, C. A.C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n.2, p. 161-168, 2005.

CRUSCIOL, C. A.C.; PUPATTO, J. G. C.; BÜLL, L. T. Aplicação foliar de silício na cultura do arroz irrigado por aspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. (CD – ROM).

DAROLT, M. R. Princípios para implantação e manutenção do sistema. In: DAROLT, M. R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: Iapar, 1998. p. 16-45 (Circular, 101).

DA ROS, C.O. e AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p. 135-140, 1996.

DERPSCH, R.; CALERGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 78p.

DOUGLAS Jr., C. L.; ALLMARAS, R. R.; RASMUSSEN, P. E.; RAMING, R. E. e ROAGER Jr., N. C. Wheau straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, 833 – 837, 1980.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. Autoclave - induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 39, p. 1118 – 1119, 1991.

EMBRAPA. **Guandu (*Cajanus cajan*)**. Disponível em: <http://www.embrapa.br> .Acesso em: jan. 2006.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 641 – 664, 1999.

ESAU, K. **Plant Anatomy**. New York, John Wiley e Sons, Inc., 2.ed., 1965. 767p.

FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Lavras, 2000.47p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos**: con énfasis en suelos de América Latina. 2. ed. San José: IICA, 1994. 420p.

FAWE, A.; ABOW – ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R. R. Silicon – mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, v. 88, p. 396 – 401, 1998.

FEENY, P. Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. **Ecology**, v. 51, n. 4, p.565-581, 1970.

FERREIRA, C. M.; BARROS, G. S. C. Perfil econômico do feijão na década de 90. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 23-34, 2002.

FIRME, D. J. **Enriquecimento e fusão de escórias de siderurgia com fosfato natural**. Viçosa, 1986. 55p. Tese (mestrado) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa.

FOX, L.R.; MACAULEY, B.J. Insect grazing on *Eucalyptus* in response to variation in leaf tannins and nitrogen. **Oecologia**, v. 29, p. 145-162, 1977.

FUSCALDI, K. C.; PRADO, G. R. Análise econômica da cultura do feijão. **Revista de Política Agrícola**, n. 1, p. 17 -30, 2005.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; RHEINHEIMER, D. S.; NICOLOSO, R. S.; VENDRUSCOLO, E.R.; MARQUES, M. G.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura: I. Produção e composição da fitomassa. In: Compact Disk da XXIV Reunião Brasileira Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, VIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas, VI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo e III Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Santa Maria, RS, 2000.

GERSHENZON, J. Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. p.273-320. In: TIMMERMANN, B. N.; STEELINK, C.; LOEWUS, F.A . (eds.). **Phytochemical adaptations to stress - recent advances in phytochemistry**, 18. New York, Plenum Press, 1984. 334p.

HASLAM, E. **Chemistry of vegetable tannins**. London, Academic Press, 1966. 179p.

HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solos e plantas**. Curitiba, UFPR, 1977. 224p. (mimeo).

HOAGLAND, D. R. e ARNON, D. I.. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley, University. of California, 1950. 32p.

HOLTZ, G. P. **Dinâmica da decomposição da palhada e a distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de cultura sob plantio direto na região de Carambeí/PR.** Curitiba, 1995. 129p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná.

HOUSE, G. J. e STINNER, R. E. Decomposition of plant residues in no-tillage agroecosystems: Influence of litterbag mesh size and arthropods. **Pedobiologia**, v. 30, p. 351 – 360, 1987.

HUNT, H. W. A. Simulation model for decomposition in grasslands. **Ecology**, v. 58, p. 469 – 484, 1977.

INANAGA, S.; OKASAKA, A. Does silicon exist in association with organic compounds in rice plant? **Soil Science and Plant Nutrition** , v. 41, n. 1, p. 111 – 117, 1995.

JESSOP, R. S.; STEWART, L. W. Effects of crops residue, soil type and temperature on emergence and early growth of wheat. **Plant and Soil**, v. 74, p. 101-109, 1983.

KANNO, T. et al. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian savannas. **Grassland Science**, v. 45, n. 1, p. 9-14, 1999.

KICHEL, A.; MACEDO, M.C. **Milheto**. Campo Grande: EMBRAPA/CNPGC, 1994. 2p. (EMBRAPA/CNPGC, v.7, n.2).

KIEHL, J.C. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KHATOUNIAN, C.A. O manejo da fertilidade em sistemas de produção. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. (Coord.). **Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola**. Londrina: Iapar, 1999. p.179-221. (Circular, 108).

KONDÖRFER, G. H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 101-106, 1999a.

KONDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n.3, p. 623 - 629, 1999b.

KORNDÖRFER, G. H.; CORRENTE, J. E.; CHAGAS, R. C. S.; MURAOKA, T.; MOURA, W. F. Rendimento e acúmulo de silício em arroz adubado com escória de siderurgia em dois tipos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. (CD – ROM).

LANDERS, J.N. **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia: APDC, 1995. 261p.

KOZLOWASKA, M. and KRZYWANSKI, Z. (1994). The possible role of phenolic compounds in red raspberry resistance to *Didymella applanata* (Niessl) Sacc. **Acta Horticulturae**, v. 381, p. 671, 674, 1994.

LEE, T.S.; KWON, T.O.; PARK, K.H. Influence of nitrogen and silicon on the yield and the lodging related traits of paddy rice. **Soil and Fertilizers**, Wallingford, v.32, n.2, p.15-23,1990.

LEWIS, N. G.; YAMAMOTO, E. Tannins: their place in plant metabolism. In: HEMINGWAY, R. W.; KARCHESY, J. J. (Ed). **Chemistry and significance of condensed tannins**. New York: Plenum Press, 1989, p. 23 – 46.

LIMA, E. V. **Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco**. Botucatu, 2004. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Agricultura. Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

LIMA FILHO, O. F.; GOTHGE- LIMA, M. T.; TSAI, S. M. O silício na Agricultura. **Informações Agrônômicas**, n. 87, p. 17- 27, 1999. Encarte Técnico.

LORENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**, 3, São Paulo, Nova Odessa, 2000, p.292.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. Ceres, SP. 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: Adubos e Adubação**. Ceres, SP. 1981. 607p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. Ceres, SP. 1976. 528p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINS NETO, D. A.; BONAMIGO, L. A. Milheto: características da espécie e usos. In: MARTINS NETO, D. A.; DURÃES, F. O. M. (eds.) **Milheto: tecnologias de produção e agronegócio**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 20 - 36.

MARTINS, E.R.; CASTRO, D.M.de; CASTELLANI, D.C.; DIAS, J.E. **Plantas medicinais**. Viçosa, Imprensa Universitária, 1994. 220p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B. **A cultura da soja gera nitrogênio assimilável para a produção de milho, arroz, trigo, sorgo, cana-de-açúcar**. Campinas: Stoller, 2003. (Folheto).

MATTSON, W.J.; HAACK, R.A; LAWRENCE, R.K.; SLOCUM, S.S. Considering the nutritional ecology of the spruce budworm in its management. **Forest Ecology and Management** **39**:183-210, 1991.

MEDINA-GONZALES, O. A.; FOX, R. L.; BOSSHART, R. P. Solubility and availability to sugarcane (*Saccharum* spp.) of two silicate materials. **Fertilizer Research**, v. 16, p. 3-13, 1998.

MELLILO, J. M.; ABER, J. D. E MURATORE, J. F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology**, v. 63, p. 621 – 626, 1982.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plants Nutrition**. 4. ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MITIDIERI, J. **Manual de gramínea e leguminosas para pastos tropicais**. São Paulo: Nobel/EDUSP, 1983. 198p.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, F. Effect of silicon on the growth of solution – cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 29, p. 71-83, 1983.

MORAES, R. N. S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. Lavras, 2001. 90p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras.

MORTON, J. F.; SMITH, R. E.; LUCO-LOPEZ, M. A. e ABRANS, R. **Pigeon-peas (*Cajanus cajan* Millsp). A valuable crop of the tropics**. Mayaguez, Univ. Puerto Rico - Dep. of Agronomy and Soils, 1982. 122p.

NASCIMENTO, R.S.; ARF, O.; NASCIMENTO, M.S. Aplicação de silício em feijão de inverno em solo de cerrado. CONAFE, Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão, 5, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia , 2005.

NETTO, D. A. M. **A cultura do milho**. EMBRAPA – CNPMS, 1998. 6p. (Com. Técnico, 11).

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P.; TEIXEIRA, J. L.; LEAL, P. G. L. **Eficiência Agronômica de Escórias de Siderurgia Pains**. Viçosa: UFV, 1993.

NOVAIS, F.R.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. UFV, Viçosa - MG, 1999, 399p.

NUNES, U.R.; ANDRADE JÚNIOR, V.C. ; SILVA, E.B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H.A.O.; FERREIRA C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.943-948, 2006.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Decomposição de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2359-2362, 1999.

OLIVEIRA, A. C.; HAHNE, H.; BARROS, N. F.; MORAIS, E. J. Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS E URBANOS EM FLORESTAS, BOTUCATU, 1994. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícola e Florestais, 1994. p. 77 – 96.

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

OLIVEIRA, R. M. Resposta do feijão de inverno a doses de nitrogênio no sistema plantio direto e efeito de palhadas no desenvolvimento do mofo branco. Goiânia, 2001. 88p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás.

PARR, J. F. e PAPENDICK, R. I. Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms, In: OSWALD, W. R., ed. **Crop residue management systems**. Madison, ASA, 1978. p. 101 – 129. (Spec. Publ., 31).

PEREIRA, A. C.; FONSECA, D. P.; SANTOS, G. R.; KORNDÖRFER, G. H.; UITDEWILLIGEN, G. S.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Efeito do silício no controle das principais doenças do arroz irrigado no estado do Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOLOS, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Resumos ...** Ribeirão Preto, 2003. (CD – ROM).

PEREIRA, J.; BURLE, M.L.; RESCK, D.V.S. Adubos verdes e sua utilização no cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia, GO. **Anais...** Campinas, SP : Fundação Cargill, 1992. p.140-154.

PEREIRA, J. A.R. **Cultivo de espécies visando a obtenção de cobertura vegetal do solo na entressafra da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no cerrado.** 1990. 83 p. Dissertação (mestrado em Agronomia /Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1990.

PIAU, W. C. **Efeito de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.).** 1995. 124p. Tese (doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PIAU, W. C. **Viabilidade do uso de escórias como corretivo e fertilizante.** Piracicaba, 1991. 99p. Dissertação (mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PITOL, C.; BORGES, E.P.; BROCH, D. L.; SIEDE, P. K.; ERBES, E. J.; CHIRATA, I. N. O milheto na integração agricultura pecuária. In: CASALE, H. **Café adensado plantio: um desafio e números o que vale é a diferença.** Piracicaba: Potafós, 1996. p.89.

PORTER, L. J.; HRSTICH, L. N.; CHAN, B. G. The conversion of proanthocyanidins and prodelphinidins to cyaniding and delphinidin. **Phytochemistry**, v. 25, p. 223-230, 1986.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; ARMELIN, M. J.A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 77, n. 1, p. 89 – 102, 2002.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 541p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 2. ed., 1996. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

REICHER, F.; SIERAKOWSKI, M.R.; CORRÊA, J.B.C. Determinação espectrofotométrica de taninos pelo reativo fosfotúngstico-fosfomolibdico. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 24, n. 4, p.407-411, 1981.

ROBBERS, J. E.; SPEEDIE, M. K.; TYLER, V. E. **Farmacognosia e Farmacobiotechnologia**. São Paulo, Editorial Premier, 372p. 1997.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S.S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C. e FOLONI, J.S.S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1063-1074, 2005.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant Physiology**. Belmont, Wadsworth Inc., 1992. 682p.

SALTON, J. C. Opções de safrinha para agregação de renda nos Cerrados. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4, 1999, Uberlândia. Plantio direto na integração lavoura-pecuária. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. p. 189-200.

SALTON, J. C. e KICHEL, A. N. Milheto uma alternativa para a cobertura do solo e alimentação animal. **Revista Plantio Direto**, n. 45, p. 41 – 43, 1998.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. (Eds.) **Myths and science of soil of the tropics**. Madison, Soil Science Society of América. 1992. p.35-46.

SANGSTER, A. G.; HODSON, M. J.; PARRY, D.W. Silicon deposition and anatomical studies in the inflorescence bracts of four *Phalaris* species with their possible relevance to carcinogenesis. **New Phytologist**, v. 93, p. 105 – 122, 2001.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1075 – 1083, 2003.

SCHUNKE, R. M. **Qualidade, decomposição e liberação de nutrientes da liteira de quatro cultivares de *Panicum maximun***. Rio de Janeiro, Universidade Federal rural do Rio de Janeiro, 1998, 88p. (Tese Doutorado).

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; DOUZET, J. M. Gestão dos solos e das culturas nas áreas de fronteiras agrícolas dos cerrados úmidos e das florestas no Centro-Oeste brasileiro – região Centro Norte do Mato Grosso: campanha agrícola 1993-94. Lucas do Rio Verde, Cooperlucas: CIRAD, 259p. 1994. (Convênio RPA/COOPERLUCAS/CIRAD-CA).

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MATSUBARA, M. Gestão dos solos e culturas nas fronteiras agrícolas dos cerrados úmidos do Centro-Oeste. Lucas do Rio Verde, CIRAD, 117p. 1992. (Convênio RAP/CIRAD-CA Fazenda Progresso)

SEIFFERT, N.F.; THIAGO, L.R.L. de S. **Guandu**: planta forrageira para a produção de proteína. Campo Grande : Embrapa-CNPGC, 1983. 4p. (Embrapa-CNPGC. Comunicado técnico, 21).

SERRÃO, E. A.; SIMÃO NETO, M. Informações sobre duas espécies de gramíneas forrageiras do gênero *Brachiaria* na Amazônia: *B. decumbens* Stapf e *B. ruziziensis* Germain et Everard. Belém: Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Norte, 1971. 31p. (IPEAN. Série Estudos sobre Forrageiras na Amazônia, v.2, 1).

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C.; DERPSCH, R. Comparasion of three different tillage system with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and yields of soybean and wheat on na oxisol. **Journal Agronomy and Crop Science**, Madison, v.151, p.137-148, 1982.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.249-254, 1985.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J. M. e CARVALHO, A. M.. Rotação adubo verde – milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho – Escuro. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 649 – 654, 1997.

SOARES, T. G. **Produção de palhada e reciclagem de nutrientes de leguminosas e gramíneas**. 2006. 51p. Dissertação (mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal Rural da Amazônia.para a implantação do sistema de plantio direto na mesoregião do nordeste paraense.

STOTT, D.E.; STROO, H.F.; ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I. e UNGER, P.W. Wheat residue loss from fields under no-till management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54,p.92-98, 1990.

STOTT, D. E.; KASSIM, G.; JARRELL, W. M.; MARTIN, J. P. e HAIDER, K. Stabilization and incorporation into biomass of specific plant carbon during biodegradation en soil. **Plant Soil**, v. 15 – 26, 1983.

STROO, H. F. BRISTOW, K. L.; ELLIOTT, L. F. PAPENDICK, R. I. e CAMPBELL, G. S. Predicting rates of residue wheat decomposition. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p. 91 – 99, 1989.

SUMMERFILED, R.J.; ROBERTS, E.H. *Cajanus cajan*. In: HALEVY, A.H. (Ed.). **CRC Handbook of flowering**. Boca Raton : CRC, 1985. v.1, p.61-73.

SYNGE, R. L. M. Interactions de polyphenols with proteins in plants and plant products. **Qualitas Plantarum – Plant Foods for Human Nutrition**, v. 24, p. 337-350, 1975.

TAIZ, L. **Fisiologia vegetal** / Lincon Taiz e Eduardo Zeiger; trad. Eliane Romanato Santarém et al.. – 3.ed. – Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAKAHASHI, F.; MIYAKE, Y. **Silica Plant Growth..** In: SEMINARY SOIL ENVIRONMENT FERTILIZER MANAGEMENT IN AGRICULTURE, 1977. **Proceedings**. Japan: Society of the Science of Soil Manure, 1977. p. 603 – 611.

TEIXEIRA NETO, M. L. **Efeito de espécies vegetais para cobertura, no sistema plantio direto na região dos cerrados, sobre as propriedades do solo**. Goiânia, 2002. 151p. Tese (mestrado) – Universidade Federal de Goiás.

TSDALL, J. M.; OADES , J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v. 17, n. 4, p. 429-441, 1979

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.609-618, 2005.

VEDOATO, R.A. Princípios básicos de plantio direto. In: FANCELLI, P.L.; TORRADO, P.V.; MACHADO, J.(Ed.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 147-158, 1985.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Use of detergent in the analysis of farmers feeds. IV. Determination of plant cell wall constituents. **Journal of AOAC**, v. 50, p. 50-55, 1967.

WARING, R.H.; SCHLESINGER, W.H. **Forest Ecosystems - Concepts and Management**. Orlando, Academic Press, 1985. 340p.

WERNER, D.; ROT H, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLII, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.) **Encyclopedia of Plant Physiology**. Berlin: Springer – Verlag, 1983. p. 682 – 694. (New Series, 15B).

WIEDER, R. K. e LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v. 63, p. 1636 – 1642, 1982.

YOKOYAMA, L.P.; BANNO, K.; KLUTHCOUSCKI, J. Aspectos econômicos da cultura. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e de Fosfato, 1996. p.1-20.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute Agronomic Science of Japan Serie B**, v. 15, p. 1-58, 1975.

ZUCKER, W.V. Tannins: does structure determine function? An ecological perspective. **Am. Nat.**, v. 121 , n.3, p. 335-365, 1983.