

Benefícios com a utilização de adubos verdes

Benefits with green manures use

NASCIMENTO, Alexandre Ferreira do¹; MATTOS, Jorge Luiz Schirmer de²

¹UFV, Viçosa, MG, Brasil, alexferreira-agro@bol.com.br;²UFRPE, Recife, PE, Brasil, js-mattos@uol.com.br

RESUMO

Este trabalho foi realizado através de uma revisão bibliográfica a respeito da adubação verde e os benefícios proporcionados com a adoção dessa prática, com o objetivo de divulgar os principais resultados científicos nessa área. Verificou-se que a adubação verde proporciona melhorias significativas nas características químicas, físicas e biológicas do solo. As características químicas são beneficiadas pela liberação de nutrientes com a decomposição dos resíduos. Essa prática melhora as características físicas favorecendo a agregação do solo, maior retenção de água e prevenindo a erosão. A biomassa dos adubos verdes melhora as características biológicas do solo constituindo em alimento para esses microrganismos. Espécies utilizadas como adubos verdes são eficientes na fixação biológica do nitrogênio e podem efetuar supressão de plantas espontâneas. Dessa forma, a adubação verde é uma alternativa para diminuir o aporte de energia externa à propriedade rural, aumentando a sustentabilidade do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Adubação Verde, Agroecologia, Solo, Sustentabilidade.

ABSTRACT

This work was developed through of a review about green manures and the benefits with the adoption of this practical, with objective of disseminate the main scientific results in this area. It was verified that green manures provides significant improvements in the chemical, physical and biological characteristics of the soil. The chemical characteristics are benefited by nutrients release with the residues decomposition. This practical improves the physical characteristics favoring the soil aggregation, greater water retention and preventing the erosion. The biomass of green manures improves the biological characteristics of the soil in the measure where if it constitutes in food for these microorganisms. Moreover, used species as green manures are efficient in biological nitrogen fixation and can present characteristic of suppression of spontaneous plants. In this way, the green manure is a alternative to lower the input of external energy for farm, improving the sustainability system.

KEY WORDS: Green manures, Agroecology, Soil, Sustainability.

Introdução

O desenvolvimento da agricultura nos ambientes tropicais evoluiu às custas da deterioração progressiva dos recursos naturais, causando grande perda de biodiversidade, associada à remoção da vegetação original. Como consequência, tem havido degradação do solo, principalmente pela redução da fertilidade e aumento da erosão (COUTINHO *et al.*, 2003).

A prevenção da degradação de novas áreas, aliada à baixa fertilidade natural dos solos tem conduzido à necessidade do uso de práticas de adição de matéria orgânica (ALCÂNTARA *et al.*, 2000). Dentre essas práticas, destaca-se a adubação verde, reconhecida como uma alternativa viável na busca da sustentabilidade dos solos agrícolas.

Atualmente, alguns produtores vêm utilizando os adubos verdes em sistema de plantio direto (SPD), como uma estratégia para minimizar os impactos provocados pelo uso intensivo do solo, aliando proteção e adubação (SILVEIRA *et al.*, 2005). Em sistemas de produção, conduzidos por agricultores familiares, que apresentam uma produção diversificada e uma organização mais complexa, a adoção do SPD representa um desafio, em consequência das intensas mudanças que o sistema determina e de suas repercussões nos subsistemas familiares (WILDNER, 2004). Contudo, trabalhos pioneiros no sul do país deram ao Brasil o status de referência internacional na pesquisa, desenvolvimento e na difusão do SPD, especialmente com a utilização de adubos verdes, para pequenas propriedades com mão-de-obra familiar (WILDNER, 2004).

De acordo com COUTINHO *et al.* (2003), sistemas agroecológicos de produção dependem e contam basicamente com os nutrientes provenientes da decomposição dos resíduos de plantas de cultivo anteriores e da matéria orgânica do solo para a nutrição de plantas, que é um dos fatores mais relevantes para a

sustentabilidade desses sistemas.

A literatura sobre adubos verdes é relativamente ampla, contudo, no presente trabalho são apresentados alguns dos aspectos concernentes aos benefícios proporcionados pelo uso de adubos verdes sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, bem como sobre os efeitos na supressão de plantas adventícias ou espontâneas.

Uso da adubação verde

Desde a antiguidade o cultivo de determinadas plantas é realizado com o intuito de proporcionar efeitos benéficos ao solo, observados em colheitas posteriores. Relatos da prática da adubação verde às margens dos lagos suíços datam de 4.000 – 5.000 anos a.C. (SOUZA e PIRES, 2005).

Segundo CALEGARI *et al.* (1992), a adubação verde é a prática de se incorporar ao solo massa vegetal não decomposta de plantas cultivadas no local ou importadas, com a finalidade de preservar e/ou restaurar fertilidade dos solos e, conseqüentemente, a produtividade das terras agricultáveis, podendo ser realizada tanto com gramíneas quanto com leguminosas. Dessa forma, essa matéria orgânica não decomposta, quando adicionada ao solo, libera nutrientes através da decomposição, que apesar de ser um processo bem mais rápido que o da intemperização dos minerais primários, tem de ser visto como uma liberação em potencial (VALE *et al.*, 2004).

De acordo com MOREIRA e SIQUEIRA (2002), a decomposição é a quebra do material orgânico particulado, geralmente na forma de polímeros, em materiais solúveis que são absorvidos pelas células microbianas. Essa decomposição é controlada pelos organismos do solo, condições ambientais e a natureza ou composição química do material em decomposição (XU e HIRATA, 2005). HEAL *et al.* (1997)

mencionam que a decomposição dos resíduos orgânicos pode ser controlada por dois fatores: extrínsecos (fatores climáticos e pedológicos) e intrínsecos (fatores químicos e bioquímicos) ao resíduo.

A maioria dos fatores ambientais que afetam a decomposição dos resíduos orgânicos está relacionada à sua ação sobre a atividade dos microrganismos decompositores (WISNIEWSKI e HOLTZ, 1997; TSAI *et al.*, 1992).

TORRES *et al.* (2005), observaram, sob uma mesma condição edafoclimática, que a taxa de decomposição está ligada à relação carbono:nitrogênio (C:N) do material sob esse processo. XU e HIRATA (2005), concluíram que além da relação C:N, a decomposição da biomassa morta das plantas também está ligada à sua relação lignina:N e carbono:fósforo (C:P).

À medida que os microrganismos decompõem um resíduo orgânico (matéria orgânica), ocorre a mineralização, processo pelo qual os nutrientes são convertidos da sua forma orgânica, para sua forma inorgânica ou mineral (VALE *et al.*, 2004). Por sua vez, essa mineralização ocorre simultaneamente com a imobilização de nutrientes minerais, para atender a demanda nutricional dos microrganismos. Da dinâmica e intensidade relativa desses dois processos opostos, tem-se a mineralização e a imobilização líquida que é de grande interesse para a fertilidade do solo e nutrição vegetal, pois as formas orgânicas são convertidas em CO_2 , NH_3 , NO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e SO_4^{2-} (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

De acordo com TORRES *et al.* (2005), a maior taxa de mineralização do N de resíduos de plantas ocorre nos primeiros 42 dias após seu manejo (corte). Esses autores observaram que nesse período, cerca de 67,5% do N do guandu (*Cajanus cajan*) e 64,2% do N do milheto (*Pennisetum americanum*) foram mineralizados. Esses dados corroboram os relatos de SPAN e SALINAS (1985, *apud* BORKERT *et al.*, 2003),

que observaram que 60 a 70% do N encontrado na biomassa vegetal é liberado para as plantas de cultivo em sucessão.

Segundo VALE *et al.* (2004), a mineralização do N é muito influenciada pela relação C:N do material em decomposição. De acordo com esses autores, quando são adicionados ao solo resíduos orgânicos com relação C:N maior que 30:1, há o predomínio da imobilização de N em relação a mineralização, durante a fase inicial de decomposição. Com a adição de resíduos com relação C:N entre 20:1 e 30:1 não há nem predomínio de imobilização nem mineralização do N. Por outro lado, com a adição de resíduos orgânicos com relação C:N menor que 20:1 há predominância de mineralização (liberação líquida) de N no início de sua decomposição, o que pode acarretar numa maior perda do elemento, dada sua dinâmica.

BAIJUKYA *et al.* (2006), estudando a liberação de N das leguminosas utilizadas como cobertura do solo e adubação verde, observaram que a liberação desse nutriente está diretamente relacionada com a relação lignina:N e lignina + polifenóis:N dos resíduos em decomposição. De acordo com esses autores, esses compostos proporcionam proteção física da celulose e outros componentes da parede celular e podem formar complexos com proteínas que protegem e dificultam o processo de decomposição.

A liberação potencial do N dos resíduos de plantas de adubos verdes, em sua maioria leguminosas, é pelo fato das raízes dessas plantas se associarem simbioticamente com bactérias fixadoras de N atmosférico (*Rhizobium* e *Bradyrhizobium*) (FREIRE, 1992; RUSCHEL, 1985). De acordo com CALEGARI (2002), leguminosas, como a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), guandu-anão (*Cajanus cajan*), crotalaria (*Crotalaria juncea*) e leucena (*Leucena leucocephala*), podem fixar até 210 kg ha⁻¹, 170 kg ha⁻¹, 400 kg ha⁻¹ e 1.000 kg ha⁻¹ de N, durante seus ciclos, respectivamente. Segundo

PERIN *et al.* (2004), as gramíneas obtêm N somente da solução do solo e da mineralização da matéria orgânica. Entretanto, trabalhos anteriores evidenciaram a associação de bactérias fixadoras de N com gramíneas como o milho, arroz, sorgo, cana-de-açúcar, braquiária (*Brachiaria decumbens*), etc. (DÖBEREINER, 1997; MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Este assunto será tratado mais detalhadamente no próximo assunto desse artigo (item “Fixação biológica de Nitrogênio”).

Assim, como na liberação do N, o processo de liberação do P está intimamente ligado à decomposição dos resíduos orgânicos pelos microrganismos do solo, uma vez que este nutriente encontra-se associado a componentes orgânicos do tecido vegetal (MARSCHNER, 1995).

Com a adição de material orgânico ao solo com uma alta relação C:P, os microrganismos assimilam o fosfato disponível, predominando a imobilização do P em relação a sua mineralização, e em alguns casos ocorre competição entre a planta e os microrganismos pelo P disponível no solo. Entretanto, esse nutriente imobilizado é liberado quando os microrganismos morrem, tornando-o disponível novamente à planta (TSAI e ROSSETTO, 1992).

GIACOMINI *et al.* (2003), testando a liberação do P de alguns adubos verdes, observaram que aos 29 dias após o manejo (corte) da biomassa da ervilhaca (*Vicia sativa*), cerca de 60% do P foi liberado para o solo. SALMI *et al.* (2006), observaram que após 30 dias do manejo da biomassa dos genótipos de guandu, 50% do P tinham sido liberados. WISNIEWSKI e HOLTZ (1997) observaram aos 149 dias após o manejo da biomassa de aveia-preta (*Avena strigosa*) que 77% do P foram liberados do resíduo.

De acordo com JONES e WOODMANSEE (1979) e BROMFIELD e JONES (1970, *apud* BORKERT *et al.*, 2003), de maneira geral, 77% do P das folhas e 79% do P das raízes mortas

ficam disponível para as culturas subseqüentes à cultura de cobertura, e desse total de P na parte aérea, 60 a 80% são solúveis em água, a maior parte na forma orgânica.

Além da liberação do P dos resíduos vegetais, SILVA *et al.* (1997), constataram que há uma correlação inversa entre a taxa de decomposição dos resíduos dos adubos verdes e a adsorção do P no solo.

De acordo com PRIMAVESI (2002), com a adubação verde não somente o P do solo é mobilizado para as formas de mais fácil absorção, mas também o fosfato natural é transformado para formas mais “disponíveis”, como ocorre no plantio da mucuna-preta. Segundo COSTA e LOVATO (2004), as culturas de cobertura do solo, como adubos verdes, têm efeito regulador na atividade enzimática ligada à mineralização de fosfatos orgânicos no solo, e esse efeito depende do caráter micorrízico e não micorrízico das espécies utilizadas, cuja influência persiste durante os cultivos subseqüentes.

De acordo com TSAI *et al.* (1992), a mineralização do P orgânico é fortemente estimulada pela anaerobiose para alguns tipos de solo, sendo favorecida pela alternância de seca e umidade. Os mesmos autores observaram que a mineralização do P orgânico é favorecida pelas temperaturas altas (40 até 50 °C), tanto para regiões tropicais como temperadas. Além disso, o pH do solo é indiferente para que os microrganismos atuem na mineralização do P orgânico (NAHAS *et al.*, 1994; TSAI *et al.*, 1992).

O potássio (K), por sua vez, ao contrário dos demais, é um nutriente que tem pequena dependência da decomposição dos resíduos para sua liberação para o solo, uma vez que grande parte desse nutriente encontra-se nos componentes não estruturais e na forma iônica no vacúolo das células vegetais, e por isso, é rapidamente liberado após o manejo das plantas de cobertura (TAIZ e ZEIGER, 2004; GIACOMINI *et al.*, 2003; BORKERT *et al.*, 2003).

De acordo com HUNGRIA e URQUIAGA (1992), os microrganismos são responsáveis por apenas 1/3 da mineralização do K total contido nas células e ligado ao complexo de plantas. Os outros 2/3 desse nutriente são imediatamente solúveis, não requerendo a intervenção de microrganismos, por estarem fracamente ligados.

GIACOMINI *et al.* (2003), observaram que aos 29 dias após o início da decomposição dos resíduos vegetais praticamente todo o K foi liberado para o solo. De acordo com os mesmos autores, aproximadamente 70% desse nutriente no tecido vegetal são solúveis em água, o que explica sua alta liberação somente com incidência de chuvas. Segundo BORKERT *et al.* (2003), pode-se considerar que a taxa de aproveitamento do K, proveniente dos restos de culturas, seja de 100%.

SALMI *et al.* (2006), estudando a liberação dos macronutrientes primários dos resíduos de alguns genótipos de guandu, observaram a seguinte constante de liberação de nutrientes: $K > P > N$, evidenciando a maior liberação do K dos resíduos vegetais em relação a outros nutrientes.

Plantas utilizadas como adubos verdes podem acumular em sua biomassa quantidades expressivas de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), como por exemplo, a mucuna-preta, que chegou a acumular 11,8 kg e 2,9 kg de Ca e Mg, respectivamente, para cada tonelada de matéria seca (BORKERT *et al.*, 2003).

ESPINDOLA *et al.* (2006), estudando a decomposição e liberação de nutrientes de algumas leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras, observaram a liberação dos nutrientes contidos nessas leguminosas e, com isso, estabeleceram a seguinte constante de liberação: $K > Mg > P > N > Ca$.

A lenta liberação do Ca, evidenciada por ESPINDOLA *et al.* (2006), pode estar ligada ao fato desse nutriente ser um dos constituintes da parede celular, formando um dos componentes

mais recalcitrantes dos tecidos vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2004).

DIAS *et al.* (2003), observaram que os compostos orgânicos produzidos pela decomposição dos resíduos vegetais diminuem a disponibilidade de cobre (Cu) e zinco (Zn) e aumentam a disponibilidade de enxofre (S) e boro (B).

ALCÂNTARA *et al.* (2000), concluíram que as leguminosas utilizadas como adubos verdes apresentam maior capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes, em comparação com as gramíneas, pela maior concentração de nutrientes na sua biomassa. Segundo BORKERT *et al.* (2003), as plantas utilizadas para adubação verde são eficientes em acumular macro e micronutrientes, com exceção do P. Segundo TEIXEIRA *et al.* (2005), as leguminosas apresentam maiores teores de N e Ca em sua biomassa, ao passo que o milheto, apresenta uma biomassa rica em K.

As leguminosas desempenham um papel fundamental como fornecedoras de nutrientes, quando o sistema plantio direto está estabilizado, uma vez que as plantas dessa família têm a vantagem de prontamente disponibilizar nutrientes para culturas sucessoras, em virtude da rápida decomposição dos resíduos (SILVEIRA *et al.*, 2005). Apesar do processo de decomposição dos resíduos vegetais, provenientes de plantas de cobertura ou adubação verde, liberarem uma gama de nutrientes de sua biomassa para o solo, isso não significa que esses nutrientes estarão disponíveis às culturas subseqüentes, pois a quantidade real de nutrientes aproveitados pela cultura em sucessão dependerá do sincronismo entre a decomposição da biomassa e a taxa de demanda da cultura sucessora (ALVARENGA *et al.*, 1995; SILVEIRA *et al.*, 2005).

Os efeitos da adubação verde na fertilidade do solo estão no aumento do teor de matéria orgânica; na maior disponibilidade de nutrientes;

na maior capacidade de troca de cátions efetiva (t) do solo; no favorecimento da produção de ácidos orgânicos, de fundamental importância para a solubilização de minerais; na diminuição nos teores de alumínio (Al) trocável através de sua complexação; e no incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas (CALEGARI *et al.* 1993, apud ALCÂNTARA *et al.*, 2000).

De acordo com EMBRAPA (1999), que testou, durante quatro anos, a produtividade do milho (tabela 1) e alguns atributos do solo (tabela 2), em sistema de alamedas com a utilização da leucena como componente arbóreo espaçadas em 5 m entre as linhas, observaram, de maneira geral, efeito benéfico nos atributos do solo estudados e, conseqüentemente, maior produtividade do milho (tabela 1). A título de esclarecimento, sistema de alamedas consiste no plantio de leguminosas perenes, de porte arbustivo, em fileiras suficientemente espaçadas entre si, para permitir o plantio de culturas alimentares ou comerciais entre elas.

Além dos adubos verdes proporcionarem benefícios nas condições químicas e biológicas do solo, podem também beneficiar as suas condições físicas, pela estruturação do solo (grumos), proteção contra erosão, maior retenção de água e menor compactação (GRAHAM e HAYNES, 2006; PRIMAVESSI, 2002).

Tabela 1: Produtividade média (4 anos) de milho, em função da presença e ausência de Leucena associada a níveis nitrogênio (N)

N kg ha ⁻¹	Produtividade em kg ha ⁻¹			
	Sem leucena		Com leucena	
		%		%
0	2989 c	100	5373 B	178
40	4728 b	158	6193 A	207
80	5698 a	190	6198 A	207
120	5864 a	196	6224 A	208
Média	4820 B		5997 A	

Média seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Fonte: EMBRAPA (1999).

De acordo com TSAI *et al.* (1992), um solo com ótimo tamanho de agregados promove boas condições para o crescimento das plantas, particularmente para a penetração de raízes e emergência de plântulas, e isso é proporcionado pela produção de polissacarídeos por microrganismos, que têm influência sobre a estabilidade dos agregados dos solos.

Segundo SILVA *et al.* (2006), o escoamento superficial, a retenção de água no solo e a quantidade de palhas produzida pelo milheto, pode ser expresso por um modelo linear, ou seja, quanto maior a produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹) de uma planta de cobertura ou adubo

Tabela 2: Fertilidade da camada superficial do solo (0- 20cm) em função da reciclagem de nutrientes promovida pela Leucena

Tratamento	Elementos								
	pH	H+Al (cmol _c dm ⁻³)	Al (cmol _c dm ⁻³)	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg (cmol _c dm ⁻³)	K (mg dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	M.O. %	S %
Com leucena	5,8	4,0	0,0	4,4	0,62	95	11,5	2,8	0,0
Sem leucena	5,7	4,8	0,0	3,9	0,53	35	11,5	2,4	0,0

Fonte: EMBRAPA (1999).

verde, maior será o seu potencial em diminuir o escoamento superficial e aumentar o armazenamento de água, e com isso estar contribuindo para melhoria das características do solo.

Outras vantagens da utilização de adubos verdes são: diminuição do número de patógenos fúngicos com a decomposição dos resíduos (WIGGINS e KINKEL, 2005; ARF *et al.*, 1999); controle de nematóide e alguns insetos, pelo aumento da biodiversidade (MALDONADO *et al.*, 2001; FERRAZ e VALLE, 1997); menor amplitude térmica do solo (TORRES, 2003); diminuição da acidez do solo, elevando o pH (NASCIMENTO *et al.*, 2003).

De acordo com FERRAZ e VALLE (1997), a mucuna-preta tem se mostrado eficiente no controle do nematóide *Meloidogyne* spp. e resultados obtidos em casa de vegetação mostraram que essa espécie também é eficiente em reduzir a população do nematóide *Heterodera glycines* no solo. MORAES *et al.* (2006), observaram que adubos verdes podem servir como uma tática de controle de fitonematóides em cultivo orgânico e deve ser integrada às alternativas de manejo como o uso de variedades resistentes, solarização e aração seguida de irrigação do solo, principalmente no cultivo orgânico.

Os grandes benefícios encontrados com a introdução de adubos verdes no solo desencadearam alguns estudos relativos a seus efeitos sobre culturas em sucessão. ALVES *et al.* (2004), concluíram que a incorporação do guandu no sistema de produção de cenoura (*Daucus carota*), beterraba (*Beta vulgaris*) e feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris*), proporciona elevada produtividade destas hortaliças e é comparável a cultivos convencionais. Em trabalho similar, OLIVEIRA (2001), avaliando os efeitos da adubação verde em pré-cultivo com crotalária e pousio, sobre a cultura do repolho (*Brassica oleracea*) em sistema orgânico de produção,

observou que o pré-cultivo com essa planta (crotalária) promoveu o aumento significativo na produção de massa fresca da parte aérea, do peso médio das “cabeças” em relação ao pousio. Por consequência, verificou-se um aumento de 41% na produtividade da cultura.

CARVALHO *et al.* (2004b), não observaram influência da adubação verde na cultura da soja (*Glycine max*) em sucessão, tanto no sistema convencional de preparo do solo, quanto no plantio direto dessa cultura. A adubação verde também não influenciou na produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) em sucessão, tanto no sistema convencional de preparo do solo, quanto no plantio direto (CARVALHO *et al.*, 2004c).

Segundo CARVALHO *et al.* (2004a), a adubação verde com crotalária influenciou a produtividade do milho (*Zea mays*) em sucessão, se comparado à área de pousio, tanto no plantio direto, quanto no sistema convencional de preparo do solo.

ARF *et al.* (1999), observaram que a incorporação da mucuna-preta proporcionou o dobro de produtividade (2.407 kg ha^{-1}) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), em relação a incorporação da palhada do milho (1.189 kg ha^{-1}). Não obstante, há controvérsias na literatura quanto aos efeitos da incorporação de biomassa de adubos verdes na cultura do feijão, podendo ser benéfico (SILVEIRA *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2002; WUTKE *et al.*, 1998; BORDIN *et al.*, 2003) ou não influenciar (ARF *et al.*, 1996; SILVA *et al.*, 2003; ARF *et al.*, 2005) essa cultura em sucessão.

MIYASAKA *et al.* (1966, *apud* ARF *et al.*, 1999), estudando o efeito da massa vegetal de leguminosas e de gramíneas em decomposição sobre a cultura do feijoeiro, quando incorporadas ao solo antes da semeadura do feijão, verificaram várias vantagens da incorporação, como: maior retenção de umidade e menor variabilidade térmica do solo, embora em menor grau do que

no solo com cobertura morta (mulch); aumento no teor de K nas folhas; melhor desenvolvimento da parte vegetativa e radicular; e aumento na produtividade do feijoeiro.

Fixação biológica de Nitrogênio

A atmosfera terrestre é composta por cerca de 78% de gás dinitrogênio ou, também chamado, nitrogênio molecular (N_2). Para obter o N atmosférico é preciso haver a quebra de uma ligação tripla de natureza covalente ($N \equiv N$) de excepcional estabilidade em temperatura ambiente. Isto pode ser realizado por processo industrial ou natural. Dentro do processo industrial, necessita-se de elevadas temperaturas, cerca de 200 °C, e alta pressão, em torno de 200 atm, para poder fixar o N atmosférico na forma de amônia. Por outro lado, dentro a fixação natural (aqui entende-se por biológica, consciente ainda que há outras formas de fixação natural, como por descargas elétricas), uma porção dos organismos procariotos converte ou reduz enzimaticamente o nitrogênio da atmosfera em amônia, a qual pode ser incorporada para o crescimento e manutenção das células, e freqüentemente isto tem efeitos positivos no ambiente e na economia (TAIZ e ZEIGER, 2004; MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

A inclusão de leguminosas no manejo dos sistemas agrícolas tem ganhado atenção da comunidade científica pelo seu potencial na fixação biológica de N (FBN). Ressalta-se que a FBN representa a forma mais importante de fixar N atmosférico (N_2) em amônio, representando assim, o principal meio de entrada do N molecular no ciclo biogeoquímico desse elemento (TAIZ e ZEIGER, 2004; SCIVITTARO *et al.*, 2004), sendo reconhecida, dessa forma, como uma ferramenta importantíssima na busca pela sustentabilidade de sistemas agrícolas com base ecológica.

A FBN pode ser realizada, quanto a classificação de grupos fisiológicos, por

microrganismos simbióticos e assimbióticos. Os microrganismos assimbióticos, também chamados de vida livre, povoam os solos e utilizam substâncias orgânicas ou inorgânicas como fonte de energia. Dentre os microrganismos que possuem essas características podem ser citadas as algas, chegando a fixar 300 kg ha⁻¹, e bactérias fotossintetizadoras, heterotróficas e quimioautotrófica (RUSCHEL, 1985). Por outro lado, dentro do outro grupo de microrganismos, ocorre uma associação simbiótica mutualista ou parasítica entre a planta e o microrganismo, de modo que os dois são beneficiados (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Nesses sistemas (simbióticos), parte dos produtos da fotossíntese são carreados para a fixação de N em detrimento da síntese da planta, sendo que há a estimativa que cerca de 2,5% da fotossíntese do planeta é consumida pela FBN (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002; RUSCHEL, 1985). Alguns sistemas simbióticos já observados são: leguminosas e *Rhizobium*; angiospermas e actinomicetos; algas azuis verdes em líquens e outras plantas inferiores, como briófitas (RUSCHEL, 1985).

Apesar apresentar um arcabouço de associações entre microrganismos e plantas, do ponto de vista agrícola é dispensada mais atenção e tempo à pesquisa com associação simbiótica entre microrganismos e leguminosas. De acordo com TAIZ e ZEIGER (2004), o tipo mais comum de simbiose ocorre entre espécies da família Leguminosae e as bactérias de solo dos gêneros *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Photorhizobium*, *Rhizobium* e *Sinorhizobium*, que coletivamente são chamados de rizóbios. Segundo os mesmos autores, outro tipo comum de simbiose ocorre entre várias espécies de plantas lenhosas e bactérias do solo do gênero *Frankia*.

Os organismos procariontes simbiotes fixadores de N ocorrem no interior de nódulos, que são órgãos especiais de plantas hospedeiras

que contêm as bactérias fixadoras (TAIZ e ZEIGER, 2004; RUSCHEL, 1985; FREIRE, 1992). No caso de leguminosas, as bactérias fixadoras de N induzem a formação de nódulos nas raízes. Apesar das gramíneas desenvolverem relações simbióticas com organismos fixadores de N, nessa associação os nódulos não são produzidos. Neste caso, a bactéria coloniza os tecidos do vegetal ou se fixa na superfície das raízes, principalmente próximas da zona de alongamento e dos pêlos radiculares (TAIZ e ZEIGER, 2004).

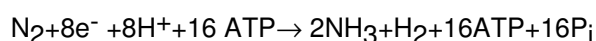
A formação do nódulo envolve vários fitormônios e é dividido em dois processos: infecção e organogênese do nódulo. O nódulo desenvolve características semelhantes a um sistema vascular (que facilita a permuta do N fixado produzido pelos bacterióides por nutrientes disponibilizados pela planta) e uma camada de células para excluir o O₂ do interior do nódulo da raiz (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

A exclusão do O₂ dos nódulos das raízes é de suma importância para ocorrer a fixação do N, uma vez que este processo requer condições anaeróbicas. Cada organismo fixador de N desempenha essa função em condições naturais de ausência de oxigênio ou desenvolve condições internas de anaerobioses, mesmo na presença de O₂. Dessa forma, nas gramíneas, depreende-se que a FBN é controlada por microrganismos que desenvolvem condições específicas de anaerobiose, uma vez que não é observada a formação de nódulos nessas plantas. Por outro lado, as leguminosas regulam a permeabilidade dos gases nos seus nódulos, de forma a manter um nível de O₂ que sustente a respiração, mas suficientemente baixo para evitar a inativação da nitrogenase (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Por sua vez, a nitrogenase, que catalisa a reação de fixação do N₂, é um complexo de enzimas. Este complexo pode ser dividido em dois componentes, Fe-proteína e MoFe-proteína. Dessa forma, postula-se que na deficiência

desses elementos, Ferro (Fe) e/ou Molibidênio (Mo), a FBN é retardada, tem baixa eficiência ou até mesmo é paralisada. Como, de maneira geral, observa-se que os solos da região tropical dificilmente apresentam deficiência de Fe, por esse elemento ser abundante em rochas e sedimentos da crosta, além do grau avançado de intemperismo existente, depreende-se que o problema da FBN na grande maioria dos solos brasileiros está relacionado com a deficiência de Mo. Apesar dessa possibilidade ser plausível, antes de qualquer decisão precipitada há a necessidade de analisar se a planta é suscetível de infecção por algum simbiote, uma vez que o processo de infecção e o desenvolvimento de nódulos fixadores de N envolvem genes específicos, tanto da planta hospedeira quanto dos simbiotes. Além disso, vários outros fatores como a deficiência de nutrientes, por exemplo P, pode ser um fator limitante para maior eficiência na FBN, assim como, acidez do solo, déficit hídrico etc. (TAIZ e ZEIGER, 2004; MOREIRA e SIQUEIRA, 2002; RIBEIRO JÚNIOR e RAMOS, 2006).

A FBN, comparável a fixação industrial do N, produz amônia a partir do N molecular, podendo essa reação ser representada da seguinte forma:



Para evitar a toxicidade, o N fixado na forma de amônia pelos organismos procariontes simbióticos é convertida em formas orgânicas nos nódulos das raízes, antes de serem transportadas pelo xilema à parte aérea da planta. Quanto a exportação, as leguminosas fixadoras de N podem ser classificadas como exportadoras de amidas ou ureídas, sendo essa classificação realizada com base na composição da seiva do xilema. As amidas são exportadas por leguminosas de regiões temperadas, por outro lado, as ureídas são exportadas por leguminosas de clima tropical, tendo como exemplo a soja

(*Glycine*), feijão (*Phaseolus*) e amendoim (*Arachis*). Por sua vez, as ureídas são liberadas no xilema e transportadas à parte aérea, onde são catalisados a amônio e tão logo são utilizados pelas plantas (TAIZ e ZEIGER, 2004).

De maneira geral, existem basicamente duas técnicas para calcular a quantidade de N fixado biologicamente (FBN), pela abundância de ureídas e pela abundância de ^{15}N , que é amplamente utilizada nos experimentos realizados com FBN (OKITO *et al.*, 2004). Esta técnica parte do princípio de que o N mineral do solo é, em geral, um pouco enriquecido com ^{15}N , resultado de fracionamento isotópico entre ^{14}N e ^{15}N que ocorre nos processos físicos, químicos e biológicos que envolvem o N da matéria orgânica e do solo. Assim, uma planta que não fixa N_2 atmosférico, crescendo nessas condições, terá sua composição em ^{15}N semelhante a do N disponível do solo. Não obstante, uma planta fixadora do N_2 atmosférico apresentará teores menores de ^{15}N , devido ao efeito de diluição que esse N_2 causará, uma vez que o ^{15}N da atmosfera é zero. Dessa maneira, usando-se uma planta não fixadora como marcadora do ^{15}N do N mineral do solo, a taxa de fixação pode ser determinada pela proporção com que este ^{15}N foi diluído. Na prática, é impossível saber se determinada planta não obtém algum N oriundo de fixação, por mecanismos associados ou não à planta. Além disso, o ideal seria que tanto as plantas fixadoras, quanto as não fixadoras explorassem um volume de solo semelhante, para dessa forma, apresentar padrões de absorção e assimilação do N parecidos. Como isso é praticamente impossível de ser atendido, usa-se a média do ^{15}N de algumas plantas reconhecidamente de espécies para as quais não há histórico comprovado de fixação biológica associada que estão crescendo nas mesmas condições das fixadoras (OKITO *et al.*, 2004; MIRANDA *et al.*, 2003).

De acordo com PERIN *et al.* (2004), que

realizaram testes de FBN em crotalária (*Crotalaria juncea*) cultivada solteira e em consórcio com milheto (*Pennisetum americanum*), observaram, aos 64 dias após o plantio, uma fixação de N de 173,21 kg ha⁻¹ no cultivo solteiro e de 89,02 kg ha⁻¹ no consórcio.

OKITO *et al.* (2004), avaliando a FBN pela técnica de ^{15}N na mucuna (*Mucuna pruriens*) e amendoim (*Arachis hypogaea*), observaram que 69,6 e 54,4%, respectivamente, do N contido na biomassa dessas plantas foi oriundo da FBN, perfazendo 59,6 e 40,9 kg de N ha⁻¹. MIRANDA *et al.* (2003), testando a FBN em sete acessos de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* e *Arachis repens*), observaram que o N fixado biologicamente variou de 35 a 90% na massa seca da planta, chegando a fixar até 99 kg ha⁻¹ em um dos acessos.

Para demonstrar a FBN em gramíneas, em levantamento realizado para verificar a contribuição da FBN para a cana-de-açúcar no Brasil, POLIDORO *et al.* (2001), observaram que essa contribuição variou de 0 a 60%, com média em 32%. Essa variação foi atribuída devido aos diferentes cultivares testados. De acordo com CAMPOS *et al.* (2003), a cultura do arroz em condições de inundação pode se beneficiar da FBN, existindo diferenças entre genótipos quanto a dependência deste processo. Segundo estes autores, entre os genótipos avaliados, a contribuições da FBN variou entre 20 e 30 % do N acumulado pela planta.

Apesar desses dados supracitados serem expressivos, na tabela 3 são apresentados alguns valores de FBN de várias plantas, que, de maneira geral, não corroboram aos resultados acima.

O N contido na massa seca dessas plantas (depois de cortadas e sofrerem decomposição), passa a ser: utilizado pelos microrganismos; absorvido pelas plantas; retido no complexo de troca do solo; perdido por lixiviação ou volatilização; ou, ainda, permanecem nos resíduos.

Tabela 3: Fixação biológica de nitrogênio (FBN) das principais plantas utilizadas como adubos verdes

Nome comum	Nome Científico	FBN (kg ha ⁻¹)
Crotalária	<i>Crotalaria mucronata</i>	80-160
Crotalária	<i>C. paulinea</i>	100-220
Crotalária	<i>C. juncea</i>	300-400
Crotalária	<i>C. spectabilis</i>	60-120
Crotalária	<i>C. grantiana</i>	70-100
Ervilhaca	<i>Vicia sativa</i>	120-180
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformes</i>	80-160
Guandá-anão	<i>Cajanus cajan</i>	98-170
Guandá-arbóreo	<i>Cajanus cajan</i>	90-180
Labe-Labe	<i>Dolichus lablab</i>	66-132
Leucena	<i>Leucena leucocephala</i>	400-1000
Leucena	<i>Leucena diversifolia</i>	200-500
Mucuna-anã	<i>Stizolobium deeringianum</i>	50-100
Mucuna-cinza	<i>Stizolobium niveum</i>	170-210
Mucuna-preta	<i>Stizolobium aterrimum</i>	170-210
Nabo-forrageiro	<i>Raphanus sativus</i>	60-90
Letrósia	<i>Trefólia candida</i>	120-350

Fonte: Adaptado de CALEGARI (2002).

Todos esses processos são dependentes de vários fatores, conforme abordagem feita no item “Uso da adubação verde” deste trabalho.

Supressão de plantas espontâneas

Os seres vivos elaboram substâncias químicas que, uma vez liberadas no ambiente, podem influenciar de modo benéfico ou prejudicial os outros elementos da comunidade (ALMEIDA, 1991). Essas substâncias são denominadas de aleloquímicos, e esse fenômeno chamado de alelopatia (ERASMO *et al.*, 2004).

O poder de supressão das plantas espontâneas ou adventícias exercida por alguns adubos verdes pode ser atribuído aos efeitos alelopáticos (ALMEIDA, 1991). Todavia, esse efeito supressivo também pode ser creditado a barreira física proporcionada pelos mesmos, que interferem na disponibilidade de água, luz, oxigênio e nutrientes no solo (FAVERO *et al.*, 2001).

COSTA (1995, *apud* ERASMO *et al.*, 2004), observou em plantas de mucuna-preta, alto grau de tanino condensado, esteróides livres e ogliconas esteróides, que provavelmente estão relacionados com efeitos alelopáticos. ALMEIDA (1991) observou que os resíduos vegetais, que

formam cobertura morta, possuem aleloquímicos e o efeito alelopático que ocorre na natureza confunde-se com a competição.

De acordo com PRIMAVESI (2002), o combate de plantas espontâneas por alguns adubos verdes pode ocorrer pelas excreções radiculares, pela modificação química e física do solo, pelo sombreamento e pelo extrato lixiviado de material roçado.

FONTANÉTTI *et al.* (2004), concluíram que espécies utilizadas como adubos verdes, especialmente a mucuna-preta e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*), são eficientes no controle da tiririca (*Cyperus rotundus*), em sistema de cultivo da alface-americana e do repolho, e atribui esse comportamento a efeitos alelopáticos.

FAVERO *et al.* (2001) verificaram que as leguminosas utilizadas como adubos verdes promovem modificações na dinâmica de sucessão das espécies espontâneas e a espécie que apresenta maior potencial para recobrimento e supressão dessas plantas é a mucuna-preta. ERASMO *et al.* (2004), concluíram que entre os adubos verdes avaliados, duas mucunas (preta e cinza) apresentaram os maiores potenciais para o controle do número das plantas espontâneas. Da mesma forma, NASCIMENTO e MATTOS (2007) testando a influência dos resíduos de três adubos verdes, em cultivo solteiro e consorciado, sobre plantas espontâneas, observaram que a mucuna-preta solteira e em consórcio com o milho apresentaram maior potencial de supressão.

SEVERINO e CHRISTOFFOLETI (2001) relataram que a utilização da crotalária e do guandu reduz significativamente a infestação das plantas indesejáveis nos agroecossistemas, sobretudo de braquiária (*Brachiaria decumbens*), capim-colônia (*Panicum maximum*) e picão-preto (*Bidens pilosa*). Segundo ERASMO *et al.* (2004), a utilização do milho é a que têm menor contribuição para o controle de plantas espontâneas.

De acordo com TREZZI e VIDAL (2004), que estudaram o efeito supressivo da cobertura morta do sorgo (*Sorghum bicolor*) e milheto sobre plantas espontâneas, observaram maior efeito inibitório sobre plantas indesejáveis na cobertura formada pelo sorgo. Segundo os mesmos autores, níveis de palha de sorgo de 1,3 t ha⁻¹ foram suficientes para reduzir 50% das infestações de capim papuã (*Brachiaria plantaginea*) e guanxuma (*Sida rhombifolia*).

De acordo com SEVERINO e CHRISTOFFOLETI (2004), SEVERINO e CHRISTOFFOLETI (2001) e MALDONADO *et al.* (2001), a utilização de adubos verdes contribui na redução da população de plantas espontâneas, podendo ser utilizados para o manejo integrado dessas plantas. Contudo, o efeito supressivo ou alelopático pode ocorrer também sobre plantas cultivadas (HALLAK *et al.*, 1999). ABBOUD e DUQUE (1986) verificaram que a incorporação de mucuna-preta antes da semeadura do feijoeiro provocou fitotoxicidade na cultura e reduziu sua produtividade.

Referências Bibliográficas

- ALCÂNTARA, F. A. *et al.* Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.
- ALMEIDA, F. S. Efeito alelopático de resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 221-236, 1991.
- ALVARENGA, R. C. *et al.* Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 175-185, 1995.
- ALVES, S. M. C. *et al.* Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1111-1117, 2004.
- ARF, O. *et al.* Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2029-2036, 1999.
- ARF, O. *et al.* Efeito residual de coberturas vegetais e doses de nitrogênio no feijoeiro em plantio direto. In: **CONAFE, 8, 2005, Goiânia. Anais...** Goiânia: 2005.
- ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Incorporação de mucuna-preta e de restos culturais de milho antes da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 8, p. 563-568, 1996.
- BAIJUKYA, F. P.; RIDDER, N.; GILLER, K. E. Nitrogen release from decomposing residues of leguminous cover crops and their effect on maize yield on depleted soils of Bukoba District, Tanzania. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 279, n. 1-2, p. 77-93, 2006.
- BORDIN, L. *et al.* Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 417-428, 2003.
- BORKERT, C. M. *et al.* Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 145-153, 2003.
- CALEGARI, A. *et al.* **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346 p.
- CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura. **Agroecologia**, Botucatu, v. 2, n. 14, p. 14-19, 2002.
- CAMPOS, D. V. B. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura de arroz sob inundação. **Agronomia**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 2, p. 41-46, 2003.
- CARVALHO, M. A. C. *et al.* Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004a.
- CARVALHO, M. A. C. *et al.* Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1141-1148, 2004b.
- CARVALHO, M. A. C. *et al.* Adubação verde e sistema de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1205-1211, 2004c.

- COSTA, M. D; LOVATO, P. M. Fosfatases na dinâmica do fósforo do solo sob culturas de cobertura com espécies micorrízicas e não micorrízicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.603-605, 2004.
- COUTINHO, H. L. C. et al. Ecologia e biodiversidade do solo no contexto da agroecologia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 24, n. 220, p. 45-54, 2003.
- DIAS, A. C. B. et al. Plant residues: short term effect on sulphate, borate, zinc and copper adsorption by an acid oxisol. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 199-202, 2003.
- DÖBEREINER, J. A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. **Revista Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, n.1, p.2-3, mai. 1997. Disponível em: http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio01/1hp_15.pdf. Acesso em: 10 de jan. 2007.
- ERASMO, E. A. L. et al. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 3, p.337-342, 2004.
- ESPINDOLA, J. A. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 321-328, 2006.
- FAVERO, C. et al. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1355-1362, 2001.
- FERRAZ, S.; VALLE, L. A. C. Controle de fitonematóides por plantas antagonistas. Viçosa: UFV, 1997. 73 p.
- FREIRE, J. R. J. Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosa. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P.. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 121-140.
- FONTANÉTTI, A. et al. Adubação verde no controle de plantas invasoras nas culturas de alface-americana e de repolho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 967-973, 2004.
- GIACOMINI, S. J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.
- GRAHAM, M. H.; HAINES R. J. Organic matter status and the size, activity and metabolic diversity of the soil microbial community in the row and inter-row of sugarcane under burning a trash retention. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 1, p. 21-31, 2006.
- HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M.; SWIFT, M. J. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: CADISCH G.; GILLER K. E. **Driven by nature: plant quality and decomposition**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 3-30.
- HUNGRIA, M.; URQUIAGA, S. Transformações microbianas de outros elementos (Potássio, micronutrientes e metais pesados). In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P.. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 329-340.
- MALDONADO, J. A. C. et al. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. **Agronomy journal**, Madison, v. 93, n. 1, p. 27-36, 2001.
- MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: macronutrients. In: **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. Anais... London: Academic Press, 1995. P. 229-312.
- MIRANDA, C. H. B.; VIEIRA, A.; CADISCH. G. Determinação da fixação biológica de nitrogênio no amendoim forrageiro (*Arachis* spp.) por intermédio da abundância natural de ¹⁵N. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.6, p.1859-1865, 2003 (Supl. 2).
- MORAES, S. R. G. et al. Influência de leguminosas no controle de fitonematóides no cultivo orgânico de alface americana e de repolho. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 188-191, 2006.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625 p.
- NAHAS, E.; CENTURION, J. F.; ASSIS, L. C. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases de vários solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 43-48, 1994.
- NASCIMENTO, A. F.; MATTOS, J. L. S. Produtividade de biomassa e supressão de plantas espontâneas por adubos verdes. **Revista Agroecologia**, Murcia (Espanha). Universidad de Murcia (No prelo).
- NASCIMENTO, J. T. et al. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 457-462, 2003.

- OKITO, A. et al. Nitrogen fixation by groundnut and velvet bean and residual benefit to a subsequent maize crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1183-1190, 2004.
- OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002.
- PERIN, A. et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.
- POLIDORO, J. C. et al. **Levantamento da contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 8p. (Documentos, 144).
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.
- RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies para adubação verde. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2006. p. 171-209.
- RUSCHEL, A. P. Fixação biológica do nitrogênio. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. 2 ed. São Paulo: EPU, 1985. v.1, p. 169-180.
- SALMI, G. P.; SALMI, A. P.; ABBOUD, A. C. S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aléias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 673-678, 2006.
- SCIVITTARO, W. B. et al. Fate of nitrogen (15N) from velvet bean in the soil-plant system. **Science Agricultural**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 201-215, 2004.
- SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 201-204, 2001.
- SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Weed suppression by smother crops and selective herbicides. **Science Agricultural**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 21-26, 2004.
- SILVA, F. A. M. et al. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 717-724, 2006.
- SILVA, M. L. N. et al. Rotação adubo verde – milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 6, p. 649-654, 1997.
- SILVA, T. R. B.; ARF, O.; SORATTO R. P. Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 81-87, 2003.
- SILVEIRA, P. M. et al. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 377-381, 2005.
- SOUZA, C. M.; PIRES, F. R. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa: UFV, 2005. 72 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TEIXEIRA, C. M. et al. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão-deporco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 93-99, 2005.
- TORRES, J. L. R. **Estudo das plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- TORRES, J. L. R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo em um solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 609-618, 2005.
- TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milheto na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II – efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2004.
- TSAI, S. M.; BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V. L. M. Efeitos de fatores do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 59-72.
- TSAI, S. M.; ROSSETTO, R. Transformações microbianas de fosfatos. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 231-242.
- VALE, F. R. et al. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade dos nutrientes de plantas**. Lavras: UFLA, 2004. 171 p.

- WIGGINS, B. E.; KINKEL, L. L. Green manures and crop sequences influence alfalfa root rot and pathogen inhibitory activity among soil-borne streptomycetes. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1, p. 271-283, 2005.
- WILDNER, L. P. Perspectivas do sistema plantio direto para agricultura familiar: alta produtividade com baixo custo. In: **XXV CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25, 2004, Cuiabá**. Congresso... Cuiabá: 2004.
- WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 11, p. 1191-1197, 1997.
- WUTKE, E. B. et al. Rendimento do feijoeiro irrigado em rotação com culturas graníferas e adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p.325-338, 1998.
- XU, X.; HIRATA, E. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical Forest: N and P dynamics. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 273, n. 1-2, p. 279-289, 2005.