

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Curva de Resposta da Cultura do Milho ao N  
Adicionado como Adubo Verde e sua Equivalência  
com a Fertilização com Sulfato de Amônio**

**Esmeralda Aparecida Porto Lopes**

**2007**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**CURVA DE RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO AO N  
ADICIONADO COMO ADUBO VERDE E SUA EQUIVALÊNCIA  
COM A FERTILIZAÇÃO COM SULFATO DE AMÔNIO**

**ESMERALDA APARECIDA PORTO LOPES**

*Sob a Orientação do Pesquisador*  
**Segundo Urquiaga**

*e Co-orientação do Pesquisador*  
**Bruno José Rodrigues Alves**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ  
Março de 2007

633.18  
B919a  
T

Lopes, Esmeralda Aparecida Porto, 1966-

Curva de Resposta da Cultura do Milho ao N Adicionado como Adubo Verde e sua Equivalência com a Fertilização com Sulfato de Amônio

Esmeralda Aparecida Porto Lopes. – 2007.

57 f. : il.

Orientador: Segundo Urquiaga.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 48-57.

1. Adubo – Cultivo – Teses. 2. Plantas – Efeito do nitrogênio – Teses. I. Urquiaga, Segundo 1950- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

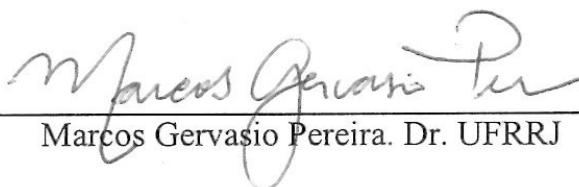
**ESMERALDA APARECIDA PORTO LOPES**

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/03/2007



Segundo Sacramento Urquiaga Caballero. Ph.D. Embrapa Agrobiologia  
(Orientador)



Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ



Paulo Francisco Dias. Dr. PESAGRO

## DEDICATÓRIA

Em memória de meu pai Eloisio Barbosa Lopes, a quem devo a paixão pela natureza e o desejo de buscar novos caminhos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela dádiva da vida.

Aos meus filhos Maria Clara e Pedro Iam por todo o amor que tem me dado e incentivo para concretizar meus sonhos.

A UNEAL (Universidade Estadual de Alagoas) pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

A UFRRJ (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro) pelo conhecimento a mim oferecido.

A Embrapa Agrobiologia, pelo suporte laboratorial de extrema valia à execução da dissertação.

Ao Orientador Dr. Segundo Urquiaga pelo exemplo de dedicação e eficiência.

Aos Co-orientadores Bruno José Rodrigues Alves e Robert Boddey, pela amizade, paciência e pelos valiosos ensinamentos e sugestões.

A professora Lúcia Helena dos Anjos pelo exemplo de profissionalismo como educadora.

Ao amigo Ednaldo pelos ensinamentos, apoio e incentivo nos momentos difíceis.

Aos funcionários do Terraço e do laboratório de nitrogênio (Embrapa Agrobiologia) pela amizade e eficiência na execução das atividades.

Aos amigos Adailde, Érica, Fabiana, Gabriela, João Ricardo, Léo, Milton, Natalie, Roriz, Roberto e Sueli pelo diálogo, amizade, e por compartilharem momentos importantes da vida que fazem parte da minha história.

A todos os meus colegas de turma.

## **BIOGRAFIA**

Esmeralda Lopes, filha de Eloisio Barbosa Lopes e Maria Aparecida Porto Lopes, nasceu em Arapiraca – AL, no dia 8 de abril de 1966. Em 1992, graduou-se em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em Seropédica. Em 1995 – 2003 atuou como professora do ensino médio em escolas particulares e públicas do Distrito Federal e Alagoas. Desde 1998 atua como professor assistente na Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL) no curso de graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas. Em 1999, fez o curso de Pós – Graduação Latu Sensu Especialização em “Ciências da Natureza” pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Em 2005, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

## RESUMO

LOPES, Esmeralda Aparecida Porto. **Curva de resposta da cultura do milho ao N adicionado ao adubo verde e sua equivalência com a fertilização com sulfato de amônio.** 2007. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

O estudo teve como objetivos avaliar a altura e a densidade de plantio de crotalária (*Crotalaria juncea* L.) como indicadores da produção de biomassa, acumulação de N e potencial de fixação biológica de nitrogênio na planta, e sua influência na cultura do milho (*Zea mays* L.), assim como se obter uma curva de resposta da cultura do milho à adubação verde, em equivalência ao N na forma de sulfato de amônio. Foram conduzidos trabalhos experimentais nos anos de 2005 e 2006, sob condições de campo na área experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ. Os experimentos foram instalados em um Planossolo Háplico, sendo que, no primeiro experimento, utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, para testar quatro densidades de plantio de crotalária (50, 100, 150 e 200 plantas m<sup>-2</sup>). No segundo experimento, utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso e avaliou-se a resposta da cultura do milho às doses de 0, 75, 150, 225 e 300 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de parte aérea de crotalária, sem incorporação no solo, tendo como referência a resposta à fertilização com doses de 0, 38, 75, 113 e 150 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de N-sulfato de amônio. No primeiro experimento, a altura da planta de crotalária foi afetada pelas densidades de plantas por metro linear (15, 30, 45 e 60 pl/m) a partir dos 48 dias após o plantio, sendo a densidade de 15 plantas a que apresentou a maior altura. A variação da população de plantas de crotalária não favoreceu diferenças na acumulação de N, fixação biológica de nitrogênio, relação caule/folha e produção de biomassa seca aérea pela crotalária. Em média, a crotalária produziu uma quantidade de matéria seca de 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> e acumulou 164,36 kg N ha<sup>-1</sup>, com uma altura média de (2,6 m). Do total de N acumulado pela crotalária, 59% foram derivados da FBN, sendo o restante proveniente do solo. Sendo assim, essa leguminosa foi capaz de aportar ao solo, via FBN, cerca de 97 kg N ha<sup>-1</sup>, constituindo-se em uma excelente estratégia de fornecimento de N ao solo. Os diferentes arranjos populacionais da crotalária resultaram em uma produção de matéria seca aérea e acúmulo de nitrogênio no milho no estágio de grão leitoso superior a testemunha não nitrogenada. No segundo experimento, a crotalária produziu uma quantidade de matéria seca de 11,5 Mg ha<sup>-1</sup>, acumulou 328 kg N ha<sup>-1</sup> em 112 dias. Um no milho em função das doses de N como adubo verde (R<sup>2</sup> = 0,64) e com N-Sulfato de amônio (R<sup>2</sup> = 0,79) ao nível de 5% de significância. Para cada unidade de N mineral e N-adubo verde resultou em um incremento de (0,43 e 0,09 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. Concluiu-se através dos coeficientes angulares das equações de regressão linear que o adubo verde e o adubo mineral não apresentaram a mesma eficiência quanto a produção de biomassa aérea seca da crotalária nem quanto ao acúmulo de N-total, sendo portanto necessário duas e cinco vezes a mais adubo verde para alcançar a mesma produção de matéria seca e acúmulo de N-total, respectivamente.

**Palavras chave:** *Crotalaria juncea* L. *Zea mays* L. Densidade de plantio. FBN. N-total.



## ABSTRACT

LOPES, Esmeralda Aparecida Porto. **Corn crop response pattern to N added to green manure and its equivalence to ammonium sulphate fertilization.** 2007. 57f. Descriptive (Master in Agronomy, the Ground Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

The study had the objective of evaluating height and density of crotalaria planting (*Crotalaria juncea* L.) as biomass indicators of production, N accumulation, and potential of nitrogen biological fixation in the plant, and its influence in the maize crop (*Zea mays* L.). Also to obtain a corn response pattern to green manure and equivalence to N added as ammonium sulphate fertilizer. The study was conducted in 2005 and 2006, under field conditions, in the experimental area of Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ. The soil in the experimental area was identified as a Fragiudult. In the first experiment, a randomized block with four replicates design was used to test four planting densities of crotalaria (50, 100, 150 e 200 plants m<sup>-2</sup>). In the second experiment, it was used a randomized block, and it was evaluated the corn crop response pattern to doses of 0, 75, 150, 225 and 300 kg N ha<sup>-1</sup>, applied in the form of crotalaria biomass, without incorporation in the soil. For comparing N corn response it was used as reference the N fertilizer ammonium sulphate, at 0, 38, 75, 113 and 150 kg N ha<sup>-1</sup> dosages. In the first experiment, the height of crotalaria plants was affected by the plant densities per linear meter (15, 30, 45 and 60 pl/m), starting at 48 days after the planting. The density treatment of 15 plants presented the tallest height. The variation of crotalaria plants population did not favor differences in N accumulation, biological nitrogen fixation, ratio shoot/leaf and dry aerial biomass production of crotalaria. On average, crotalaria produced an amount of dry mass of 9.0 Mg ha<sup>-1</sup> and accumulated 164.36 kg N ha<sup>-1</sup>, with an average height of 2.6 m. From the total of N accumulated by crotalaria, 59% derived from BNF and the remaining from the soil. This leguminous was able to add to soil, through BNF, about 97 kg N ha<sup>-1</sup>, consisting in an excellent strategy of supplying N to soil. The different crotalaria population arrangements resulted in a production of aerial dry matter and N accumulation in corn, in the milky grain stage, higher than the reference plot without N. In the second experiment, crotalaria produced an amount of dry matter of 11.5 Mg ha<sup>-1</sup> and accumulated 328 kg N ha<sup>-1</sup> in 112 days. Each unit of mineral-N and green manure-N resulted in an increment of 22.27 and 11.98 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. A linear model was also adjusted for total N accumulation in corn as function of green manure-N doses (R<sup>2</sup> = 0.64) and with N-ammonium sulphate (R<sup>2</sup> = 0.79) to 5% of significance level. Each unit of mineral-N and green manure-N resulted in an increment of 0.43 and 0.09 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. It was concluded, through the angular coefficients of the linear regression equations, which green manure and mineral fertilizer did not presented same efficiency, neither in crotalaria dry biomass production nor in total N accumulation. Therefore, it takes twice and five times more green manure to reach the same production of dry matter and total N accumulation, respectively.

**Key words:** *Crotalaria juncea* L. *Zea mays* L. Plant densities. BNF. Total N.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1	Adubação Verde na Agricultura .....	3
2.2	Características Desejáveis em Plantas Utilizadas como Adubos Verdes .....	4
2.3	Caracterização do Adubo Verde <i>Crotalaria juncea</i> .....	5
2.4	Importância da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) pelas Leguminosas .....	6
2.5	Técnica da Abundância Natural para a Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio Atmosférico (FBN) .....	7
2.6	Manejo dos Adubos Verdes .....	8
2.7	Decomposição dos Resíduos Vegetais e Transformação do Nitrogênio .....	8
2.8	Contribuição das Leguminosas no Rendimento das Culturas .....	10
2.9	Aproveitamento de Nitrogênio das Leguminosas pelo Milho .....	12
3	CAPÍTULO I AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ACUMULAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTENCIAL DE FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN) EM FUNÇÃO DA ALTURA E DENSIDADE DE PLANTIO DA CROTALÁRIA E SUA INFLUÊNCIA COMO ADUBAÇÃO VERDE PARA A CULTURA DO MILHO .....	13
3.1	RESUMO .....	14
3.2	ABSTRACT .....	15
3.3	INTRODUÇÃO .....	16
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.4.1.	Área de Estudo .....	17
3.4.2	Delineamento Experimental e Tratamentos .....	18
3.4.3	Cultivo da Leguminosa .....	18
3.4.4	Parâmetros Avaliados na <i>Crotalaria juncea</i> .....	19
3.4.5	Relação Densidade Versus Altura .....	19
3.4.6	Produção de Biomassa Aérea Seca .....	19
3.4.7	Relação Caule/Folha .....	19
3.4.8	Quantidade de Nitrogênio Total .....	20
3.4.9	Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) .....	20
3.4.10	Cultivo do Milho .....	20
3.4.11	Produção de Biomassa Aérea Seca Total e N-total Acumulado no Milho no Estádio de Grão Leitoso .....	21
3.4.12	Análises Estatísticas .....	21
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
3.5.1	Desenvolvimento da Leguminosa .....	21
3.5.2	Relação Densidade Versus Altura .....	21
3.5.3	Produção de Biomassa Seca Aérea, Relação Caule/folha e N-total Acumulado na Crotalária .....	23
3.5.4	Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) Associada à Crotalária ..	24
3.5.5	Influência do N-fertilizante e da Crotalária na Cultura do Milho .....	26
3.5.6	Produção de Biomassa Aérea Seca Total e N-total Acumulado no Milho no Estádio de Grão Leitoso. ....	26

3.6	CONCLUSÕES .....	29
4	CAPÍTULO II RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO A DIFERENTES DOSES DE N NA FORMA DE BIOMASSA VERDE DE CROTALÁRIA E À FERTILIZAÇÃO COM SULFATO DE AMÔNIO .....	30
4.1	RESUMO .....	31
4.2	ABSTRACT .....	32
4.3	INTRODUÇÃO.....	33
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.4.1	Área de Estudo .....	34
4.4.2	Delineamento Experimental e Tratamentos .....	34
4.4.3	Cultivo da <i>Crotalaria juncea</i> .....	34
4.4.4	Parâmetros Avaliados na <i>Crotalaria juncea</i> .....	35
4.4.5	Produção de Biomassa Seca Aérea .....	35
4.4.6	Acúmulo de Nitrogênio Total.....	35
4.4.7	Decomposição da Matéria Seca e Liberação de N dos Resíduos da Crotalaria.....	35
4.4.8	Cultivo do Milho .....	36
4.4.9	Produção de Biomassa Aérea Seca Total e N-total Acumulado no Milho no Estádio de Grão Leitoso .....	37
4.4.10	Análises Estatísticas .....	37
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
4.5.1	Avaliações Sobre o Desenvolvimento da Crotalaria.....	38
4.5.2	Produção de Biomassa Aérea seca e Acúmulo de Nitrogênio pela Crotalaria.....	38
4.5.3	Decomposição da Matéria Seca e Liberação de N dos Resíduos da Crotalaria.....	38
4.5.4	Influência do N-fertilizante e da Crotalaria na Cultura do Milho .....	40
4.5.5	Produção de Matéria Seca Total no Milho no Estádio de Grão Leitoso na Presença de N-fertilizante e Adubo Verde .....	40
4.5.6	Acúmulo de N-total no Milho no Estádio de Grão Leitoso na Presença de N-Fertilizante e Adubo Verde .....	42
4.6	CONCLUSÕES .....	46
5	CONCLUSÕES GERAIS .....	47
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura brasileira se caracterizou ao longo de décadas pelo uso sistemático de práticas com elevada utilização de energia, como fertilizantes e outros insumos, além do manejo intensivo do solo com a queima de resíduos e o excessivo revolvimento. Este modelo de produção além de contribuir na degradação química, física e biológica do solo, gradativamente tem reduzido também a produtividade das culturas, acarretando na exclusão do campo de parte expressiva dos agricultores familiares.

A cultura do milho, no Brasil, tem alto potencial produtivo, alcançando 10 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias avançadas. No entanto, o que se observa são produtividades muito baixas e irregulares, cerca de 3,4 Mg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2006). Apesar de o país ser o terceiro produtor mundial de milho, com produção de 42 milhões de toneladas de grãos (IBGE, 2006), a baixa produtividade é decorrente de vários fatores, dentro os quais se destacam as deficiências nutricionais, sobretudo de nitrogênio, que é um dos nutrientes que mais limita o rendimento das plantas. Esta situação é mais crítica em áreas ocupadas por pequenos produtores que, por razões econômicas, não tem acesso ao consumo de N-fertilizante (Kiehl, 1985).

No entanto, o desempenho desta cultura pode atingir patamares mais ousados, a partir do emprego da adubação verde, devido a uma maior disponibilidade de N do solo ocasionado pela entrada de N derivado da fixação biológica de N<sub>2</sub>, pela mínima utilização de N mineral do solo pela leguminosa, ou pela liberação de N concentrado nos resíduos da leguminosa (Chalk, 1998).

Nesse sentido, na tentativa de reverter à degradação do solo e de recuperar sua capacidade produtiva, várias linhas de pesquisas baseadas em práticas de manejo do solo que permitem a manutenção da sua capacidade produtiva ao longo do tempo, porém, sem causar impactos negativos ao ambiente e preservando a qualidade do recurso do solo, vêm sendo conduzidas e crescentemente valorizadas na construção de agroecossistemas sustentáveis.

A adubação verde é uma das práticas mais promissoras dentro das práticas conservacionistas, pelas quais certas espécies de plantas nativas ou introduzidas são cultivadas em rotação ou consorciação com culturas de interesse financeiro e, a seguir, incorporadas ou mantidas na superfície do solo, em determinado estágio fenológico, com a finalidade de assegurar ou aumentar a capacidade produtiva do solo (Calegari et al., 1992). Quando essas plantas são incorporadas ao solo, elas atuam como condicionadores físicos, químicos e biológicos, e quando permanecem na superfície do solo, como no sistema de plantio direto, representam plantas de cobertura e também exercem funções de condicionadores de solo, porém necessitando de um período mais longo para que seus efeitos sejam estabelecidos.

A adição de material vegetal além de atenuar a erosão e elevar gradativamente a matéria orgânica do solo desempenha papel fundamental na ciclagem mais rápida de nutrientes, tanto daqueles aplicados através dos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas, como também daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo e do próprio material vegetal.

São utilizadas como adubos verdes espécies de várias famílias botânicas, destacando-se aquelas da família Leguminosae. Uma vez que têm de proporcionar benefícios similares aos obtidos com espécies de outras famílias, formam associações simbióticas com bactérias do gênero *Rhizobium* que possibilitam altos níveis de fixação de N<sub>2</sub> e como consequência

uma quantidade expressiva de N torna-se disponível às culturas posteriores ou associadas após o corte da leguminosa. Outra característica importante nas leguminosas é a de apresentar tecidos com baixa relação C/N, que facilita a ação de microrganismos na sua decomposição (Tibau, 1986; Zotarelli et al., 1997). Apesar disso, sempre existe um risco para se utilizar esta técnica, pois, no campo, não é garantido que a quantidade de N acumulada na biomassa trará o mesmo resultado observado em ensaios experimentais.

A crotalária (*Crotalaria juncea*) é uma das espécies muito utilizada no Brasil para fins de adubação verde, possuindo rápido crescimento e capaz de obter significativas contribuições da FBN (Calegari et al., 1992). Embora a prática da adubação verde com crotalária seja bem conhecida, faltam informações que permitam prever uma resposta em adição desse insumo. A determinação da curva de resposta das culturas à adubação verde, paralelamente à de um fertilizante solúvel, pode proporcionar uma avaliação relativa do potencial fertilizador do material vegetal, tendo como base as respostas aos fertilizantes solúveis, que são bastante relatadas na literatura. Esta determinação auxiliaria o produtor na tomada de decisão sobre o manejo de seu sistema de produção, tendo em vista o potencial de resposta previsto em função da biomassa acumulada pelo adubo verde, que seria uma medida indireta do N disponível para a adubação.

A hipótese do estudo foi que a aplicação de doses crescentes de N na forma de biomassa verde de *Crotalaria juncea* resultaria em aumento da produtividade do milho. Ainda, que a adubação verde com parte aérea da crotalária apresentaria à mesma eficiência agrônômica em comparação a adubação com sulfato de amônio.

Assim este trabalho tem como objetivo determinar a curva de resposta da cultura do milho a diferentes doses de N como adubo verde, neste caso a crotalária, e, também, a curva de resposta à fertilização com sulfato de amônio. Em adição, se avaliou a produção de biomassa, acumulação de nitrogênio e potencial de fixação biológica de nitrogênio em função da altura e densidade de plantio da crotalária e sua influência como adubação verde para a cultura do milho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Adubação Verde na Agricultura

A adubação verde é conhecida desde a antiguidade por gregos, romanos e chineses antes da Era Cristã (Martin; Leonard, 1949). No início do século passado, Granato (1925) a definia como uma prática agrícola programada, que consiste na incorporação ou não de material vegetal com a finalidade de manter ou melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Definição semelhante foi publicada por Calegari et al. (1992) que listou benefícios para o solo como: aumento da CTC, manutenção da umidade, melhoria da estrutura, redução da lixiviação de nutrientes e maior disponibilidade de nutrientes, principalmente do nitrogênio, que, através da fixação biológica do  $N_2$ , é adicionado ao solo quando se usam leguminosas no processo. Além disto, a adubação verde pode reduzir a população de nematóides (Sharma et al, 1982) e favorecer o controle de plantas invasoras dado o seu crescimento rápido e agressivo competindo por recursos como água, luz e nutrientes, como também a liberação de substâncias alelopáticas durante a decomposição dos resíduos vegetais (Espindola et al., 2005).

No Brasil, como na maioria dos países tropicais, a baixa disponibilidade de nitrogênio dos solos é uma característica que limita a produtividade das culturas. Esta situação é mais crítica em áreas ocupadas por pequenos produtores que, por razões sociais e econômicas, não tem acesso ao consumo de N-fertilizante (Kiehl, 1985). De acordo com dados do IBGE (1996), 85,2% dos estabelecimentos agropecuários no país são de estabelecimentos agropecuários de agricultura familiar, sendo que o Nordeste é a região que detém a maior parcela dos estabelecimentos (49,7%).

Segundo um estudo do Centro de Economia Agrícola da Fundação Getúlio Vargas, a produção de grãos é um dos segmentos que tem sido mais afetado por essas unidades familiares com uma redução de 50% entre 1980 a 1997 (Abramovay, 1998), de modo que cada vez mais estas unidades familiares agropecuárias têm perdido espaço para grandes empresas, que têm conseguido se adequar às exigências do mercado e ainda operacionalizar suas atividades de modo a oferecer produtos de qualidade por preços mais acessíveis. Atualmente um dos principais desafios para que essas unidades familiares agropecuárias convertam-se na base do desenvolvimento rural está em que elas possam dotar-se dos meios que lhes permitam participar de mercados dinâmicos, competitivos e exigentes em inovações. Neste sentido, a adubação verde utilizando culturas com sistema de fixação biológica de nitrogênio eficiente, como as leguminosas, é muito apropriada, pois promove redução de custos de produção, agiliza a operação de plantio aproveitando os períodos ociosos e amplia a diversidade de espécies vegetais (Pitol et al., 2006).

Mesmo em quando se fala em agricultura empresarial, o uso da adubação verde com leguminosas teria potencial para reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados e o impacto ambiental da agricultura, além de assumir particular importância nos sistemas de produção orgânica, visto que, o cultivo de plantas para tal fim confere ao agricultor certa autonomia em relação à disponibilidade de matéria orgânica (Guerra et al., 2002). Dessa forma, o adubo verde é uma prática ao alcance do produtor rural para reduzir a dependência de insumos cada vez mais caros e para viabilizar economicamente sua propriedade (Pitol et al., 2006), no entanto para otimizar o uso da adubação verde, é necessário identificar, a nível regional, as espécies mais adaptadas e adequá-las à melhor forma de manejo (Ceretta, et al.1994).

Apesar de todos os benefícios da adubação verde, Segundo Costa et al. (1994), pesquisas feitas pela secretaria de agricultura do Estado de São Paulo, mostraram que a adubação verde não é incorporada sequer em 0,01% da agricultura do Estado. Certamente a principal responsável por isso é a falta de informação e a pouca ênfase à difusão deste conhecimento.

Como ressalva, algumas limitações podem restringir as práticas de adubação verde, sendo uma das dificuldades para a adoção desta prática a disponibilidade inicial de sementes já que o preço de algumas leguminosas, como as crotalárias, é alto, porém uma vez adquiridas as sementes podem ser reproduzidas pelo próprio agricultor. Uma outra limitação é a época de semeadura, pois, o agricultor dificilmente deixará de cultivar culturas comerciais durante a safra de verão.

Na maioria das pesquisas, observa-se expressiva variabilidade de comportamento das diferentes espécies vegetais em função do ambiente seja por meio dos efeitos clima, principalmente da temperatura e precipitação pluviométrica, seja por meio do fotoperíodo e dos atributos químicos, físico-hídricos e biológicos do solo, resultando em oscilações significativas na produção de fitomassa (Carvalho e Amabile, 2006).

Definir sistemas de manejo adaptados às condições de diferentes regiões e culturas e com uma menor dependência de fertilizantes minerais, é hoje o grande desafio de instituições de pesquisa.

## **2.2 Características Desejáveis em Plantas Utilizadas como Adubos Verdes**

Espécies de várias famílias botânicas são cultivadas como adubo verde, no entanto, plantas de crescimento rápido, pertencentes às famílias das gramíneas e crucíferas, são empregadas basicamente como fonte de matéria orgânica (Miyasaka et al., 1984; Carvalho, 2005). Outras características, como habilidade para competir com plantas invasoras, resistência às doenças e ao ataque de insetos, facilidade de incorporação ao solo e eficiência para liberação dos nutrientes para a cultura sucessora também são levadas em consideração na escolha do adubo verde (Kiehl, 1985; Monegat, 1991). Essa última característica é fundamental para o planejamento do sistema de produção, pois é por meio da decomposição ou mineralização dos resíduos de adubos verdes que haverá fornecimento de nutrientes para outras espécies cultivadas.

Diversos fatores estão relacionados com a decomposição dos resíduos vegetais adicionados ao solo, tais como características edafoclimáticas, composição química dos resíduos e estratégias de manejo do solo e das plantas (Espindola et al., 2005). Um dos indicadores primários que explicam a formação de substâncias húmicas e a disponibilidade dos nutrientes para as plantas é a relação entre carbono e nitrogênio (C/N) do material usado como adubo verde (Urquiaga et al., 1990), entre os outros indicadores está o teor de lignina e relação lignina/N, teor de polifenóis e relação polifenóis/N. As leguminosas quando comparadas com plantas de outras famílias (gramíneas, etc), apresentam baixa relação C/N da palhada (Perin, 2005). De maneira geral, resíduo com baixa relação C/N e reduzidos teores de lignina e polifenóis apresentam rápida mineralização e fornecem grande quantidade de nitrogênio para as culturas sucessoras, ao passo que resíduos com alta relação C/N e elevados teores de lignina e polifenóis decompõem-se mais lentamente, podendo causar a imobilização de N para os cultivos posteriores (Espindola et al., 2005).



### 2.3 Caracterização do Adubo Verde *Crotalaria juncea*

Várias espécies têm sido recomendadas para adubação verde no Brasil (Kiehl, 1985, Hernani et al., 1995; Padovan et al., 2002; Carvalho et al., 2004b). Dentre as diversas espécies, a *Crotalaria juncea* é uma leguminosa anual subarbuscular, de climas tropicais e subtropicais, originários da Índia e Paquistão, pode ser cultivada solteira, consorciada ou intercalada. Semeia-se a lanço, em linhas ou, em alguns casos, com matraca.

A densidade de semeadura dependerá do uso e do manejo da espécie. Recomenda-se de 15 a 20 sementes viáveis/m, com espaçamento de 25 a 50 cm. Densidades mais elevadas devem ser utilizadas para cobertura. A época de plantio da crotalária mais adequada para obtenção de máximo rendimento varia de acordo com as condições do ambiente (Cook et al., 1998). Como a maioria das cultivares floresce em função de variações no fotoperíodo, o plantio após o inverno pode maximizar seu crescimento (Leal, 2006). As espécies de crotalária nodulam eficientemente com as estirpes nativas de rizóbio, no entanto, apresentam pouca nodulação em solos de primeiro cultivo, caso em que se recomenda a inoculação (Vargas et al., 2002).

É uma planta comumente utilizada como cultura de cobertura, devido ao benefício que causa ao solo na sua habilidade em promover a fixação de N em simbiose com bactérias, produzir biomassa rapidamente, aumentar a matéria orgânica do solo, seqüestrar carbono (Wang et al., 2003), além de apresentar efeito alelopático e/ou supressor de espécies invasoras (Carvalho et al., 2004b) e nematóides (Marshall et al., 2002).

Wutke (1993), estudando *Crotalaria juncea* no Estado de São Paulo, verificou que ela pode fixar de 150 a 165 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio no solo, podendo chegar a 450 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, dependendo da época de plantio e do número de meses que permanece no campo, produzindo de 10 a 15 toneladas de matéria seca correspondendo a 41 e 217 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. Aos 135 dias pode apresentar raízes na profundidade de até 4,5 m sendo que 79% de sua massa se encontram nos primeiros 30 cm. Esse mesmo autor ressalta que nem sempre o rendimento de fitomassa está associado ao aumento de produção das culturas subseqüentes.

Contudo, aspectos do manejo desta espécie, como a determinação de populações ótimas de plantas que permitam otimizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a produção “*in situ*” de biomassa, e conseqüentemente, de matéria orgânica, são ainda pouco conhecidos nas condições ecológicas e edafoclimáticas do Brasil.

Pereira (2004) avaliou a densidade de semeadura e o espaçamento entre sulcos de plantio em duas épocas do ano (outono-inverno e primavera-verão), para acúmulo de nitrogênio, produção de biomassa aérea e o potencial de fixação biológica de nitrogênio de *Crotalaria juncea*. O autor determinou que a maior produtividade da parte aérea no outono-inverno foi 6,76 Mg ha<sup>-1</sup> e de 10,66 Mg ha<sup>-1</sup> no período de primavera-verão. Para esses mesmos períodos, o acúmulo de N-total foi de 189,30 e 260 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, obtidos na maior densidade e no menor espaçamento (30 x 30 cm).

Por apresentar características como: ciclo curto, relativa tolerância à seca, elevado potencial para produção de fitomassa, resultando em rápida cobertura do solo, com efeito, supressor de plantas invasoras, além da elevada capacidade para fixar N, a *Crotalaria juncea* pode ser uma alternativa de cultivo em áreas do Cerrado e Nordeste do Brasil. Nesses ecossistemas, os adubos verdes ficam restrito ao período de seca ou ao final da estação chuvosa, período, em que a maior parte das áreas cultivadas não é utilizada, ficando exposta à erosão eólica, hídrica, a radiação solar intensa, à evaporação e à multiplicação de plantas invasoras, sendo necessário o cultivo de leguminosas adaptadas ao déficit hídrico (Carvalho & Amabile, 2006).

Entre as doenças que atacam a *Crotalaria* destaca-se o fungo *Ceratocystes fimbriata*, que causa danos consideráveis à cultura. Em relação a pragas, a lagarta *Utethesia Pulchella* pode tornar-se problema em algumas regiões, atacando os grãos no início de enchimento das vagens e mesmo grãos já formados (Eira et al., 1988).

## 2.4 Importância da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) pelas Leguminosas

A FBN é a redução do  $N_2$  à amônia pela enzima nitrogenase, encontrada em bactérias de vida livre, associativas e simbióticas, estas últimas tendo os gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* como mais conhecidos, e que formam simbioses com leguminosas. O nitrogênio fixado pelas bactérias é transferido às leguminosas na forma de aminoácidos, enquanto carboidratos produzidos por essas plantas são fornecidos às bactérias, servindo como fonte de energia (Freire, 1992). Essas trocas ocorrem em nódulos presentes nas raízes das leguminosas, sendo que há várias etapas para a formação dos nódulos, desde os sinais moleculares entre a planta hospedeira e o microssimbionte até o funcionamento dos nódulos radiculares (Ribeiro Júnior & Ramos, 2006). Entretanto, segundo Calegari et al. (1992) inúmeros fatores podem interferir nesse processo como: a existência de estirpes do rizóbio no solo, a eficiência das bactérias no processo infeccioso, as condições climáticas e as características químicas do solo.

A perda de nitrogênio que ocorre no solo e o alto custo da adubação nitrogenada, aliado à baixa eficiência das plantas na extração desse nutriente no solo, agravam o quadro de deficiência de nitrogênio, principalmente, em pequenas propriedades. Nesse sentido, a aquisição do nitrogênio via simbiose é vantajosa porque essas leguminosas fixadoras desenvolvem-se com baixa utilização de insumos, disponibilizam o nitrogênio e outros nutrientes para a cultura subsequente e mantêm parte do nitrogênio do solo na forma orgânica evitando perdas por lixiviação (Ribeiro Júnior & Ramos, 2006).

Normalmente, as leguminosas contêm altos teores de N em seus tecidos no período de floração (Perin, 2005). A quantidade de nitrogênio fixado pelas leguminosas durante o período vegetativo é função das espécies e das condições de solo e clima. (Henzell & Vallis, 1977; Calegari et al., 1992).

Bouldin et al. (1979) estimaram a variação da fixação de  $N_2$  em leguminosas de clima tropical e temperado entre 20 e 822 kg N ha<sup>-1</sup> ao ano. Esses autores, trabalhando com leguminosas tropicais utilizadas com adubos verdes, estimaram o nitrogênio fixado entre 86 e 535 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em um levantamento bibliográfico, verificou-se que o nitrogênio acumulado nas diversas leguminosas variou entre 23 e 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Ribeiro Júnior & Ramos, 2006).

Um dos principais parâmetros utilizados para avaliar os adubos verdes é a produção de fitomassa, pois ela é considerada eficaz para quantificar a capacidade de transformação da energia luminosa em química e o potencial de extração e ciclagem de nutrientes (Igue et al., 1984), sendo que os rendimentos de fitomassa variam com o genótipo, época de semeadura, condições edafoclimáticas e práticas de manejo, além da população de plantas (Amabile et al., 1996; 2000; Carvalho et al., 1999). No Cerrado, região de Goiânia, a *Crotalaria juncea* chegou a acumular quando semeada no início do período chuvoso 17 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca, quando a semeadura foi realizada em meados do período de chuva, houve redução dos rendimentos de matéria seca para 8 Mg ha<sup>-1</sup>, chegando a 6 Mg ha<sup>-1</sup> quando semeada no final dessa estação (Amabile et al., 2000). Nessa mesma região, quando cultivada no período de entressafra, a produção de matéria seca variou entre 6,0 e 6,9 Mg ha<sup>-1</sup> em anos agrícolas distintos (Carvalho et al., 1996).

Considerando-se que uma leguminosa utilizada como adubo verde contenha em sua parte aérea o equivalente a 2,8% de nitrogênio no período da floração, e que tenha produzido cerca de 10,3 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca pode-se inferir que algumas espécies anuais são capazes de contribuir com cerca de 288 kg N ha<sup>-1</sup> ao ano, com um percentual aproximado de 60% a 80% do N proveniente da FBN (Giller & Wilson, 1993; Urquiaga & Zapata, 2000; Ramos et al., 2001).

Para evidenciar a importância da FBN pela adubação verde, tem-se como exemplo culturas produtoras de grãos como o milho, que dentre as culturas mais plantadas no Brasil, é a que mais contribui para o déficit em N na agricultura brasileira, com retirada média anual (1993-1997) de 738,80 mil toneladas de N via exportação de seus grãos (Yamada & Lopes, 1999). No entanto, a existência da simbiose entre bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico com plantas leguminosas, pode contribuir com uma maior disponibilidade de N do solo. Segundo Chalk et al. (1993), cereais intercalados com leguminosas de grãos geralmente trazem benefícios desta associação em termos do aumento no rendimento de grãos e nitrogênio por unidade de área comparada ao monocultivo.

Os efeitos da rotação de culturas sobre as taxas de perda e adição de N e conseqüentemente, sobre o conteúdo de N do solo, decorrem da intensidade de ocupação do solo e da freqüência de utilização de leguminosas, respectivamente (Zotarelli, 2000).

O N total (Nt) das leguminosas é proveniente de duas fontes: FBN (Nf) ou N mineral do solo. Nas leguminosas, o Nt é dividido entre o N nos grãos (Ng) (exportado na colheita) e o N que permanece nas partes vegetativas da planta as quais são geralmente mantidas como restos culturais. A contribuição da FBN da leguminosa para o balanço de N no solo pode ser considerada como:

$$\text{Balanço Líquido N} = \text{Nf} - \text{Ng}$$

$$\text{Onde: Nf} = \text{P} \times \text{NT}$$

P = proporção de N da planta proveniente da FBN

O balanço de N é considerado positivo quando o ICN (índice de colheita de N) < P, e negativo quando o ICN > P, sendo que o balanço positivo de N está associado à introdução de N fixado biologicamente ao solo na forma de resíduos. Desta forma, leguminosas com alta quantidade de N na biomassa, baixo ICN e alta dependência da FBN, tem grande potencial de contribuição de N para o sistema (Peoples et al., 1995).

## **2.5 Técnica da Abundância Natural para a Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio Atmosférico (FBN)**

Diversas técnicas vêm sendo utilizadas para estimar a FBN associada às plantas. Dentre elas destacam-se a diferença de N-total do sistema solo-planta; o balanço de N-total do sistema solo planta (Herridge et al., 1990; Carranca et al., 1999); redução de acetileno (Burriss, 1975); e também técnicas isotópicas que utilizam o <sup>15</sup>N, em substrato enriquecido com <sup>15</sup>N (Boddey et al, 1995) ou naturalmente marcado com esse isótopo (Shearer & Kohl, 1986).

Nos últimos anos, a técnica de abundância natural de <sup>15</sup>N (delta <sup>15</sup>N, ou δ <sup>15</sup>N) vem ganhando destaque em estudos em nível de campo. Esta técnica baseia-se no fato de que, geralmente, o N do solo é levemente enriquecido com o isótopo <sup>15</sup>N em comparação ao N do ar (Shearer & Kohl, 1986). O N do ar, apresenta cerca de 0,3663% de átomos de <sup>15</sup>N e o restante (99,6337%) de <sup>14</sup>N. Porém, devido à discriminação isotópica que ocorre durante as transformações do N no sistema solo-planta, o N disponível do solo pode apresentar um

enriquecimento natural de  $^{15}\text{N}$  um pouco maior que o encontrado na atmosfera. Estas variações são extremamente pequenas, convencionando-se então que cada unidade de delta  $^{15}\text{N}$  fosse a abundância natural dividida por mil, ou seja, 0,0003663% de átomos  $^{15}\text{N}$  em excesso.

Assim, espécies capazes de obter do ar a maior parte do N necessário para sua nutrição, apresentarão valores de delta  $^{15}\text{N}$  próximos a zero, uma vez que a maior parte do N virá do ar. Por outro lado, as espécies não fixadoras, crescendo nas mesmas condições, terão valores de delta  $^{15}\text{N}$  mais elevados, uma vez que todo N necessário para o seu desenvolvimento é proveniente do solo. Por sua vez, à medida que a dependência de uma planta pela FBN aumenta, a abundância de  $^{15}\text{N}$  declina, de forma que o N proveniente do solo na planta é diluído pelo N proveniente do ar.

Para a estimativa da FBN pela técnica isotópica, há necessidade da utilização de uma planta referência, que seja cultivada nas mesmas condições que a leguminosa fixadora, mas que tenha como única fonte de N, o N disponível no solo. Uma premissa do método é a de que a planta referência absorva N-mineral do solo com a mesma abundância natural de  $^{15}\text{N}$  do N mineral utilizado pela planta fixadora (Sherer & Kohl, 1986; Boddey et al, 2000).

Shearer & Kohl (1986) destacaram como vantagem da técnica de  $\delta^{15}\text{N}$  o fato de não haver necessidade da adição de N marcado ( $^{15}\text{N}$ ), evitando a inibição da FBN e da estabilidade da marcação ao longo do tempo. Por outro lado, maiores cuidados para evitar a contaminação das amostras durante os processos de moagem e nos aparelhos de destilação/digestão são necessários.

## **2.6 Manejo dos Adubos Verdes**

Existem várias formas de utilização de leguminosas como fonte de N para o solo, sendo a floração, a melhor época de manejar os adubos verdes, sob o ponto de vista de produção de massa verde, condições de decomposição e riqueza de N.

O manejo mais comum é na forma de pré-cultivo, onde o adubo verde precede a cultura principal que se beneficia posteriormente com a mineralização do nitrogênio. Porém, se a cultura sucessora não tem sua demanda sincronizada com a mineralização do N do adubo verde, perdas significativas podem ocorrer e tornar a prática ineficiente como alternativa de adubação (Calegari, 2000). O manejo relacionado à incorporação ao solo, ou manutenção dos resíduos em superfície, dependerá dos eventuais benefícios para a qualidade do solo e para o rendimento das culturas em sucessão. Todavia, diversos fatores devem ser considerados, os quais devem estar associados ao sistema de produção agrícola esperado, exigências de mão de obra, facilidade nas operações agrícolas e controle de plantas espontâneas. Preferencialmente, deve-se preconizar a manutenção dos resíduos em cobertura por ser uma prática descrita como simples e eficiente no controle da erosão e na conservação de umidade, promovendo ainda, controle das ervas espontâneas e aumento na porosidade e agregação do solo, bem como redução e menor variação da temperatura superficial (Kiehl, 1985; Derpsch et al., 1991).

## **2.7 Decomposição dos Resíduos Vegetais e Transformação do Nitrogênio**

Na prática da adubação verde, a velocidade de decomposição dos resíduos e a conseqüente liberação dos nutrientes contidos nos tecidos vegetais para aproveitamento pela cultura principal, é um dos aspectos mais importantes e menos compreendidos. São diversos os fatores que estão relacionados com a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos, tais como a atuação de macro e microorganismos decompositores, as características químicas do material, o manejo e as condições edafoclimáticas da região, tais como temperatura,

umidade, pH e nutrientes do solo. Sob as mesmas condições de clima, solo e manejo, a taxa de decomposição e liberação de nutrientes é influenciada por características químicas inerentes ao resíduo vegetal.

De acordo com Resende et al. (2001), normalmente, a contribuição da adubação verde com leguminosas para a nutrição nitrogenada de culturas econômicas é feita avaliando-se a contribuição global da planta inteira (parte aérea + raízes). Isto é, a disponibilidade de nitrogênio para a cultura principal é quantificada em função do N-total acumulado em toda a planta, sem haver preocupação com a contribuição advinda de suas diferentes partes (folhas, talos e raízes). Urquiaga & Zapata (2000) consideraram que, para uma adequada avaliação do comportamento dos adubos verdes, seria importante estudar a contribuição de cada uma das partes das plantas. Este fato é relevante, pois o teor de nutrientes e de compostos de fácil decomposição varia sensivelmente entre as diferentes partes das plantas, sendo que as folhas têm geralmente uma concentração maior de nitrogênio e outros nutrientes que o resto da planta. Segundo Calegari et al. (1992), plantas que apresentam uma relação caule/folha desequilibrada, com altos percentuais de talos em relação às folhas, onde os talos são geralmente mais fibrosos, apresentam baixos níveis de nutrientes e elevados valores na relação C/N caracterizando uma decomposição mais lenta do resíduo vegetal e imobilização momentânea inicial do nitrogênio. Ainda de acordo com esse autor, as folhas apresentam uma menor relação C/N e menor teor de lignina que o caule levando com isso a uma taxa de mineralização do nitrogênio mais rápida nesse órgão.

A decomposição dos resíduos apresenta duas fases características: uma inicial com elevada taxa de decomposição, e outra, mais lenta. Na primeira fase são degradados compostos solúveis, carboidratos, proteínas e lipídios, enquanto que na segunda fase são decompostos a lignina, celulose e hemicelulose (Taylor & Parkinson, 1988). Meentemeyer (1978) e Berendese et al. (1987) relatam que o teor de lignina presente no resíduo vegetal é o principal regulador do processo de decomposição, pois o aumento da relação lignina/N reduziu a taxa de decomposição.

Alguns polifenóis presentes no tecido vegetal apresentam efeito negativo sobre a decomposição, por inibirem a ação de enzimas (Mafongoya et al., 1997). Outros polifenóis são capazes ainda de complexar proteínas e carboidratos (Handayanto et al., 1997). Sivapalan et al. (1985) observaram que a mineralização de N foi menor na presença de alta concentração de polifenóis devido à combinação do N mineralizado em compostos orgânicos insolúveis.

Durante a decomposição, parte do N liberado dos resíduos permanece no solo sob forma orgânica. Quando o processo de mineralização, que compreende a quebra dos polímeros orgânicos em  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e elementos minerais, é mais intenso do que o de imobilização aumenta a disponibilidade de N no sistema (Siqueira & Franco, 1988). Isso ocorre quando há excesso de N no sistema, normalmente durante a decomposição de leguminosas. É o caso da presença dos resíduos de crotalária, que possui relação C/N em torno de 15/1 a 20/1.

A imobilização sempre ocorre quando existe disponibilidade de material decomponível de alta relação C/N, e em muitas situações, é predominante quando existe falta de N no sistema, em decorrência da presença de resíduos vegetais pobres em nitrogênio (relação C/N superior a 30/1). Durante a decomposição de um material orgânico a população de microrganismos cresce, incorporando N em suas células, na forma de proteínas, aminoácidos e outros compostos. Se estiver em quantidades insuficientes no material em decomposição, o N passa a ser obtido do compartimento mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) existente no solo (Franco & Neves, 1992). A relação C/N diminui com o tempo à medida que o material orgânico se decompõe, à custa da transformação do carbono orgânico em  $\text{CO}_2$ .

À medida que a relação C/N se aproxima de 12/1, as transformações microbiológicas se tornam mais lentas até quase a paralisação completa, etapa em que o resíduo é considerado humificado ou estabilizado (Siqueira & Franco, 1988). Daí em diante, a relação C/N pouco se altera, porque o C e o N orgânico são mineralizados em proporções constantes, ou seja, em torno de 8 a 12 partes do C para cada parte do N (Bortolini et al., 2000).

De acordo com Myers et al. (1994), a sincronia entre o fornecimento e a demanda de nutrientes pelas plantas, particularmente em agroecossistemas da região tropical, é um processo importante para garantir a eficiência do uso de nutrientes e a minimização de suas perdas, contribuindo ainda para a sustentabilidade de sistemas de produção com reduzido uso de insumos externos à propriedade.

Como os adubos verdes são empregados principalmente como fonte de N, o manejo e a característica de meia vida são importantes para definir a espécie mais adequada para atender a demanda nitrogenada da cultura principal.

Segundo Resende (2000), trabalhando com 3 espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes (*Crotalaria juncea*; *Canavalia ensiformis* e *Mucuna deeringiana*), observou que metade do material vegetal das leguminosas deixado sobre o solo, após o corte, levou ao redor de 45 dias para se decompor. De acordo com este autor, o padrão de mineralização do N foi mais rápido do que a decomposição da matéria orgânica dos resíduos, variando entre 14 e 35 dias para que metade de todo nitrogênio contido nos tecidos vegetais fosse liberada. Uma pequena parte desse nitrogênio ficou retida em compostos mais recalcitrantes, como ligninas e polifenóis, que formam o compartimento de decomposição mais lenta (Brasil et al., 1998).

Carvalho & Sodré Filho (2000b) ao avaliar a decomposição de material vegetal de diferentes espécies (*Helianthus annuus* L; *Crotalaria ochroluca* G. Don; *Raphanus sativus* L.) nos sistemas com preparo e sem preparo do solo, durante as estações seca e chuvosa, observaram que no período de chuva, o preparo convencional do solo resultou em maior decomposição (81,1%) em relação ao sistema plantio direto (74,1%). A média de decomposição dos resíduos vegetais no período chuvoso (77,6%) foi de aproximadamente o dobro da relativa à estação seca (38,7%).

## **2.8 Contribuição das Leguminosas no Rendimento das Culturas**

A adoção da adubação verde como prática de manejo ainda não é uma realidade, apesar de, há anos, os resultados de pesquisa indicarem um efeito favorável da adubação verde sobre os atributos do solo (Oliveira, 1994; Hunter et al., 1995) e rendimentos de culturas (Bortolini et al., 2000; Aita et al., 2001; Heinrichs et al., 2001). A grande limitação do uso de leguminosas está na compatibilização do cultivo da cultura na mesma área (Amabile, 1996), na perda de área de cultivo da cultura comercial (Skóra Neto, 1993) e a dificuldade de determinar com precisão a real contribuição do adubo verde na nutrição das plantas (Muraoka, 1984), ou seja, faltam informações técnicas que permitam prever uma resposta à adição deste insumo.

Trabalhos de pesquisa relativos aos efeitos da adubação verde sobre a produtividade de culturas, têm sido amplamente divulgados por diversos autores (Vieira, 1960; Pereira et al., 1983; Goswami, et al., 1988; Ceretta et al., 1994; Demétrio et al., 1998; Bortolini et al., 2000; Scivittaro et al., 2000; Aita et al; 2001; Heinrichs et al 2001; Silva, 2002). Entretanto, observa-se, que as respostas são variáveis e dependem das condições edafoclimáticas, do manejo adotado e da espécie utilizada para adubação verde.

O cultivo de leguminosas antecedendo o milho aumenta a disponibilidade de N no solo, a absorção de N pela planta e o rendimento de grãos, sendo o sistema de manejo, ou seja, o tempo entre o corte da leguminosa e o plantio da cultura seguinte, um importante fator

para lograr uma melhor sincronia entre liberação de N e requerimento da cultura (Smyth et al., 1991). Quando esse período é inferior a 10 dias, nota-se que as leguminosas suprem a demanda de N pelo milho, e conferem rendimento de grãos semelhante à aplicação de N-fertilizante recomendada (Bortolini et al., 2000; Aita et al., 2001; Heinrichs et al., 2001), representando economia nos custos com a adubação nitrogenada. Porém, quando o período entre o manejo dos adubos verdes e o plantio do milho ultrapassa 20 dias, evidenciam-se respostas no rendimento de grãos à aplicação de N-fertilizante (Amado et al., 2000; Scivittaro et al., 2000). Nesse caso, Scivittaro et al. (2000) sugerem que a combinação de adubos verdes e fertilizantes minerais seja a alternativa mais viável, por reunir os efeitos imediatos e a longo prazo destes materiais.

Ao se comparar diferentes formas de manejo da ervilhaca, constatou-se que esta leguminosa dessecada um dia antes da semeadura do milho proporcionou um aumento de 20% no rendimento de grãos do milho, quando comparada com a ervilhaca dessecada quinze dias antes da semeadura, o que mostra a alta taxa de mineralização do N dessa leguminosa (Argenta et al., 1999).

Vieira (1960) trabalhando em solos de boa fertilidade observou um incremento na produção do milho de até 1600 kg ha<sup>-1</sup> de grãos apenas com o cultivo intercalar de mucuna preta.

De Polli & Chada (1989), ao avaliar três leguminosas quanto ao fornecimento de N ao milho, em duas formas de manejo dos resíduos, incorporada e na superfície, observaram que em sucessão a mucuna-preta, o rendimento de grãos de milho foi comparado à adubação nitrogenada mineral, não havendo diferenças quanto à forma de manejo. No entanto, trabalhando com feijão-de-porco incorporados ao solo encontraram uma resposta de até quatro vezes maior na produção do milho com leguminosa, em relação aos tratamentos testemunhas (vegetação espontânea e não nitrogenada). Em outro estudo, Smyth et al. (1991), na Amazônia Central, conduziram ensaios durante três anos consecutivos para determinar a influência do manejo da leguminosa sobre a cultura de milho. Observaram que a maior contribuição da mucuna foi proporcionada pela incorporação da parte aérea no solo em comparação a aplicação em cobertura, e reportaram que o efeito fertilizante da mucuna foi equivalente a 74 kg ha<sup>-1</sup> de N-fertilizante. Araújo & Almeida (1993), observaram que a adubação verde com feijão de porco incrementou o rendimento de grãos de milho em 21,6% em relação à testemunha, e que o valor fertilizante do feijão de porco foi equivalente à aplicação de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia.

Calegari (1990), estudando o efeito de adubos verdes sobre o milho plantado em sucessão, induziram uma produtividade do milho superior à testemunha e os melhores resultados foram os dos materiais que produziram mais matéria seca.

Ceretta et al. (1994) obtiveram rendimento de milho semelhante à adubação de 130 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando *Crotalaria spectabilis*, *Canavalia ensiformes* e *Cajanus cajan* em pré-cultivo. Demétrio et al. (1998), ao avaliarem a importância do capim colônia (*Panicum maximum*), feijão bravo do ceará (*Canavalia brasiliensis*) e aplicação de N-fertilizante na produção de milho, constataram que a incorporação da leguminosa resultou em aumento da matéria seca de milho até quatro vezes superior ao capim colônia, sendo este efeito similar à aplicação de 560 kg ha<sup>-1</sup> de N-fertilizante.

Sá (1995) observou que a utilização das leguminosas, ervilhaca comum e tremoço azul, em comparação à gramínea aveia preta, antecedendo o milho, permitiu reduzir a dose de N empregada para o milho na ordem de 50% (60 kg ha<sup>-1</sup> de N).

## 2.9 Aproveitamento de Nitrogênio das Leguminosas pelo Milho

O N aplicado ao solo, como resíduo vegetal ou fertilizante mineral, pode seguir os seguintes caminhos: ser absorvido pela planta, perdido por lixiviação e por formas voláteis, ser imobilizado no solo por ação microbiológica, e gradualmente transformado em substâncias húmicas do solo (Ambrosano, 1995). Em geral, para fertilizantes químicos solúveis, 50% do N aplicado ao solo é absorvido pelas plantas, 25% é perdido por diferentes mecanismos e 25% permanece no solo (Azam et al., 1985). Quanto aos adubos verdes, tem sido dada pouca ênfase na quantificação de sua eficiência no fornecimento de nutrientes às culturas (Muraoka, 1984). Estudos de incorporação de resíduos de leguminosas marcadas com  $^{15}\text{N}$  no campo indicam que entre 5 e 15% do N contido nos resíduos vegetais da leguminosa podem ser recuperados no plantio subsequente do milho (Azam et al., 1985; Harris et al., 1994). Scivittaro et al. (2000) verificaram que o solo foi a principal fonte de N ao milho, que a utilização do N da mucuna preta pelo milho variou entre 10 e 14%. Já Eaglesham et al. (1981) verificaram que o milho aproveitou 24,9% do N proveniente da adubação verde com caupi, que aportou  $128 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

Perin (2005), ao avaliar os efeitos do cultivo isolado e consorciado dos adubos verdes crotalária (*Crotalaria juncea*) e milheto (*Pennisetum glaucum*) sobre o aproveitamento do N nos grãos de milho, observou que o milho aproveitou 15% do N proveniente da crotalária em monocultivo.

As diferenças observadas entre os autores podem estar relacionadas ao teor de N do solo, assim como a quantidade de N incorporada pela adubação verde com leguminosas. Ladd et al. (1983) ressaltam que quanto mais rico em N for o solo, ou quanto maior a quantidade de N adicionado pelos resíduos de leguminosas, menor será a recuperação deste nutriente pelas culturas.

Harris & Hesterman (1990) apontaram que a maior proporção do N da biomassa das leguminosas usadas na adubação verde tem como destino o solo, ficando esgotado na forma orgânica. Ladd et al. (198) incorporaram *Medicago littoralis* ao solo e observaram que 72% a 78% dos  $192 \text{ kg ha}^{-1}$  de N da leguminosa permaneceu no solo orgânico.

Experiências mostram que é possível obter bons rendimentos de milho e outras culturas com adubação verde, no entanto há carências de informações de suas potencialidades, de práticas de manejo que possam otimizar a adubação nitrogenada nas culturas subsequentes.



### **3      CAPÍTULO I**

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ACUMULAÇÃO DE  
NITROGÊNIO E POTENCIAL DE FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE  
NITROGÊNIO (FBN) EM FUNÇÃO DA ALTURA E DENSIDADE DE  
PLANTIO DA CROTALÁRIA E SUA INFLUÊNCIA COMO  
ADUBAÇÃO VERDE PARA A CULTURA DO MILHO**

### 3.1 RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a altura e densidade de plantio da crotalária (*Crotalaria juncea L.*) como indicadores da produção de biomassa, acumulação de N e potencial de fixação biológica de nitrogênio na planta, e sua influência na cultura do milho (*Zea mays L.*). O experimento foi instalado na área experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ em um Planossolo Háptico. Utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, para testar quatro densidades de plantio de crotalária (50, 100, 150 e 200 plantas m<sup>-2</sup>). Não foi detectado efeito da variação da população de plantas de crotalária na acumulação de N, fixação biológica de nitrogênio e produção de biomassa pela crotalária. Entretanto, os diferentes arranjos populacionais da crotalária resultaram em maior produção de matéria seca aérea total e acúmulo de N no milho que a testemunha nitrogenada. A crotalária produziu uma quantidade de matéria seca de 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> e acumulou 164,36 kg ha<sup>-1</sup> de N, com uma altura média de 2,6 m. Do total de N acumulado pela crotalária, 59% foram derivados da FBN, sendo o restante proveniente do solo. Sendo assim, essa leguminosa foi capaz de aportar ao solo, via FBN, cerca de 97 kg ha<sup>-1</sup> de N, constituindo-se em uma excelente estratégia de fornecimento de N ao solo.

**Palavras chave:** *Crotalaria juncea L.*. Densidade de plantas. FBN. *Zea mays L.*

### 3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate height and density of crotalaria planting (*Crotalaria juncea* L.) as biomass indicators of production, accumulation of N and potential of nitrogen biological fixation in the plant, and its influence in the maize culture (*Zea mays* L.). The experiment was conducted in the experimental area of Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ in a Fragiudult soil. A randomized block with four replicates design was used to test four densities of crotalaria planting (50, 100, 150 e 200 plants m<sup>-2</sup>). It was not detected a variation of crotalaria plants population in the accumulation of N, nitrogen biological fixation and dry biomass crotalaria production. However, the different crotalaria population arrangements resulted in a higher production of dry biomass and accumulation of nitrogen in the corn. Crotalaria produced an amount of dry matter of 9.0 Mg ha<sup>-1</sup> and accumulated 164.36 kg N ha<sup>-1</sup>, with an average height of 2.6 m. From the total N accumulated by crotalaria, 59% had been derived from the NBF and remaining N came from soil. Through NBF, the crotalaria was able to add to soil about 97 kg N ha<sup>-1</sup>, consisting in an excellent strategy of supplying N to soil.

**Key words:** *Crotalaria juncea* L. Plant density. BNF. *Zea mays* L.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O manejo intensivo do solo, com práticas inadequadas de produção, como uso irracional de pesticidas e adubos, mecanização excessiva, redução da matéria orgânica do solo, além de levar à degradação ambiental, gradativamente tem reduzido a produtividade das culturas. Como consequência tem-se o empobrecimento de agricultores, notadamente daqueles que participam de unidade de produção de economia familiar, pelo aumento dos custos de produção aliada à elevada utilização de energia e insumos externos à propriedade.

Nesse sentido, a adubação verde é uma das práticas agrícolas de manejo do solo que permite a manutenção da sua capacidade produtiva ao longo do tempo, porém sem causar impactos negativos ao ambiente (Carvalho & Amabile, 2006).

Atualmente, tem-se verificado um interesse crescente sobre a prática de adubação verde e de seus efeitos nos sistemas produtivos agrícolas, na tentativa de minimizar a degradação acelerada da fertilidade, dos solos, vem sendo utilizada a implantação de adubos verdes, os quais apresentam a capacidade de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo, além de promover a ciclagem mais rápida de nutrientes, favorecendo seu uso pelas culturas sucessoras, principalmente daqueles nutrientes com potencial de lixiviação como o nitrogênio.

Diversas espécies de várias famílias botânicas têm sido utilizadas com a finalidade de adubação verde, no entanto, as da família das Leguminosas destacam-se, porque além de proporcionarem benefícios similares às outras famílias, formam associações simbióticas com bactérias do gênero *Rhizobium* que possibilitam altos níveis de fixação biológica de  $N_2$ .

Uma característica que limita a produtividade das culturas em países tropicais é a baixa disponibilidade de nitrogênio dos solos. Neste sentido, a adubação verde utilizando culturas com sistema de fixação biológica de nitrogênio eficiente, como as leguminosas, é muito apropriada, pois quantidade expressiva desse nutriente torna-se gradualmente disponível às culturas após o corte da leguminosa.

No entanto, para otimizar o uso da adubação verde, um dos principais desafios está em estabelecer um esquema de uso compatível das diferentes espécies de coberturas de solo com os sistemas de produção específicos de cada região, se possível nos limites de cada propriedade, levando-se em consideração os aspectos ligados ao clima, solo, infra-estrutura da propriedade e condições sócio econômicas do agricultor (Calegari et al., 1992).

Dentro dessa perspectiva, a crotalária (*Crotalaria juncea*) é uma leguminosa subarborescente que apresenta potencial para ser empregado amplamente como adubo verde em diferentes ecossistemas por apresentar características como: ciclo curto, relativa tolerância à seca, elevado potencial para produção de fitomassa, resultando em rápida cobertura do solo, com efeito supressor de plantas invasoras, além da elevada capacidade para fixar N. Atualmente está sendo muito difundida como alternativa de cultivo em áreas do Cerrado e Nordeste do Brasil. Nesses ecossistemas, o adubo verde fica restrito ao período de seca ou ao final da estação chuvosa, período, em que a maior parte das áreas cultivadas não é utilizada, ficando exposta à erosão eólica, hídrica, a radiação solar intensa, à evaporação e à multiplicação de plantas invasoras, sendo necessário o cultivo de leguminosas adaptadas ao déficit hídrico (Carvalho & Amabile, 2006).

Contudo, aspectos do manejo desta espécie, como a determinação de populações de planta que permitam otimizar a fixação biológica de nitrogênio e a produção *in situ* de matéria orgânica, o entendimento da sincronização entre a liberação de nutrientes nos resíduos dessa

leguminosa e a demanda das culturas de interesse comercial, ainda são poucos conhecidos nas condições edafoclimáticas do Brasil. Outrossim, é importante para o produtor ter uma referência da quantidade de N potencialmente disponível no ato da adubação verde, de forma que possa avaliar a necessidade de complementação com fertilizante nitrogenado, garantindo os níveis de produtividade da cultura principal pelo ponto de vista econômico.

Face o exposto, os objetivos do presente trabalho foram avaliar a altura e densidade de plantio da crotalária como indicadores da produção de biomassa, acúmulo de nitrogênio e potencial de fixação biológica de nitrogênio, e sua influência na cultura do milho.

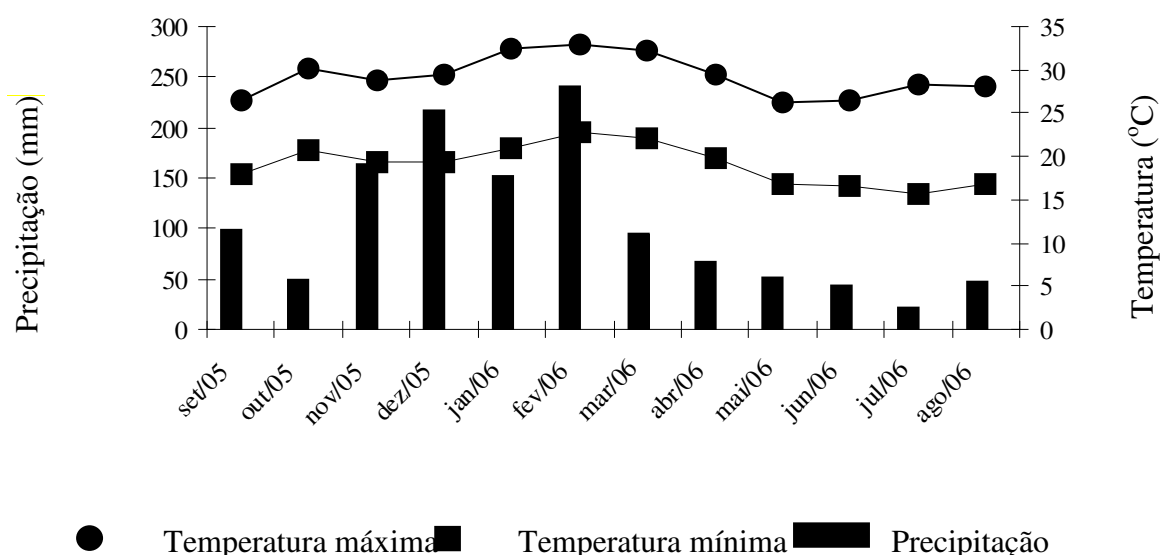
### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1. Área de Estudo

O experimento foi instalado no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, num solo classificado como Planossolo Háplico (Embrapa, 1999).

A localização geográfica se dá entre os paralelos 22° 49 e 22° 45` de latitude sul e os meridianos 43° 38` e 43° 42` de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 33 m ao nível do mar. Clima predominante quente e úmido sem inverno pronunciado, identificado como do tipo Aw na classificação de Köppen. A estação chuvosa estende-se de outubro a fevereiro, com mínima precipitação em julho. As temperaturas mais altas são registradas nos meses de janeiro e fevereiro e as mais baixas no mês de julho.

As temperaturas médias e a precipitação pluviométrica registrada durante o experimento estão apresentadas na (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica e temperatura média na área experimental durante a condução do experimento. Fonte: Estação meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro, PESAGRO, localizada aproximadamente 1 km da área experimental.

A análise química das amostras retiradas na camada de 0–20 cm revelou os seguintes resultados:

**Tabela 1.** Análise química do solo na área de estudo localizada no Terraço - Embrapa Agrobiologia (prof. 0-20 cm)

N	C	MO	p H <sub>H2O</sub>	Al	Ca+Mg	Ca	Mg	P	K
g.kg <sup>-1</sup>			cmolc/dm <sup>3</sup>			mg/dm <sup>3</sup>			
1,06	9,3	16,1	5,4	0,1	3,5	1,9	1,7	4,4	55,0

N-método semimicro-Kjeldahl (Alves et al., 1994); C-carbono orgânico método Walkley & Black (Raij et al., 1987); pH<sub>H2O</sub>; Al; Ca e Mg; K; P-EMBRAPA (1997).

### 3.4.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. A espécie de leguminosa utilizada como adubo verde em pré-cultivo foi a *Crotalaria juncea* L. As parcelas apresentaram área total de 25,0 m<sup>2</sup>, sendo que cada unidade experimental consistiu de 16 linhas de leguminosa com 5 m de comprimento, espaçadas de 0,3 m entre linhas. Os tratamentos (T) constaram de 4 densidades de plantio (15, 30, 45 e 60 plantas por metro linear), além de dois tratamentos testemunhas sem o plantio da leguminosa. Sendo que um tratamento recebeu uma dose de N-fertilizante (90 kg N ha<sup>-1</sup>) fornecido na forma de sulfato de amônio que foi parcelado em duas vezes na ocasião da semeadura e aos 32 dias após a emergência das plantas do milho e o outro, a testemunha absoluta sem aplicação de N (Tabela 2).

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos utilizados no experimento. Densidades de plantio e doses de nitrogênio.

Tratamentos	N (kg ha <sup>-1</sup> )
T1	0 (SN)
T2	15 (PML)
T3	30 (PML)
T4	45 (PML)
T5	60 (PML)
T6	90 kg N ha <sup>-1</sup> (SA)

PML - plantas/metro linear; SN- testemunha (sem aplicação de N) e SA- testemunha (com aplicação de N)

### 3.4.3 Cultivo da Leguminosa

Na área experimental foi aplicado o equivalente a 1 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico antes do preparo do solo. A adubação inicial foi a lanço só nas parcelas referentes aos tratamentos com crotalária (T2, T3, T4 e T5) de acordo com os resultados obtidos na análise do solo a fim de atender as necessidades da crotalária. Realizaram-se adubações com P, na forma de superfosfato simples, na dose equivalente a 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio e 50 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR12 (9% Zn, 1,8% B, 0,8% Cu, 2% Mn, 3,5% Fe e 0,1% Mo) como fonte de micronutrientes. A crotalária foi semeada manualmente em

20/12/2005 após preparo da terra com aração, gradagem e sulcamento em sistema de preparo convencional (PC). Nas sementeiras foram utilizadas altas densidades de plantio (aproximadamente o dobro de sementes) para posterior ajuste da população de plantas por meio de desbaste manual aos 20 dias após a sementeira (Tabela 3). Por ocasião da sementeira, estirpes de *Bradyrhizobium* (BR 2001 e BR 2003) da coleção de culturas da Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia foram inoculadas nas sementes de crotalária.

**Tabela 3.** População de plantas após desbaste manual, resultante das combinações entre as densidades de plantio.

Espaçament o entre sulcos (cm)	População (plantas ha <sup>-1</sup> )			
	Densidade (plantas m linear <sup>-1</sup> )			
	15	30	45	60
30	477500	1042500	1212500	1542500

O manejo da leguminosa para a adubação nitrogenada na cultura do milho foi feito aos 84 dias após o plantio (DAP). As plantas foram cortadas rente ao solo e mantidas como cobertura morta na superfície do solo nos tratamentos referentes as diferentes densidades (T2, T3, T4 e T5), respectivamente.

Durante o período experimental foram efetuadas capinas para o controle de ervas espontâneas e as plantas foram irrigadas duas vezes por semana aplicando-se uma lâmina de água de 20 mm em cada irrigação.

#### 3.4.4 Parâmetros Avaliados na *Crotalaria juncea*

##### 3.4.5 Relação Densidade Versus Altura

Foram amostradas durante 7 semanas (27, 34, 41, 48, 55, 63 e 73 DAP), 12 plantas de crotalária de forma aleatória em cada unidade experimental com o propósito de caracterizar a altura da crotalária nas diferentes densidades até o momento do corte.

##### 3.4.6 Produção de Biomassa Aérea Seca

A avaliação da biomassa aérea da crotalária foi feita por ocasião do corte da crotalária aos 84 dias após o plantio (DAP). Para estimar a produção de biomassa, foram coletados aleatoriamente em cada parcela, quatro segmentos de 0,5 m que foram cortadas rente ao solo e pesadas para determinação de massa fresca. Em seguida foram retiradas sub-amostras de aproximadamente 250 g de massa fresca que foram pesadas, acondicionadas em saco de papel e transferidas para estufa de ventilação forçada de ar a 65°C, até atingir massa constante, que em seguida, foram pesadas, avaliadas biomassa aérea seca e, finalmente, moídas em moinho tipo Wiley, com abertura de 20 mesh.

##### 3.4.7 Relação Caule/Folha

Também na ocasião do corte, foram retiradas amostras para verificar a relação caule/folha da crotalária, que foram pesadas, acondicionadas em sacos de papel e transferidas para estufa de ventilação forçada de ar a 65°C, até atingir massa constante, que em seguida, foram pesadas, avaliadas a matéria seca e, finalmente moída em moinho tipo Wiley, com abertura de 20 mesh,

### 3.4.8 Quantidade de Nitrogênio Total

Para a análise do teor de N total nos tecidos, utilizaram-se 100 mg do material vegetal seco e moído, para a digestão Kjeldahl, que usa mistura digestora contendo ácido sulfúrico e catalizadores, com posterior destilação a vapor e titulometria com ácido sulfúrico (Alves et al., 1994).

### 3.4.9 Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

No momento do corte da crotalária foram coletadas plantas espontâneas não fixadoras de N<sub>2</sub> que se estabeleceram próximas as parcelas do cultivo da crotalária. Estas plantas foram secas, moídas e analisadas para  $\delta^{15}\text{N}$  por espectrometria de massa, sendo posteriormente utilizadas como indicadores do  $\delta^{15}\text{N}$  natural do N disponível do solo, no cálculo da determinação da % de N<sub>2</sub> obtido através da fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Para a avaliação da FBN na crotalária, utilizou-se a técnica de abundância natural de  $^{15}\text{N}$  (delta,  $\delta^{15}\text{N}$ ), como descrito por Boddey et al. (1994), com auxílio de um espectrômetro de massa Finnigan MAT, modelo Delta Plus, no laboratório de nitrogênio do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, Seropédica RJ.

A contribuição percentual de nitrogênio presente na crotalária derivado da FBN foi estimada pela equação:

$$\% \text{FBN} = \{(\delta^{15}\text{N planta testemunha} - \delta^{15}\text{N planta fixadora}) / (\delta^{15}\text{N planta testemunha} - \text{B})\} \times 100$$

Sendo:

$\delta^{15}\text{N planta testemunha}$  = valor de  $\delta^{15}\text{N}$  das plantas não fixadoras de N<sub>2</sub>, utilizadas como referências as espécies: tiririca (*Cyperus rotundus*), pé-de-galinha (*Eleusine indica*), beldroega (*Portulaca oleracea*);

$\delta^{15}\text{N planta fixadora}$  = valor de  $\delta^{15}\text{N}$  da planta fixadora de N<sub>2</sub> (*Crotalaria juncea*);

B = valor da discriminação isotópica de  $^{15}\text{N}$  feita pelas leguminosas durante o processo de FBN, sendo neste estudo considerado igual a menos (-1,31), (Okito et al, 2004).

### 3.4.10 Cultivo do Milho

Para avaliar a resposta da cultura do milho à adubação verde, aplicou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. As parcelas apresentaram área de 25 m<sup>2</sup> (5m x 5m). Os tratamentos (T) da parcela constaram adubação: 1- testemunha sem aplicação de N; 2- 167 kg N ha<sup>-1</sup> (15 plantas/m linear na forma de biomassa aérea de crotalária); 3- 171 kg N ha<sup>-1</sup> (30 plantas/m linear na forma de biomassa aérea de crotalária); 4- 165 kg N ha<sup>-1</sup> (45 plantas/m linear na forma de biomassa aérea de crotalária); 5- 155 kg N ha<sup>-1</sup> (60 plantas/m linear na forma de biomassa aérea de crotalária); 6- 90 kg N.ha<sup>-1</sup> de N fertilizante na forma de sulfato de amônio (Tabela 2). Os tratamentos 2, 3, 4 e 5 receberam as doses de N contidas na massa verde de crotalária correspondente a cada densidade. Essa biomassa foi cortada rente ao solo, 84 dias após o plantio (13 de março de 2006) e mantidas como cobertura morta na superfície do solo nos tratamentos referentes às diferentes densidades (T2, T3, T4 e T5), respectivamente.

O milho utilizado no experimento foi o híbrido duplo precoce BR 206 (EMBRAPA), semeado manualmente em sistema de plantio direto (PD) nas parcelas referentes aos tratamentos com adubação verde (T2, T3, T4 e T5) e em sistema convencional (PC) nas parcelas referentes aos tratamentos com adubação nitrogenada e testemunha absoluta (T6 e T1), respectivamente. A semeadura ocorreu em 20 de março de 2006, em sulcos espaçados de



1 m, empregando-se 10 sementes/m linear, sendo desbastado para seis plantas/m linear aos 22 dias após a emergência obtendo-se uma população de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Todos os tratamentos receberam na linha de semeadura por ocasião do plantio, o equivalente a 50 kg de FTE (composto de micronutrientes), 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente e de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho e baseado nos resultados de análise química do solo. Foi aplicado no tratamento referente a testemunha nitrogenada, 90 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de sulfato de amônio, em duas aplicações: 1/3 no plantio e 2/3 quando o milho apresentava entre 6 e 8 folhas.

Durante o período experimental foram efetuadas capinas manuais e as plantas foram irrigadas duas vezes por semana aplicando-se uma lâmina de água de 20 mm em cada irrigação.

#### **3.4.11 Produção de Biomassa Aérea Seca Total e N-total Acumulado no Milho no Estádio de Grão Leiteiro**

Para determinar o acúmulo de N e produção de matéria seca na parte aérea do milho, coletaram-se aleatoriamente na fase de grão leitoso, período onde está iniciando a transformação dos açúcares em amido, 10 plantas ao acaso na área útil de cada parcela. As plantas foram cortadas rente ao solo divididas em colmo e espigas com a palha, que em seguida foram moídas em um triturador de forragem. Retirou-se uma sub-amostra do colmo e da espiga, que foram pesadas e colocadas em estufa de secagem a 65°C até estabilização de seus pesos. Após esta etapa, as amostras do milho foram, pesadas, moídas em moinho tipo Wiley (peneira de 2 mm) e encaminhadas para determinar os teores de N-total (Alves et al, 1994) e matéria seca.

#### **3.4.12 Análises Estatísticas**

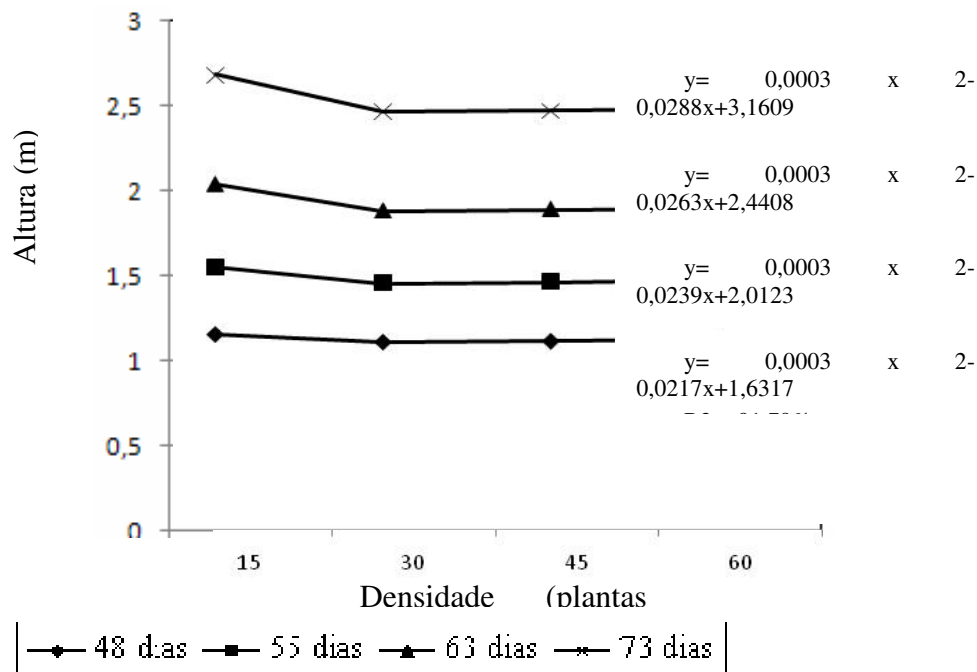
Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F, comparação de médias pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade e análise de regressão. As análises foram realizadas por meio do programa estatístico SISVAR, da Universidade Federal de Lavras.

### **3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.5.1 Desenvolvimento da Leguminosa**

#### **3.5.2 Relação Densidade *Versus* Altura**

As plantas da crotalária, quando avaliadas em relação à altura nas 7 datas de coleta (27, 34, 41, 48, 55, 63 e 73 dias após o plantio da crotalária), não apresentaram diferenças significativas na altura ( $p \leq 0,05$ ) considerando as épocas de coleta, densidades e interação entre estes dois fatores. Isto ocorreu até atingir os 41 dias, apresentando diferenças a partir dos 48 dias de plantio (Figura 2), sendo o melhor ajuste dos resultados entre as densidades o modelo de regressão quadrático.



**Figura 2.** Altura da *C. juncea* nas épocas de coleta (48; 55; 63 e 73) dias após o plantio ao nível de 5% de significância.

Embora a análise tenha mostrado diferenças significativas no desenvolvimento vegetativo a partir de 48 dias após o plantio, foi feita a derivação das equações de regressão e observa-se através da Tabela 4 um aumento em função da diminuição do número de plantas por metro linear. A densidade de 15 plantas foi a que apresentou em todas as coletas a partir de 48 dias após o plantio os valores máximos de altura enquanto que as alturas mínimas foram atingidas entre as densidades de 36 e 48 plantas por m linear. É bom salientar que as diferenças entre as alturas máximas e mínimas foram em média de 22 cm (Tabela 4).

O fato do menor arranjo populacional se sobressair está provavelmente relacionado com a maior disponibilidade de espaço e maior capacidade de exploração de água e nutrientes. Para uma planta atingir seu potencial máximo de produção é necessário encontrar as melhores condições de solo e clima sem ser submetida a competição ou ao mínimo de competição.

**Tabela 4.** Derivação das equações de regressão referentes as alturas mínimas, diferenças entre as alturas máximas e mínimas e densidades de plantas por m linear alcançadas na altura mínima observadas nos dias de coleta 48, 55, 63 e 73 dias após o plantio da crotalária

Dias	Alturas (m)		Densidades plantas/m linear <sup>1</sup>	Altura (cm) Máxima – mínima
	mínima			
48	1,239		36	0,13
55	1,536		40	0,18
63	1,864		44	0,25
73	2,467		48	0,33

Leal (2006), avaliando a semeadura da crotalária ao final da primavera e em condições climáticas semelhantes, observou que aos 3 meses, a crotalária atingiu uma média de altura 2,03 m. O desenvolvimento vegetativo da crotalária em altura, observado neste estudo, é semelhante aos encontrados por Okito et al. (2004), que ao estudar em Seropédica, RJ, nas mesmas condições edafoclimáticas, observaram alturas entre 3,78 m e 2,95 m para *Crotalaria juncea* cultivada em diversas datas de plantio.

### 3.5.3 Produção de Biomassa Seca Aérea, Relação Caule/folha e N-total Acumulado na Crotalária

As densidades não influenciaram na produção de massa seca aérea, N-total acumulado, relação caule/folha e fixação biológica de nitrogênio, quando as plantas de crotalária foram cortadas aos 84 dias após o plantio, embora a população de plantas após o desbaste manual tenha variado de 477500 ha<sup>-1</sup> a 1542500 ha<sup>-1</sup> para as densidades de 15 a 60 plantas por metro linear, respectivamente (Tabela 3). Apesar de não haver diferenças significativas nos tratamentos, pode-se constatar a grande capacidade da *Crotalaria juncea* em acumular fitomassa em um período curto de tempo (Tabela 5). A média encontrada de biomassa aérea seca da crotalária foi 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> 84 dias após o plantio. Pereira (2004) estudando em Seropédica, RJ, obteve produtividade máxima de 10,6 Mg ha<sup>-1</sup> (125 DAP) em cultivo de primavera-verão realizado nas mesmas condições edafoclimáticas.

**Tabela 5.** Produção média de biomassa seca aérea, N-total acumulado e relação caule/folha (C/F) da *C.juncea* aos 84 dias após o plantio.

Densidades	Matéria seca (Mg ha <sup>-1</sup> )		C/F	N-total (kg ha <sup>-1</sup> )	
	caule	folha		caule	Folha
15	7,75 a	1,81 a	4,36 a	83,47 a	83,23 a
30	7,11 a	1,84 a	3,90 a	82,84 a	88,04 a
45	7,09 a	1,86 a	3,88 a	79,17 a	85,67 a
60	7,32 a	1,62 a	4,55 a	77,05 a	77,99 a
CV (%)	8,15	15,03	9,85	18,04	14,64

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com Tourino et al. (2002), a redução de biomassa aérea seca por planta com o aumento da densidade e diminuição do espaçamento entre os sulcos de plantio, está relacionada com a menor disponibilidade de espaço e maior exploração do solo, conseqüentemente, maior competição por água, luz e nutrientes entre as plantas.

Fernandes et al. (1999), estudando em Lagarto, SE, encontraram resultados semelhantes, ao avaliar o efeito de diferentes densidades de semeadura na produção de biomassa aérea seca de diferentes leguminosas (calopogônio, mucuna-preta, mucuna-rajada, feijão-de-porco, guandu, *Crotalaria spectabilis*, *C. breviflora*), estes autores verificaram que o adensamento das populações, não contribuiu para o aumento da produtividade de biomassa aérea seca. Este comportamento também foi evidenciado por Moreira (2003), que ao avaliar diferentes arranjos populacionais em guandu, verificou que os mesmos não afetaram a produtividade de matéria seca aérea.

Os arranjos populacionais testados contribuíram para que as menores densidades apresentassem maior produção unitária de matéria seca, compensando assim, a redução do número de plantas por unidade de área.

Quanto à relação caule/folha, a média entre as densidades foi de 4,17 (Tabela 5). Contudo, apesar das densidades de plantas não afetarem esta relação, destaca-se que havia quatro vezes mais caule do que folha. Segundo Calegari et al. (1992), a crotalária apresenta uma grande produção de fitomassa, porém apresenta uma relação caule/folha desequilibrada, com altos percentuais de talos em relação às folhas, onde os talos são geralmente mais fibrosos, apresentam baixos níveis de nutrientes e elevados valores na relação C/N isto caracteriza uma decomposição mais lenta do resíduo vegetal e imobilização momentânea inicial do nitrogênio.

De acordo com Resende et al (2001) as diferenças do tempo de  $\frac{1}{2}$  vida dos resíduos de talos e folhas parecem estar associadas diretamente com a relação C/N, sendo que na *C. juncea* as folhas e caule apresentam uma relação 9 e 40, respectivamente. Ainda de acordo com este autor, as folhas das leguminosas apresentam uma taxa de decomposição 3 vezes maior que os talos. Como o tempo de meia vida das folhas é bem menor que o caule, esta espécie é mais indicada para uso em cultivos com culturas que tenham uma maior demanda de N no início de seu desenvolvimento ou para culturas de ciclo curto.

Apesar de não haver diferenças significativas entre as densidades no acúmulo de N-total durante o período experimental, a *C. juncea* acumulou, aos 84 dias após o plantio, antes do período de floração, cerca de 164 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo 80,63 kg ha<sup>-1</sup> de N e 83,72 kg ha<sup>-1</sup> de N no caule e na folha, respectivamente, constituindo-se em excelente estratégia de fornecimento de N ao solo (Tabela 5).

Leal (2006) em estudo realizado em Seropédica, RJ, obteve nas mesmas condições edafoclimáticas um acúmulo de 113,4 kg ha<sup>-1</sup> de N aos 3 meses de idade, sendo que a folha da crotalária acumulou 64,2 kg ha<sup>-1</sup> de N.

### 3.5.4 Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) Associada à Crotalária.

Empregando-se a técnica de abundância natural, verificou-se que o teor de N acumulado pela crotalária proveniente do processo de fixação biológica de nitrogênio não diferiu entre as densidades. Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  na parte aérea da crotalária e das plantas testemunhas, como também a contribuição da FBN estimada pela técnica de abundância natural são apresentadas na Tabela 6.

As plantas de crotalária, cortadas aos 84 dias após o plantio, apresentaram uma abundância natural de  $^{15}\text{N}$  em média de  $2,57 \pm 0,354$ . Três espécies espontâneas, supostamente não fixadoras de  $\text{N}_2$ , amostradas no mesmo local, apresentaram valores de delta  $^{15}\text{N}$  similares. Para tiririca (*Cyperus rotundus*), encontrou-se um valor de  $8,31 \pm 0,473$ , beldroega (*Postulaca oleracea*),  $9,55 \pm 0,227$ , e pé-de-galinha (*Eleusine indica*),  $7,28 \pm 0,483$ , sendo a abundância natural de  $^{15}\text{N}$  da beldroega maior do que em pé-de-galinha. Dessa forma, a dependência da crotalária pela FBN variou de 54 a 64%, dependendo da espécie controle utilizada.

Espécies eficientes em FBN apresentam valores de  $\delta^{15}\text{N}$  menores do que aquelas não fixadoras crescendo no mesmo solo (Resende, 2000). Do total de N acumulado pela crotalária (164 kg ha<sup>-1</sup>), 59% foram derivados da FBN, constata-se que esta leguminosa foi capaz de acumular na parte aérea, via FBN, cerca de 96 kg N ha<sup>-1</sup>, sendo o restante proveniente do solo. Este percentual é semelhante com os valores encontrados na literatura para a maioria das leguminosas utilizadas como adubo verde, aonde se verificam valores variando de 60 a 80% de N provenientes da FBN (Resende 2000; Urquiaga & Zapata, 2000; Ramos et al, 2001). Estudos realizados com guandu, por Moreira (2003), verificou que aproximadamente 60% do N presente nesta espécie foi derivado da FBN, independente do arranjo populacional.

**Tabela 6.** Valores de abundância natural de  $^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ ) da crotalária e das plantas testemunhas, e contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Parte aérea crotalária							
Densidade de plantas (m linear <sup>-1</sup> )	Delta $^{15}\text{N}$	Proporção de N fixado <sup>1</sup> (%)			Quantidade de N fixado (kg ha <sup>-1</sup> )		
		<i>Eleusine indica</i>	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Postulaca oleracea</i>	<i>Eleusine indica</i>	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Postulaca oleracea</i>
15	2,87±0,18	61,44 <sup>ns</sup> ±1,9 4	50,89 <sup>ns</sup> ±3,23	56,40 <sup>ns</sup> ±1,8 5	102,46 <sup>ns</sup> ±5,63	85,39 <sup>ns</sup> ±8,78	94,23 <sup>ns</sup> ±6,35
30	2,88±0,58	61,52 <sup>ns</sup> ±5,0 9	49,75 <sup>ns</sup> ±10,11	55,63 <sup>ns</sup> ±7,9 8	103,34 <sup>ns</sup> ±5,04	81,56 <sup>ns</sup> ±14,56	92,17 <sup>ns</sup> ±9,52
45	2,24±0,21	67,40 <sup>ns</sup> ±1,4 5	59,19 <sup>ns</sup> ±3,62	62,88 <sup>ns</sup> ±2,7 1	110,65 <sup>ns</sup> ±7,89	94,73 <sup>ns</sup> ±5,33	102,87 <sup>ns</sup> ±7,38
60	2,315±0,4 4	66,72 <sup>ns</sup> ±3,6 4	56,46 <sup>ns</sup> ±7,79	61,41 <sup>ns</sup> ±6,3 5	103,64 <sup>ns</sup> ±7,52	87,8 <sup>ns</sup> ±12,97	95,49 <sup>ns</sup> ±11,24
Testemunha <sup>2</sup>							
<i>Eleusine indica</i>	7,28±0,48						
<i>Cyperus rotundus</i>	8,31±0,47						
<i>Postulaca oleracea</i>	9,55±0,23						
médias		64,27	53,83	59,08	105,02	87,31	96,21
CV (%)		9,98	16,42	12,82	14,07	19,80	16,30

<sup>1</sup>Determinado pelo método de abundância natural de  $^{15}\text{N}$

<sup>2</sup>Testemunha não fixadora

<sup>ns</sup>Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

### 3.5.5 Influência do N-fertilizante e da Crotalária na Cultura do Milho

#### 3.5.6 Produção de Biomassa Aérea Seca Total e N-total Acumulado no Milho no Estádio de Grão Leitoso.

Os rendimentos da produção de matéria seca aérea obtidos com a adubação na forma de crotalária nas diferentes densidades não diferiu significativamente dos rendimentos encontrados com a aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N-fertilizante, porém, os resultados com a adubação, seja ela na forma de crotalária ou mineral, resultaram em uma produção de matéria seca aérea do milho superior a testemunha não nitrogenada, conforme os resultados apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Produção de matéria seca aérea total do milho no estágio de grão leitoso nas diferentes densidades de plantas (0, 15, 30 45, 60 pl. m linear<sup>-1</sup>) e na presença de 90 kg de N ha<sup>-1</sup>. Médias de 4 repetições.

Tratamentos	Matéria seca (Mg ha <sup>-1</sup> )		
	colmo	espiga	total
0	4,68 ± 0,237 b	1,95 ± 0,179 a	6,63 ± 0,408 b
15	6,32 ± 0,302 a	2,49 ± 0,274 a	8,82 ± 0,562 a
30	6,20 ± 0,361 a	2,16 ± 0,338 a	8,36 ± 0,541 a
45	6,26 ± 0,279 a	2,53 ± 0,312 a	8,78 ± 0,538 a
60	6,36 ± 0,174 a	2,81 ± 0,386 a	9,17 ± 0,548 a
90	6,69 ± 0,363 a	3,22 ± 0,196 a	9,92 ± 0,552 a
CV (%)	10,37	23,22	12,81

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Nota-se que independente das densidades utilizadas no experimento e nas condições edafoclimáticas locais, a presença da adubação verde com crotalária, resultou em uma produção de matéria seca de milho no estágio de grão leitoso equivalente à adubação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de adubo mineral, sendo que a matéria seca no milho com N-fertilizante foi superior 49 % que a testemunha não nitrogenada.

No que diz respeito ao acúmulo de N pelo milho no estágio de grão leitoso, observa-se através da Tabela 8 que o acúmulo de N obtido com a adubação na forma de crotalária nas diferentes densidades diferiu estatisticamente dos encontrados com a aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> na forma de N-fertilizante, sendo o acúmulo superior na presença de 90 kg de N ha<sup>-1</sup> (124,21 kg de N ha<sup>-1</sup>).

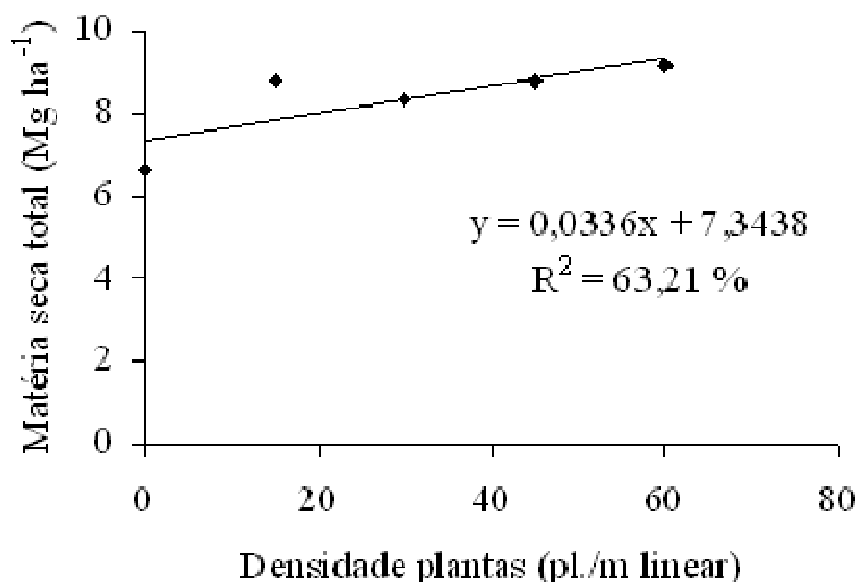
A presença do adubo mineral resultou em um acúmulo de 28% e 75% superior a adubação verde e a testemunha, respectivamente. Perin (2005) observou o mesmo comportamento quando avaliou a quantidade de N acumulada nos grãos de milho após pré-cultivo com crotalária em monocultivo ou consorciada com milheto, que o teor e acúmulo de N nos grãos e na planta de milho aumentaram com a adubação de 90 kg ha<sup>-1</sup>. Isso foi devido a grande solubilidade do N-fertilizante, disponibilizando mais rapidamente este nutriente para as culturas.

**Tabela 8.** N-total acumulado pelo milho no estágio de grão leitoso nas diferentes densidades de plantas (0, 15, 30 45, 60 pl. m linear<sup>-1</sup>) e na presença de 90 kg de N ha<sup>-1</sup>. Médias de 4 repetições.

Tratamentos	Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )		
	colmo	espiga	total
0	44,57 ± 5,18 c	1,95 ± 0,179 a	70,65 ± 7,31 c
15	60,70 ± 6,74 b	33,57 ± 2,49 a	94,27 ± 9,14 b
30	59,49 ± 5,19 b	29,20 ± 4,67 a	88,69 ± 7,64 b
45	63,41 ± 7,01 b	35,68 ± 6,68 a	99,09 ± 12,51 b
60	69,08 ± 3,87 b	34,67 ± 3,88 a	103,75 ± 7,56 b
90	86,23 ± 4,15 a	37,98 ± 2,44 a	124,21 ± 2,25 a
CV (%)	8,15	24,59	11,18

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Entretanto, na ausência de N-fertilizante, houve comportamento diferenciado quanto à variação da densidade. Nota-se através da Figura 3, que a produção de matéria seca do milho aumenta linearmente em função do aumento da densidade de plantas, sendo que a melhor densidade foi a de 60 plantas por m linear com uma produção equivalente a 9,17 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca aérea no milho, 38 % a mais que a testemunha não nitrogenada.

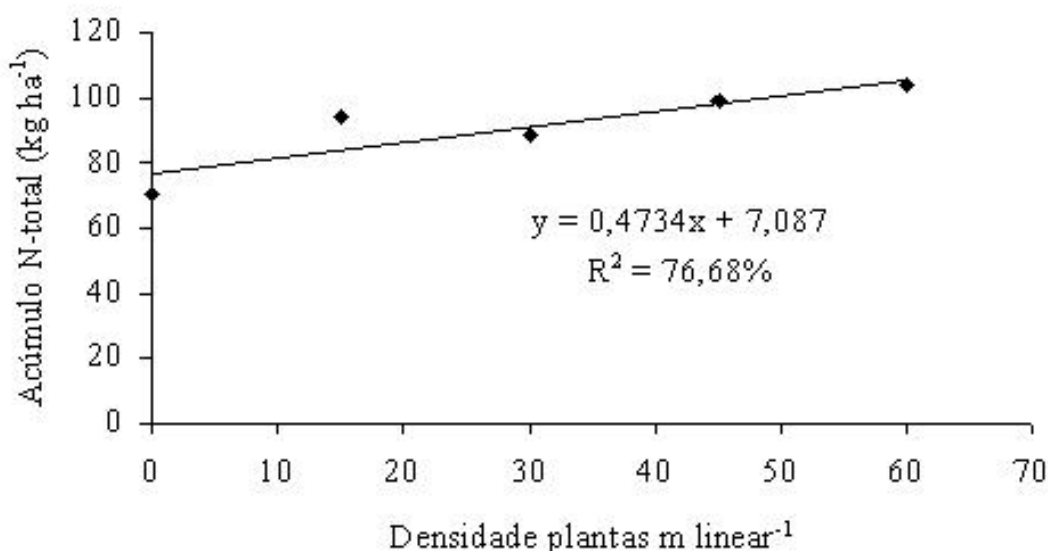


**Figura 3.** Produção de matéria seca aérea total no milho no estágio de grão leitoso em função das densidades de plantas (15, 30, 45 e 60, pl. m linear<sup>-1</sup>). Significativo a 5% de probabilidade.

O fato da produção de matéria seca aérea total ter sido significativamente maior nos tratamentos com diferentes densidades de crotalária quando comparado com a testemunha não nitrogenada, está associado à decomposição dos resíduos da crotalária e, coincide com o baixo tempo de meia vida do nitrogênio derivado desta espécie.

Resende et al (2001), avaliando a taxa de mineralização do nitrogênio em folhas e talos em diferentes adubos verdes, detectaram que a *C. juncea* apresentou uma taxa de meia vida nas folhas, talos+folhas e talos de 34, 65 e 109 dias, respectivamente, e para decomposição da matéria seca dos resíduos, 118 dias. Neste experimento a taxa de mineralização do nitrogênio da crotalária foi rápida e sincronizada com as doses de adubo mineral quando aplicada no plantio e em cobertura até o estágio de grão leitoso, isto se deve ao fato, provavelmente de que a maior parte do N liberado da crotalária esteja contida em seus tecidos em compartimentos mais lábil, ou seja, de mais rápida decomposição, como as folhas.

Na ausência de N-fertilizante, houve novamente comportamento diferenciado quanto à variação da densidade e acúmulo de N-total. Nota-se através da Figura 4, que o acúmulo de N pelo milho aumenta linearmente em função do aumento da densidade de plantas, sendo que a melhor densidade foi a de 60 pl. m linear<sup>-1</sup> com um acúmulo de 103,75 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 4.** N-total acumulado no milho no estágio de grão leitoso em função das densidades (15, 30, 45 e 60) pl. m linear<sup>-1</sup>. Significativo a 5% de probabilidade.

Embora o acúmulo de N, a produção de matéria seca e a relação caule/folha da crotalária não tenham tido diferenças significativas nas diferentes densidades; para a cultura do milho o aumento das densidades de plantas provocou uma maior disponibilização de N, com isso sugere-se, que a relação C/N diminui com as densidades, caracterizando uma mineralização mais rápida do N presente em seus resíduos (Heinzmann, 1985).

Ceretta et al. (1994) verificaram rendimento de milho semelhante à adubação de 130 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando *C. spectabilis*, feijão de porco e guandu anão em pré-cultivo.



### 3.6 CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado este trabalho pode-se concluir que:

A altura da planta de crotalária foi influenciada pela densidade de plantas (15, 30, 45 e 60, pl./m) a partir dos 48 dias após o plantio, sendo que na densidade de 15 plantas/m as plantas apresentaram maior altura.

A variação da população de plantas/ha de crotalária não repercutiu em diferenças na acumulação de N, fixação biológica de nitrogênio, relação caule/folha e produção de biomassa seca aérea pela crotalária.

Os diferentes arranjos populacionais da crotalária resultaram em uma produção de matéria seca aérea e acúmulo de nitrogênio no milho superior à testemunha não nitrogenada.

A presença da adubação verde com crotalária proporcionou o mesmo incremento no milho na produção de matéria seca equivalente à adubação de 90 kg N ha<sup>-1</sup> na forma de sulfato de amônio.

A presença do adubo mineral resultou em um acúmulo de 28% e 75%, superior a adubação verde e a testemunha não nitrogenada.

## **4      CAPÍTULO II**

### **RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO A DIFERENTES DOSES DE N NA FORMA DE BIOMASSA VERDE DE CROTALÁRIA E À FERTILIZAÇÃO COM SULFATO DE AMÔNIO**

#### 4.1 RESUMO

O estudo teve como objetivos obter uma curva de resposta da cultura do milho (*Zea mays L.*) à adubação verde com crotalária (*Crotalaria juncea L.*), em equivalência ao N na forma de sulfato de amônio. O estudo foi conduzido nos anos de 2005 e 2006, sob condições de campo na área experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ. O experimento foi instalado em um Planossolo Háptico, utilizando-se um delineamento em blocos ao acaso e avaliou-se a resposta da cultura do milho às doses de (0, 75, 150, 225 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup>) na forma de parte aérea de crotalária, sem incorporação no solo, tendo como referência a resposta à fertilização com doses de (0, 38, 75, 113 e 150 kg N ha<sup>-1</sup>) na forma de N-sulfato de amônio. A crotalária produziu uma quantidade de matéria seca de 11,5 Mg ha<sup>-1</sup>, acumulou 328 kg de N ha<sup>-1</sup> em 112 dias. Um modelo linear foi ajustado para a produção de matéria seca do milho em função das doses de N como adubo verde na forma de parte aérea de crotalária ( $R^2 = 0,87$ ) e com N-Sulfato de amônio ( $R^2 = 0,73$ ) ao nível de 5% de significância. Para cada unidade de N mineral e N-adubo verde resultou em um incremento de 22,27 e 11,98 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Um modelo linear também foi ajustado para o acúmulo de N-total no milho em função das doses de N como adubo verde na forma de parte aérea de crotalária ( $R^2 = 0,64$ ) e com N-Sulfato de amônio ( $R^2 = 0,79$ ) ao nível de 5% de significância. Para cada unidade de N mineral e N-adubo verde resultou em um incremento de 0,43 e 0,09 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Concluiu-se através dos coeficientes angulares das equações de regressão linear que o adubo verde e o adubo mineral não apresentaram a mesma eficiência quanto a produção de biomassa aérea seca da crotalária nem quanto ao acúmulo de N-total, sendo portanto necessário duas e cinco vezes a mais adubo verde para alcançar a mesma produção de matéria seca e acúmulo de N-total, respectivamente.

**Palavras chave:** *Crotalaria juncea L.* *Zea mays L.* Sulfato de amônio. Produção de fitomassa. N-total.

## 4.2 ABSTRACT

The study had the objective of obtaining a corn (*Zea mays* L.) crop response curve to the addition of green manure (*Crotalaria juncea* L.), in equivalence to N in the ammonium sulphate form. The studies were conducted from 2005 to 2006, under field conditions in the experimental area of Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ. The experiments were installed in a Fragiudult soil, using a randomized block design with four replicates, and it was evaluated the response of corn crop at the doses of 0, 75, 150, 225 e 300 kg N ha<sup>-1</sup>, applied as crotalaria biomass, without incorporation in the ground. As testimony it was used the response to fertilization at doses of 0, 38, 75, 113 e 150 kg N ha<sup>-1</sup> as ammonium sulphate. The crotalaria produced an amount of dry matter of 11.5 Mg ha<sup>-1</sup>, and accumulated 328 kg N ha<sup>-1</sup> in 112 days. A linear model was adjusted for the corn dry biomass production as a function of N doses as crotalaria green manure ( $R^2 = 0.87$ ) and from ammonium sulphate N ( $R^2 = 0.73$ ), to the level of 5% significance. Each unit of mineral N and green manure N resulted in an increment of 22.27 e 11.98 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. A linear model also was adjusted for the accumulation of total N in the corn in function of the doses of green manure N ( $R^2 = 0.64$ ) and with ammonium sulphate N ( $R^2 = 0.79$ ) to the level of 5% of significance. For each unit of mineral N and green manure N there was an increment of 0.43 e 0.09 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. It was concluded through the angular coefficients of linear regression equations that green manure N and mineral N did not presented the same efficiency for production neither of crotalaria dry biomass nor to accumulation of total N. Therefore, it takes twice and five times more green manure to reach the same production of dry matter and total N accumulation, respectively.

**Key words:** *Crotalaria juncea* L. *Zea mays* L. Ammonium sulphate. Biomass production. Total N.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A cultura do milho, no Brasil, tem alto potencial produtivo, alcançando 10 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias avançadas. No entanto o que se observa são produtividades muito baixas e irregulares, cerca de 3,4 Mg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2006). Apesar de o país ser o terceiro produtor mundial de milho, com produção de 42 milhões de toneladas de grãos (IBGE, 2006), a baixa produtividade é decorrente de vários fatores, dentro os quais se destacam as deficiências nutricionais, sobretudo de nitrogênio, que é um dos nutrientes que mais limita o rendimento das plantas. Esta situação é mais crítica em áreas ocupadas por pequenos produtores que, por razões econômicas, não tem acesso ao consumo de N-fertilizante (Kiehl, 1985).

No entanto, o desempenho desta cultura pode atingir patamares mais ousados, a partir do emprego da adubação verde. Dentre as espécies empregadas para adubação verde, as leguminosas se destacam, por formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, o que resulta no aporte de quantidades expressivas desse nutriente no sistema solo-planta (Perin et al., 2003). Nesse sentido, as culturas produtoras de grãos, como o milho, podem ser beneficiadas pelo consórcio ou sucessão com as leguminosas, devido a uma maior disponibilidade de nitrogênio do solo ocasionado pela entrada de nitrogênio derivado da FBN, pela mínima utilização de N mineral do solo pela leguminosa, ou pela liberação gradual de N concentrado nos resíduos da leguminosa (Chalk, 1998).

Uma outra característica importante nas leguminosas é a baixa relação C/N do material usado como adubo verde. De acordo com Urquiaga et al. (1990), esta relação é um dos indicadores que explicam a formação de substâncias húmicas e a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. De maneira geral, resíduos com baixa relação C/N e reduzidos teores de lignina e polifenóis apresentam rápida mineralização e fornecem grande quantidade de nitrogênio para as culturas sucessoras, ao passo que resíduos com alta relação C/N e elevados teores de lignina e polifenóis decompõem-se mais lentamente, podendo causar a imobilização de N para os cultivos posteriores (Espindola et al., 2005).

Em alguns casos, o uso de adubos verdes pode conferir rendimento de milho superior ao da testemunha nitrogenada, conforme constatado por Aita et al. (1994). Em outras situações, o rendimento de milho em sucessão a adubação verde com leguminosas foi semelhante a aplicação de N-fertilizante recomendada (Bortolini et al., 2000., Heinrichs et al., 2001), e em outros, evidenciou-se respostas da aplicação de N-fertilizante no rendimento do milho (Amado et al., 2000; Scivittaro et al., 2000).

A crotalária (*Crotalaria juncea*) é uma das espécies de adubo verde comumente utilizada como cultura de cobertura, devido ao benefício que causa ao solo na sua habilidade em promover a fixação biológica de N em simbiose com bactérias, produzir biomassa rapidamente, aumentar a matéria orgânica do solo e seqüestrar carbono (Wang et al., 2003). Embora grande quantidade de N possa ser acumulado na sua biomassa, a real quantidade de N aproveitada pela cultura em sucessão, dependerá do sincronismo entre a velocidade de liberação do nutriente pelo adubo verde e a demanda da cultura de interesse. Portanto, faltam informações que permitam prever uma resposta em adição desse insumo.

Assim, este trabalho tem como objetivo determinar a curva de resposta da cultura do milho a diferentes doses de N como adubo verde, neste caso a crotalária, e, também, a curva de resposta à fertilização com sulfato de amônio.

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Área de Estudo

O experimento foi instalado na área experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, num solo classificado como Planossolo Háplico (Embrapa, 1999).

A localização geográfica se dá entre os paralelos 22° 49' e 22° 45' de latitude sul e os meridianos 43° 38' e 43° 42' de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 33 m sobre o nível do mar. Clima predominante quente e úmido sem inverno pronunciado, classificado como do tipo Aw na classificação de Köppen. A estação chuvosa estende-se de outubro a fevereiro, com mínima precipitação em julho. As temperaturas mais altas são registradas nos meses de janeiro e fevereiro e as mais baixas no mês de julho.

As temperaturas médias e a precipitação pluviométrica registradas durante o período do experimento estão apresentadas na (Figura 1).

A análise química das amostras de solo retiradas na camada de 0 – 20 cm revelou os seguintes resultados:

**Tabela 9.** Análise química do solo na área de estudo localizada no Terraço – Embrapa Agroecologia (prof. 0-20 cm)

N*	C	MO	pH <sub>H2O</sub>	Al	Ca	Mg	P	K
g.kg <sup>-1</sup>				cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			mg/dm <sup>3</sup>	
0,73	8,4	1,44	5,4	0,0	2,3	1,1	6,6	64,0

\*N-método semimicro-Kjeldahl (Alves et al., 1994); C-carbono orgânico método Walkley & Black (Raij et al., 1987); pH<sub>H2O</sub>; Al; Ca e Mg; K; P-EMBRAPA (1997).

### 4.4.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com nove tratamentos e quatro repetições. A espécie de leguminosa utilizada como adubo verde para determinar a curva de resposta no experimento foi a *Crotalaria juncea*, uma leguminosa comumente difundida, de ciclo anual e hábito de crescimento ereto. Além disso, é considerada má hospedeira de nematóides formadores de galhas e cistos, e apresenta elevada capacidade de fixação biológica de N<sub>2</sub>.

### 4.4.3 Cultivo da *Crotalaria juncea*

A crotalária foi semeada manualmente em 17/11/2005 após preparo da terra com aração, gradagem e sulcamento em sistema convencional (PC), numa área de 450 m<sup>2</sup> (30 x 15 m) com linhas espaçadas de 50 cm e densidade de 30 sementes por metro linear. A adubação foi realizada de acordo com os resultados obtidos na análise do solo a fim de atender as necessidades da crotalária. Realizou-se adubação com P, na forma de superfosfato simples, na dose equivalente a 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Por ocasião da semeadura, estirpes de *Bradyrhizobium* (BR 2001 e BR 2003) da coleção de culturas da Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia foram inoculadas nas sementes de crotalária.

O manejo da leguminosa para a adubação nitrogenada na cultura do milho, consistiu em cortes com facão no sentido do comprimento, feito aos 112 dias após o plantio (DAP), 5 cm abaixo da última folha. A crotalária foi transportada e distribuída homogeneamente entre os sulcos nas parcelas referentes aos tratamentos com a adubação verde na cultura do milho.

Não foi necessário durante o período experimental efetuar desbaste do adubo verde nem intervenções para o controle de ervas espontâneas e pragas. As plantas foram irrigadas duas vezes por semana aplicando-se uma lâmina de água de 20 mm em cada irrigação.

#### **4.4.4 Parâmetros Avaliados na *Crotalária juncea***

#### **4.4.5 Produção de Biomassa Seca Aérea**

As plantas pertencentes à área útil de 1m<sup>2</sup> foram cortadas rente ao solo e pesadas para determinação de matéria fresca. Retirou-se sub-amostras de aproximadamente 250 g de massa fresca que foram pesadas, acondicionadas em saco de papel e transferidas para estufa de secagem a 65°C, até atingir massa constante, que em seguida, foram pesadas, avaliadas a biomassa seca aérea e, finalmente, moídas em moinho tipo Wiley, com abertura de 20 mesh.

#### **4.4.6 Acúmulo de Nitrogênio Total**

No florescimento da crotalária, ocorrido aos 112 dias após o plantio (DAP), as plantas foram cortadas com 5 cm logo abaixo da última folha e foram retiradas amostras para avaliar a relação caule/folha e determinar o teor de N no caule e nas folhas da crotalária. Retirou-se sub-amostras de aproximadamente 250 g de massa fresca que foram pesadas, acondicionadas em sacos de papel e transferidas para estufa de secagem a 65°C, até atingir massa constante, que em seguida, foram pesadas, avaliadas a biomassa seca aérea e o teor de N no caule e nas folhas da crotalária e, finalmente, moídas em moinho tipo Wiley, com abertura de 20 mesh.

Para a análise do teor de N total nos tecidos, utilizaram-se 100 mg do material vegetal seco e moído, para a digestão Kjeldahl, em mistura digestora contendo ácido sulfúrico e catalizadores, com posterior destilação a vapor e titulometria com ácido sulfúrico (Alves et al., 1994).

#### **4.4.7 Decomposição da Matéria Seca e Liberação de N dos Resíduos da Crotalária**

A taxa de decomposição e liberação de N dos resíduos do adubo verde foi avaliada conforme descrito por Zotarelli (2000). A coleta dos resíduos da crotalária foi amostrada aos 39 e 80 dias após o plantio do milho. Em cada unidade experimental coletaram-se de 3 pontos, ao acaso, o total de material vegetal existente em 0,04 m<sup>2</sup>, totalizando 0,12 m<sup>2</sup> por unidade experimental. Os resíduos foram separados em caules e folhas, limpos, pesados e secos em estufa de secagem a 65°C até peso constante que em seguida, foram pesadas, avaliadas a biomassa seca aérea e, finalmente, moídas em moinho tipo Wiley, com abertura de 20 mesh. Depois foram levadas ao laboratório para determinação do teor de N no caule e nas folhas (Alves et al., 1994).

A uniformidade dos resíduos na superfície do solo nas unidades experimentais não foi mantida ao longo do tempo devido, principalmente, ao manejo da cultura do milho. Assim, a matéria seca dos resíduos da crotalária coletados aos 39 dias, variou muito em função do local amostrado, chegando a produzir resultados de total de resíduos superiores à quantidade adicionada para a mesma unidade de área. Diante dessa incoerência dos dados, optou-se por realizar uma estimativa da taxa de decomposição dos resíduos da crotalária a partir da relação caule/folha aos 39 dias da aplicação. Para isso, considerou-se que a decomposição do caule foi desprezível nos primeiros 39 dias, e a variação da relação de matéria seca caule/folha foi

ocasionada pela decomposição da folha. Assim, a quantidade de folhas na coleta aos 39 dias foi calculada conforme equação abaixo:

$$MS_{folha39Dias} = \frac{MS_{cauleadicionada} * 1}{\frac{MS_{caule39dias}}{MS_{folha39dias}}}$$

$MS_{folha39Dias}$  é a quantidade de matéria seca de folha da crotalária ( $kg\ ha^{-1}$ ) onde, remanescente nas unidades experimentais aos 39 dias da aplicação do adubo verde;  $MS_{cauleadicionada}$  é a quantidade de matéria seca ( $kg\ ha^{-1}$ ) adicionada em forma de caule no dia da aplicação do adubo verde;  $MS_{caule39dias}$  é a quantidade de matéria seca ( $kg\ ha^{-1}$ ) do caule, encontrada aos 39 dias da aplicação do adubo verde.

A matéria seca total ( $MS_{total}$ ) aos 39 dias foi calculada conforme equação abaixo:

$$MS_{total} = MS_{folha39dias} + MS_{cauleadicionada}$$

Para descrever a liberação de N, aplicou-se um modelo matemático exponencial descrito por Thomas e Asakawa (1993) citado por Resende (2000), conforme equação abaixo:

$$P = P_0 \exp(-Kt)$$

Onde,  $P$  é fração do resíduo inicial existente no tempo  $t$ , e  $P_0$  e  $K$  são, respectivamente, a proporção do resíduo potencialmente decomponível e a constante de decomposição do resíduo. Para variável N, o  $K$  foi calculado a partir da derivação da equação anterior que resultou na seguinte formula:

$$K = \frac{\ln(N_{inicial}) - \ln(N_{final})}{39}$$

Onde,  $N_{inicial}$  é a quantidade de N adicionada em forma de crotalária e  $N_{final}$  é quantidade de N encontrado nos resíduos da crotalária aos 39 dias da aplicação.

#### 4.4.8 Cultivo do Milho

O experimento foi montado utilizando o delineamento experimental em blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas apresentaram área de  $25\ m^2$  ( $5m \times 5m$ ). O milho recebeu nove tratamentos (T) de adubação: 1) - testemunha sem aplicação de N; 2) -  $38\ kg\ ha^{-1}$  de N fertilizante (sulfato de amônio); 3) -  $75\ kg\ ha^{-1}$  de N fertilizante; 4) -  $113\ kg\ ha^{-1}$  de N fertilizante; 5) -  $150\ kg\ ha^{-1}$  de N fertilizante; 6) -  $75\ kg\ ha^{-1}$  de N na forma de biomassa aérea de crotalária com 2,86% de N (PA); 7) -  $150\ kg\ ha^{-1}$  de N (PA); 8) -  $225\ kg\ ha^{-1}$  de N (PA); 9) -  $300\ kg\ ha^{-1}$  de N (PA). Dessa forma, obtiveram-se um total de 36 parcelas (9T x 4REP). Os tratamentos 6, 7, 8 e 9 receberam 3,24, 6,47, 9,7 e 12,94 Mg  $ha^{-1}$  de massa seca, representando em massa verde 11; 22; 33 e 44 Mg  $ha^{-1}$  respectivamente.

O adubo verde foi cortado aos 14 dias de março de 2006, 5 cm abaixo da última folha com a intenção de minimizar a relação caule/folha que se encontrava em torno de 5,0 devido a um intenso veranico que ocorreu neste período. Em seguida a matéria verde da crotalária, foi transportada e distribuída de forma homogênea na superfície das parcelas referentes aos tratamentos com adubo verde.

O milho utilizado no experimento foi o híbrido duplo precoce BR 206 (EMBRAPA), foi semeado manualmente após preparo da terra com aração, gradagem e sulcamento em sistema convencional de preparo do solo (PC). A semeadura consistiu três dias após o corte da leguminosa em 17 de março de 2006, em sulcos espaçados de 1 m, empregando-se 10 sementes/m linear, sendo desbastado para 6 plantas/m linear aos 22 dias após a emergência, obtendo-se uma população de 60.000 plantas  $ha^{-1}$ .



Todos os tratamentos receberam na linha de semeadura por ocasião do plantio, o equivalente a 50 kg de FTE BR12 (9% Zn, 1,8% B, 0,8% Cu, 2% Mn, 3,5% Fe e 0,1% Mo) como fonte de micronutrientes, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente e de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho e baseado nos resultados de análise química do solo. O N-fertilizante foi aplicado superficial, a lanço, na forma de sulfato de amônio, no plantio e em cobertura. O parcelamento do milho encontra-se na Tabela 10.

**Tabela 10.** Doses de nitrogênio na forma de sulfato de amônio e de parte aérea de crotalária aplicadas na cultura do milho

Parcelamento		Tratamentos kg ha <sup>-1</sup> de N			
		Sulfato de amônio			
Plantio	0	38	38	38	38
cobertura	0	0	37	75	112
		Parte aérea crotalária			
Plantio	0	75	150	225	300

Durante o período experimental foram efetuadas capinas manuais e não foi necessário o controle químico de pragas. As plantas foram irrigadas duas vezes por semana aplicando-se uma lâmina de água de 20 mm em cada irrigação.

#### 4.4.9 Produção de Biomassa Aérea Seca Total e N-total Acumulado no Milho no Estádio de Grão Leiteiro

Para determinar o acúmulo de N e produção de matéria seca na parte aérea do milho, coletaram-se aleatoriamente na fase de grão leitoso, período onde está iniciando a transformação dos açúcares em amido, 10 plantas de milho na área útil de cada parcela. As plantas foram cortadas rente ao solo divididas em colmo e espigas com a palha, que em seguida foram moídas em um triturador de forragem. Retirou-se uma sub-amostra do colmo e da espiga, que foi pesada e colocada em estufa de secagem a 65°C até estabilização de seus pesos. Após esta etapa, as amostras do milho foram, pesadas, moídas em moinho tipo Wiley (peneira de 2 mm) e encaminhadas para determinar os teores de N-total (Alves et al., 1994) e matéria seca.

#### 4.4.10 Análises Estatísticas

Os tratamentos avaliados constaram de doses de N adubo verde na forma de crotalária, doses de N-adubo mineral na forma de sulfato de amônio. Foi realizada a análise de variância, por meio do programa estatístico SISVAR, da Universidade Federal de Lavras. Para as variáveis matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>) e N-total acumulado no milho na fase de grão leitoso, foi aplicada análise de regressão para verificação do melhor modelo que se ajustava aos dados, a 5% de probabilidade.

Para as análises do N-liberado pela crotalária aos 80 DAP do milho foi aplicada uma regressão sem repetição, através do programa estatístico SAS e para testar a igualdade entre os coeficientes angulares foi testada através do teste t Student.

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Avaliações Sobre o Desenvolvimento da Crotalária

### 4.5.2 Produção de Biomassa Aérea seca e Acúmulo de Nitrogênio pela Crotalária

A Tabela 11 caracteriza o potencial da crotalária como adubo verde, com produção de matéria seca acima de 10 Mg ha<sup>-1</sup> em um intervalo de tempo inferior a 100 dias. A elevada produção de matéria seca dessa leguminosa assemelha-se aos valores verificados por Wutke (1993) ao estudar o manejo da fitomassa em espécies utilizadas como adubos verdes no Estado de São Paulo e Pereira (2004) em Seropédica, RJ.

**Tabela 11.** Produção de matéria seca, teor de nitrogênio e quantidade de nitrogênio na parte aérea da *C. juncea*.

Matéria seca Mg ha <sup>-1</sup>		Teor de N %		Nitrogênio kg ha <sup>-1</sup>	
Caule	folhas	caule	Folhas	caule	Folhas
6,65	4,85	1,314	3,682	87,4	178,6

Apesar do caule apresentar a maior acumulação de matéria seca em relação as folhas, observa-se na Tabela 11 que as folhas da crotalária apresentam uma maior concentração de N em comparação ao caule. De acordo com Calegari et al. (1992), a crotalária apresenta uma grande produção de fitomassa, porém apresenta uma relação caule/folha desequilibrada, com altos percentuais de talos em relação às folhas e essa relação é de grande importância nos processos de decomposição e liberação de N para as culturas em sucessão.

### 4.5.3 Decomposição da Matéria Seca e Liberação de N dos Resíduos da Crotalária

Em abril de 2006, ao avaliar a decomposição dos resíduos da crotalária referentes as doses 75, 150, 225 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N adicionadas, verificou-se que restavam na matéria seca 30, 71, 102 e 157 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Após, aproximadamente, um mês desde o corte da crotalária em média 54 % do N dos resíduos já haviam sido liberados para o solo. Em uma segunda coleta, em junho de 2006, restavam apenas 11, 33, 45 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N no resíduo remanescente, ou seja, 79 % em média do N aplicado no dia do plantio foram, provavelmente liberados para o solo (Tabela 12).

Os resultados da Tabela 12 estão próximos dos observados por Torres et al. (2005), que analisando as taxas iniciais de decomposição da matéria seca de *C. juncea*, em Uberaba, MG, verificaram que 43,8 % dos resíduos decompuseram nos primeiros 42 dias após o corte, sendo liberados o equivalente a 32, 64, 96 e 129 kg ha<sup>-1</sup> de N para o solo. O fato dos valores encontrados por Torres et al. (2005) terem sido um pouco menores dos aqui obtidos, deve estar relacionado às condições edafoclimáticas, diferenças nas condições de crescimento e/ou pela relação caule/folha que em média chega a 5, mas neste experimento foi menor, próxima de 1,4, contribuindo para uma decomposição mais rápida dos resíduos.

**Tabela 12.** Produção de matéria seca inicial, N adicionado, N-liberado pela *C. juncea* e % de N liberado aos 39 e 80 dias após o plantio do milho.

Doses de N adicionadas	N-liberado (kg ha <sup>-1</sup> )		% N-liberado	
	Dias após o plantio milho		Dias após o plantio milho	
kg ha <sup>1</sup>	39	80	<b>39</b>	<b>80</b>
75	45	64	60	85
150	79	117	53	78
225	123	180	55	80
300	143	220	48	73

Silva et al. (1997) avaliaram a taxa de decomposição de crotalária em solo sob cerrado nativo e solos descobertos e verificaram que decorridos 60 dias após o início do estudo, 61,9 % da matéria seca já havia sido decomposta. A cinética de decomposição dos resíduos culturais apresenta uma fase inicial rápida seguida de outra mais lenta. Da Ros & Aita (1996) observaram também que as taxas mais elevadas de decomposição ocorrem nos primeiros 29 dias. Aita & Giacomini (2003) verificaram que ao final do primeiro mês aproximadamente 44 % da matéria seca da ervilhaca foi decomposta com cerca de 52 % de N liberados.

De acordo com Aita et al. (2006), a elevada taxa inicial de decomposição dos resíduos está relacionada com os processos microbianos de mineralização e imobilização, os quais dependem basicamente da relação C/N e do sistema de preparo do solo. Solos com baixos teores de nitrogênio mineral, podem limitar o crescimento microbiano e, como consequência, há uma redução na taxa de decomposição dos resíduos (Mary et al., 1996) e uma menor superfície de contato dos resíduos com o solo, afeta a facilidade de acesso aos microrganismos.

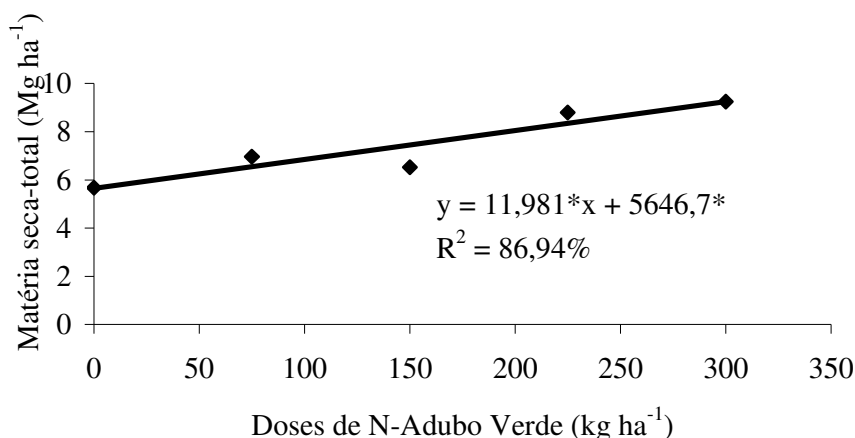
Embora a relação caule/folha da crotalária tenha sido relativamente pequena no estudo, os caules são geralmente mais fibrosos, apresentam baixos níveis de nutrientes e elevados valores na relação C/N (Calegari, 1992), isto caracteriza uma decomposição mais lenta do resíduo vegetal e imobilização momentânea inicial do nitrogênio. Ainda de acordo com esse autor, as folhas apresentam uma menor relação C/N e menor teor de lignina que o caule levando com isso a uma taxa de mineralização do nitrogênio mais rápida nesse órgão.

Os resultados deste estudo evidenciaram que a decomposição dos resíduos culturais e liberação de nutrientes da crotalária apresentaram a mesma dinâmica dos estudos realizados por diversos autores com leguminosas em geral (Rannels & Wagger, 1996; Aita et al., 2003; Torres et al., 2005), ou seja, que essa espécie, quando usada em sucessão como cultura solteira, foi rapidamente decomposta após o seu manejo, mesmo quando utilizada como cobertura. A maior parte de mineralização do nitrogênio até o primeiro mês foram provenientes das folhas, e a liberação de N dos resíduos ocorreu antecipadamente à fase de maior demanda em N pelo milho em sucessão, normalmente por volta dos 25 a 30 dias após emergência, evidenciando que, o fato da crotalária imobilizar grande quantidade de nutrientes em sua biomassa, não significa que esses nutrientes estarão prontamente disponíveis para a cultura subsequente.

#### 4.5.4 Influência do N-fertilizante e da Crotalária na Cultura do Milho

#### 4.5.5 Produção de Matéria Seca Total no Milho no Estádio de Grão Leiteiro na Presença de N-fertilizante e Adubo Verde

Os resultados da avaliação da contribuição da adubação mineral para a produção de matéria seca do milho encontra-se na Figura 5.



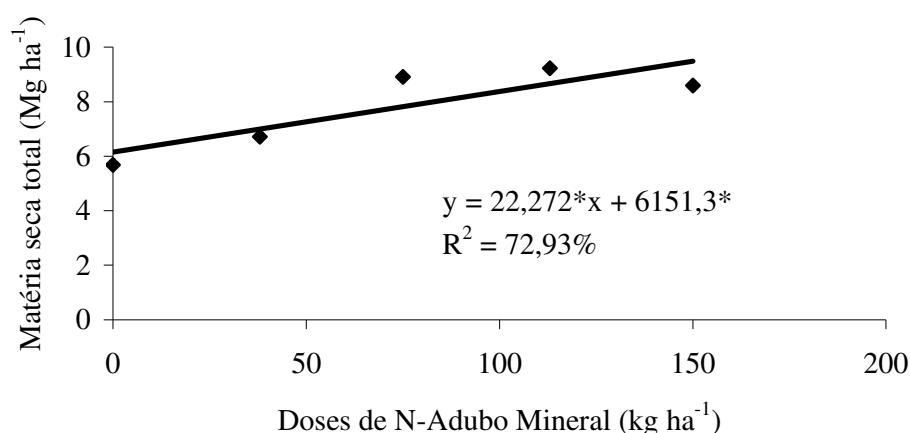
**Figura 5.** Produção de biomassa aérea seca do milho no estágio de grão leitoso, em função de diferentes doses de N como sulfato de amônio. (\*Significativo a 5% de probabilidade).

Observa-se através do modelo linear que a aplicação de doses crescentes de N-mineral proporcionou aumento na produção de matéria seca total do milho, sendo que para cada kg de N-mineral aplicado houve um incremento de 22,27 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca. Dados similares foram conseguidos por Andrade et al (1975a,b), Furlani et al. (1977) e Vasconcelos et al. (1983), os quais verificaram em experimentos de campo que o acúmulo de matéria seca é praticamente linear dos 40 aos 80 dias.

O acúmulo de matéria seca diário observado em função de diferentes doses de N-fertilizante no período até aos 80 dias, foi cerca de 77 e 118 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para a testemunha não nitrogenada e a maior dose de N.

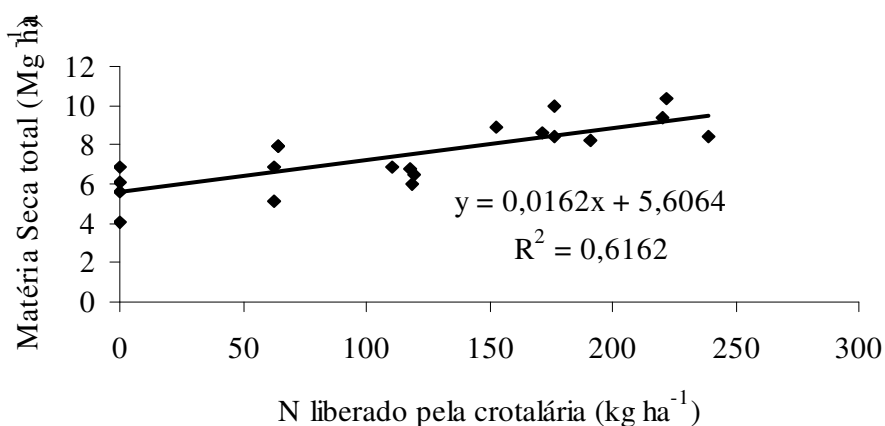
Nos tratamentos onde foram mantidos os resíduos culturais da crotalária na superfície do solo, a produção de matéria seca aérea do milho também aumentou de forma linear em função das doses de adubo verde, sendo que para cada unidade de adubo verde aplicada resultou em um incremento de 11,98 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 6).

A Figura 6 mostra que a aplicação da maior dose, resultou num aumento de produção de 62 % em relação ao tratamento testemunha, correspondendo a um acúmulo de matéria seca diário de 70 e 115 kg ha<sup>-1</sup>, para as dose 0 e de 300 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 6.** Produção de biomassa aérea seca do milho no estágio de grão leitoso, em função de diferentes doses de N como adubo verde na forma de parte aérea de *C. juncea* (\*Significativo a 5% de probabilidade).

Ao se considerar o N que foi disponibilizado pelos resíduos da crotalária aos 80 dias após o plantio, constatou-se que a produção de matéria seca pelo milho também aumentou de forma linear em função das doses de adubo verde, sendo que para cada unidade de adubo verde liberada resultou em um incremento de 0,016 kg ha<sup>-1</sup>(Figura 7).



**Figura 7.** Produção de matéria seca total pelo milho no estágio de grão leitoso, em função do N liberado pelos resíduos de *C. juncea* aos 80 dias após o plantio. (\*Significativo a 5% de probabilidade).

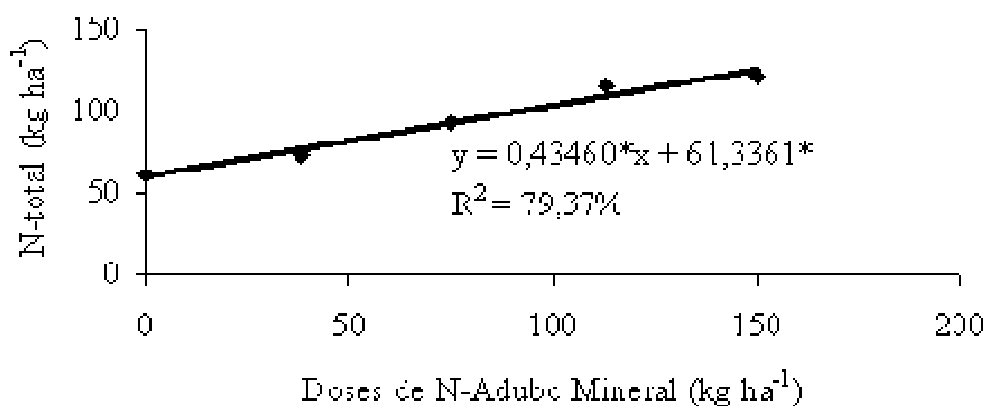
De acordo com Bull & Cantarella (1993) o acúmulo de matéria seca pela cultura do milho, é influenciado pelo nível de fertilidade do solo. Estes autores observaram também que a maior taxa de crescimento do milho quando cultivadas sob condições adequadas de suprimentos de nutrientes, apresenta uma produção diária de matéria seca de 245 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto para condições de extrema deficiência de nitrogênio a taxa de crescimento foi muito menor, com uma produção de matéria seca de 82 kg ha<sup>-1</sup>.

O acúmulo de matéria seca diários obtidos neste estudo evidencia limitações para o desenvolvimento das plantas de milho. Esta baixa performance pode ser explicada levando em conta as características do solo (Tabela 9), visto que o solo em estudo, por ser extremamente arenoso, apresenta baixa capacidade de retenção de umidade e de nutrientes, estando sujeito a

maior perdas de elementos por lixiviação. A baixa quantidade de matéria orgânica no solo também contribui, com a sua baixa capacidade para reter e trocar nutrientes.

#### 4.5.6 Acúmulo de N-total no Milho no Estádio de Grão Leiteiro na Presença de N-Fertilizante e Adubo Verde

Verificou-se também, através de um modelo linear, que o aumento das doses de adubo mineral proporcionou aumento no acúmulo de N e para cada unidade de N-mineral aplicado resultou em um acúmulo de 0,43 kg ha<sup>-1</sup> de N no milho (Figura 8).



**Figura 8.** N-total acumulado pelo milho no estágio de grão leitoso, em função de diferentes doses de N como sulfato de amônio (\*Significativo a 5% de probabilidade).

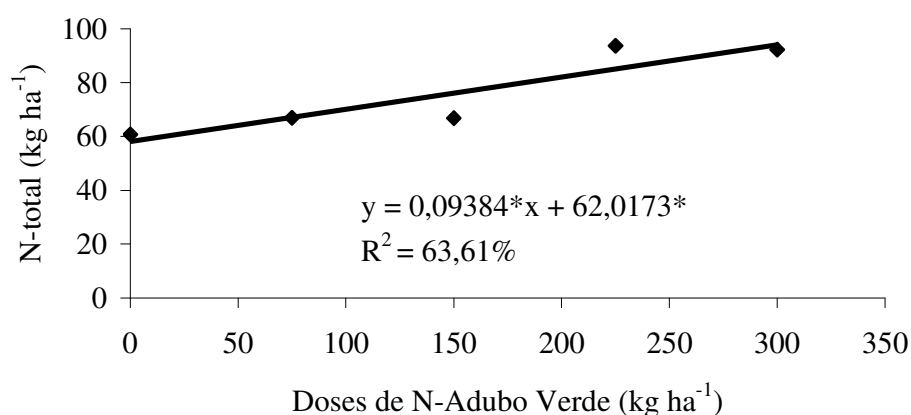
As quantidades de nitrogênio extraídas pelas plantas (exceto raízes) variaram de 61 kg ha<sup>-1</sup> de N para o tratamento testemunha a 121 kg ha<sup>-1</sup> de N com aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> N. Grove (1979), em uma revisão sobre adubação nitrogenada em várias culturas, entre elas o milho, cultivados em vários solos e em vários países, inclusive no Brasil, verificou que esses solos apresentaram uma capacidade de suprimento natural de nitrogênio de 60 a 80 kg ha<sup>-1</sup> de N por cultivo.

A aplicação da maior dose de N-fertilizante resultou em um acúmulo de N no milho 99 % superior a testemunha não nitrogenada. Esse resultado está de acordo com vários estudos experimentais efetuados no Brasil, no qual o milho responde a adubação nitrogenada de forma generalizada, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo (Raij et al., 1981; Grove et al., 1980).

De acordo com a Figura 8, o aproveitamento de N do sulfato de amônio pela parte aérea do milho, foi de 43 %. Isto confirma os resultados encontrados na literatura em que os valores de N variam entre 12 % a 53 % para os fertilizantes minerais (Azam et al., 1985; Ladd & Amato, 1986; Harris & Hesterman, 1990; Patil & Sarkar, 1991; Corak et al., 1992; Diekmann et al., 1993; Harris et al., 1994; Scivittaro et al., 2003).

Sabe-se que parte deste N-fertilizante é aproveitado pela própria cultura, parte é perdido pelos processos de lixiviação ou volatilização e outra parte pode ficar retido no solo, podendo ser usado pelas culturas seguintes.

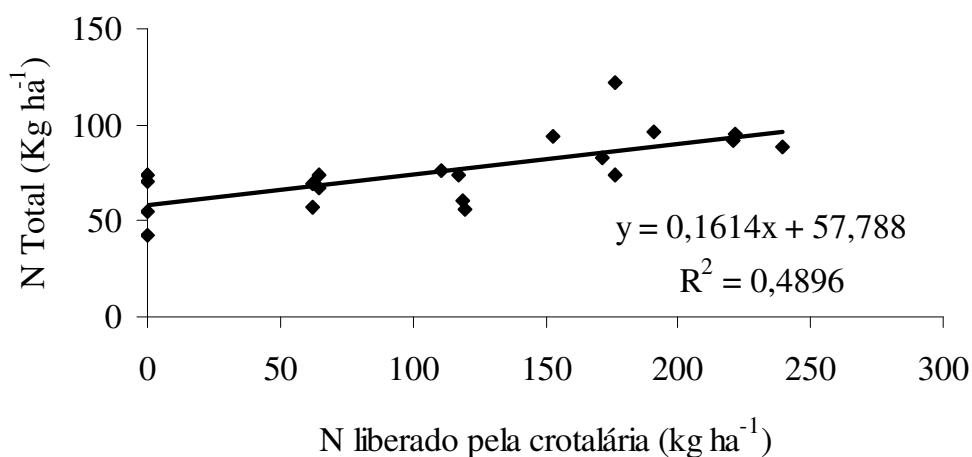
Nos tratamentos onde foram mantidos os resíduos culturais da crotalária na superfície do solo, observa-se que à medida que aumentaram-se as doses de N na forma do adubo verde, houve um incremento no acúmulo de N no milho (Figura 9).



**Figura 9.** N-total acumulado pelo milho no estágio de grão leitoso, em função de diferentes doses de N-adubo verde na forma de parte aérea de crotalária. (\*Significativo a 5 % de probabilidade).

Para cada unidade de N-adubo verde aplicado houve um acúmulo de 0,09 kg ha<sup>-1</sup> N no milho, confirmando com isso, que a presença dessa leguminosa, além do elevado potencial de produção de fitomassa, constitui-se em uma excelente estratégia de fornecimento de N ao solo, favorecendo o crescimento de culturas em sucessão.

Ao se considerar o N que foi disponibilizado pelos resíduos da crotalária aos 80 dias após o plantio, constatou-se que o acúmulo de N-total pelo milho aumentou de forma linear em função das doses de adubo verde, sendo que para cada unidade de adubo verde aplicada resultou em um incremento de 0,16 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 10).



**Figura 10.** N-total acumulado pelo milho no estágio de grão leitoso, em função do N liberado pelos resíduos de crotalária aos 80 dias após o plantio. (\*Significativo a 5 % de probabilidade).

Zotarelli (2000) estudando o balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina, PR, também relatou que apenas a introdução de uma leguminosa para a adubação verde na rotação de culturas poderia contribuir de forma significativa para o aumento de N no solo, podendo inclusive permitir redução da fertilização com nitrogênio (Amado et al., 2000; Da Ros & Aita, 1996). Resultados semelhantes também foram observados por Silva et al. (2006), que ao cultivar o

milho em sucessão à crotalária, em dois anos consecutivos, verificaram que a quantidade de N na planta de milho aumentou com o incremento da dose de N.

De acordo com as Figuras 9 e 10, o aproveitamento de N-adubo verde pela parte aérea do milho, foi de 9 % e 16 %. Estudos de incorporação de resíduos de leguminosas marcadas com  $^{15}\text{N}$  no campo indicam que entre 5 e 15 % dos 186 kg ha<sup>-1</sup> de N contido nos resíduos da leguminosa poderiam ser recuperados no plantio subsequente com o milho (Azam et al., 1985; Harris et al., 1994). Já os valores observados por Scivittaro et al. (2003) estão, num intervalo de 10 a 14 %. O menor aproveitamento de N proveniente de adubos verdes pelo milho, pode ser atribuído à lenta mineralização e liberação de N dos adubos verdes, favorecendo um suprimento inadequado de N as plantas de milho.

Embora tenha ocorrido um incremento na produção de biomassa e N acumulado no milho, a real contribuição da quantidade de N disponibilizada pela crotalária, foi testada através da comparação dos coeficientes angulares das equações de regressão linear provenientes do adubo verde e adubo mineral (Tabela 12).

**Tabela 13.** Coeficiente linear, angular e de determinação referentes a matéria seca e N-total do adubo mineral e adubo verde.

Coeficientes	Matéria seca		N-total	
	N-fertilizante	N-adubo verde	N-fertilizante	N-adubo verde
B0	6151,3	5646,7	61,3360	62,017
B1	22,272	11,98	0,4346	0,0938
R <sup>2</sup>	0,7293	0,8699	0,7937	0,6361

Observando os coeficientes angulares na Tabela 13, conclui-se que houve diferença significativa entre os coeficientes angulares do adubo verde *versus* adubo mineral, significando que o adubo verde e o adubo mineral não apresentaram a mesma eficiência quanto à produção de biomassa aérea seca nem de acúmulo de N-total no milho no estágio de grão leitoso. Para a variável massa seca aérea foi observado que são necessárias duas vezes mais adubo verde, enquanto que, para a variável acúmulo de N são necessárias aproximadamente cinco vezes mais adubo verde para alcançar o mesmo acúmulo de N com aplicação do adubo mineral.

Resultados semelhantes foram observados por Corak et al. (1992), ao avaliarem em vasos, o efeito do uso exclusivo e combinado de *Vicia villosa* e de sulfato de amônio no azevém. Esses autores observaram que a produção de matéria seca proporcionada pelo sulfato de amônio foi cerca de duas vezes maior que a obtida com o adubo verde, correspondendo a uma recuperação de N 44 % maior que a da leguminosa. Segundo Scivittaro et al. (2003), uma fração significativa do N proveniente de adubos verdes e minerais não é aproveitada pelas plantas, podendo permanecer no solo e ser utilizada por cultivos posteriores, ou ainda, ser perdida no sistema solo-planta.

O fato da adubação verde com crotalária não ter a mesma eficiência que a adubação mineral pode ser atribuída a vários fatores, um deles está relacionado com a disponibilidade de N do solo que é determinada pela relação C/N, conteúdo de N, taxa de oxidação da matéria orgânica.

Durante a condução do experimento, observou-se que a maior parte de N dos resíduos foram liberados nos primeiros dias, revelando que esse nutriente esteve mais disponível nas fases que ainda havia reservas provenientes do solo e das sementes e com isso o N pode ter



acumulado no solo, aumentando o potencial de perdas via volatilização de amônio, desnitrificação, lixiviação de nitrato e, ou ter sido imobilizado pelos microrganismos, resultando em um assincronismo com a demanda do milho, fato que pode ter sido preponderante na baixa taxa de transferência para o milho.

Para Resende et al (2001), o tempo de meia vida dos resíduos da crotalária estão relacionados com a relação C/N, sendo que as folhas apresentam uma relação bem mais baixa que o caule, favorecendo uma taxa de decomposição 3 vezes maior que o caule. Sugere-se que a maior parte do N liberado até os 40 dias pela crotalária veio das folhas, sobrando compostos mais recalcitrantes ao ataque microbiano, como ligninas e polifenóis, além do que, a manutenção dos resíduos da crotalária na superfície do solo leva também a uma decomposição mais lenta e gradual do material orgânico.

Vários estudos têm demonstrado que o nitrogênio proveniente dos adubos verdes permanece mais no solo do que o N do fertilizante mineral e que isso é um indicativo da decomposição incompleta dos resíduos. Scivittaro et al. (2003), observou que aproximadamente 90 % do N da mucuna-preta e 65 % do N mineral foram recuperados na camada superficial do solo e que este N remanescente no solo é encontrado, predominantemente, sob a forma de compostos orgânicos, cuja conversão para formas disponíveis é lenta. No entanto, a contribuição desses materiais para as formas orgânicas de N é fundamental para a manutenção da fertilidade do solo em longo prazo (Azam et al., 1985).

Contudo, ainda vale ressaltar, que a velocidade de decomposição dos resíduos da crotalária está diretamente influenciada pelas características climáticas e do solo. As coletas dos resíduos foram realizadas no início do período seco e de menores temperaturas (Figura 2), favorecendo uma diminuição na taxa de decomposição e liberação de nutrientes. Carvalho & Sodré (2000b) avaliaram a decomposição de material vegetal de diferentes espécies durante as esta es seca e chuvosa e relataram que a média de decomposi o dos r s duos vegetais no período chuvoso foi de aproximadamente o dobro da relativa   esta o seca.

Um segundo fator sugere-se que pode está relacionado com a produ o de substâncias aleloqu micas pela crotalária. Rice (1974) definiu o termo alelopatia como o efeito prejudicial e/ou benéfico entre plantas através de intera es químicas, Estas substâncias estão presentes em todos os tecidos das plantas (Putnan & Tang, 1986), sendo as formas de libera o no ambiente através dos processos de volatiliza o, exsuda o pelas raízes, lixivia o e decomposi o dos r s duos (Durigan & Almeida, 1993). De acordo com Overland (1966), a a o alelopática, tanto durante o crescimento vegetativo quanto durante o processo de decomposi o, exerce inibi o interespecífica sobre as espécies. Ohdan et al. (1995) observaram que extratos de crotalária inibiram em torno de 40% o crescimento radicular de plantas de trigo após 21 dias após o plantio, e que as espécies *C. juncea* e *C. spectabilis* mostraram redu es mais severas, esse mesmo efeito foi observado em rela o   altura de plantas de trigo. Araújo et al. (2005) observaram também que a crotalária proporcionou atraso no crescimento do trigo quando fertilizado somente com crotalária.

Uma menor resposta do milho   aduba o nitrogenada com leguminosas, também foi verificada em trabalhos realizados por Aguiar et al. (2006) que ao analisar os efeitos de plantas condicionadoras do solo no rendimento do milho com incorpora o e sob plantio direto de r s duos vegetais por 2 anos consecutivos, observaram quebra na produ o de 10,7% e 17,5% em média em rela o   safra anterior quando em sucessão a crotalária, mucuna-cinza e feijão-bravo-do-ceará.

Ceretta et al. (1994) verificaram que o cultivo de leguminosas na primavera   uma técnica eficiente no aumento da disponibilidade de N para o milho em sucessão. Sendo assim, abre-se a possibilidade de redu o ou até mesmo elimina o da aplica o de N-fertilizante, desde que as práticas que envolvem a aduba o verde possam ser otimizadas.

## 4.6 CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado este trabalho pode-se concluir que:

A crotalária como adubo verde, usada em pré-cultivo na cultura do milho resulta em menor matéria seca aérea e acúmulo de N-total no milho no estágio de grão leitoso do que quando adubado com N-fertilizante.

O aproveitamento pelo milho do nitrogênio proveniente do adubo verde é menor que o do N-fertilizante, em razão da liberação lenta e gradual dos nutrientes provenientes dos resíduos da crotalária.

A utilização da *Crotalaria juncea* como adubo verde deve ser baseada no total de N presente nas folhas, o que equivale a aproximadamente metade da necessidade de N do milho em termos de N fertilizante.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

Dentro da perspectiva de uma nova abordagem na construção de agroecossistemas sustentáveis, baseada nos aspectos de conservação dos recursos naturais, é relevante destacar a utilização da adubação verde, principalmente a utilização de leguminosas, por ser hoje uma importante fonte alternativa de nitrogênio para as plantas, além de possibilitar a recuperação da fertilidade do solo, aumentando o conteúdo de matéria orgânica.

Vários estudos indicam que as culturas produtoras de grãos podem ser beneficiadas pela rotação com culturas com leguminosas, devido a uma maior disponibilidade de N do solo ocasionado pela entrada de N derivado da fixação biológica de  $N_2$ .

O cultivo da crotalária como planta de cobertura já constitui um dos critérios utilizados para a recomendação de adubação nitrogenada para o milho em sistema de plantio direto em alguns estados brasileiros. Nesse sentido, estudos de arranjo populacional, permitem otimizar o aproveitamento do adubo verde. Os resultados do presente estudo evidenciaram que os arranjos populacionais testados contribuíram para que as menores densidades obtivessem maior produção unitária de matéria seca, não influenciando na acumulação de N-total, relação caule/folha e fixação biológica de nitrogênio. A crotalária possui uma grande capacidade de acumular fitomassa em um intervalo inferior a 100 dias, sendo que, do total de N acumulado pela crotalária 59% foram derivados da FBN e o restante proveniente do solo. Assim, a tomada de decisão sobre o arranjo populacional que contemple a necessidade de menores densidades de sementes é mais interessante, já que uma das dificuldades para a adoção da adubação verde é a disponibilidade e o custo elevado das sementes.

Embora o nitrogênio seja o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, observa-se no estudo, que apesar da leguminosa aumentar a disponibilidade de N no solo, através da fixação biológica de nitrogênio, revelando que o acúmulo de N e produção de matéria seca no milho foi superior a testemunha não nitrogenada, isso não significou que esse nutriente esteve prontamente disponível para a cultura do milho. Ficou evidente, no estudo, que o sistema de manejo adotado não supriu adequadamente a nutrição da cultura, contribuindo para os menores valores dos componentes de produção do milho quando comparado a adubação com N-mineral, fato, que pode está relacionado com a elevada taxa de mineralização inicial das folhas da crotalária, sobrando compostos mais recalcitrantes ao ataque microbiano, como ligninas e polifenóis, resultando com isso num assincronismo entre a liberação de N dos resíduos e a demanda em N pelo milho em sucessão, evidenciando que o adubo verde nas condições edafoclimáticas locais, não apresenta a mesma eficiência que o adubo mineral.

A baixa eficiência de uso do N pelo milho após o adubo verde está relacionada a grande quantidade deste nutriente no caule da crotalária, fração que fica indisponível por maior tempo e contribui menos para a nutrição do milho. A utilização do N das folhas da crotalária como referência para o resultado da adubação verde do milho parece ser mais coerente, e no caso deste estudo repercutiria em um resultado equivalente à metade do esperado com o uso de fertilizante.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOVAY, R. Agricultura familiar e desenvolvimento territorial. Brasília:MDA, NEAD, Consultoria IICA 940/98, 1998.
- AGUIAR, J.L.P. de; CARVALHO, A.M. de; CARDOSO, A.N.; GOMES, A.C. Viabilidade econômica do uso de plantas condicionadoras em agroecossistema de sequeiro. In: CARVALHO, A.M. de.; AMABILE, R.F. (Ed). Cerrado: Adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2006. p. 331-369.
- AITA, C.; BASSO, C.J.; GONSALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 157-165, 2001.
- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 601-612, 2003.
- CAMARGO, F.A.O. Manejo de sistemas agrícolas: Impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. In: AITA, C.:(Coord.). Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. Porto Alegre, 2006. p.59-79.
- ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F.; BODDEY, R.M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.E ARAÚJO R.S. (Ed.). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília: 1994. P. 449-470.
- AMABILE, R.F. Comportamento de adubos verdes e épocas de semeadura nos cerrados do Brasil Central. 1996. 123 f. Tese (Mestrado em Fitotecnia). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Piracicaba, 1996.
- AMABILE, R.F.; FANCELLI, A.L.; CARVALHO, A.M. de. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos Cerrados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 359, n. 1, p. 47-54, jan. 2000.
- AMADO, T.J.C.; MILENICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p. 179-189, 2000.
- AMBROSANO, E. J. Dinâmica do nitrogênio dos adubos verdes crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), em dois solos cultivados com milho. Piracicaba.1995.83 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Piracicaba, 1995.
- ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.). I. Acumulação de macronutrientes. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 32:115-49, 1975a.
- ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.). II. Acumulação de micronutrientes. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 32:150-72, 1975b.
- ARAÚJO, A.S.F de.; TEIXEIRA, G.M.; CAMPOS, A X de.; SILVA, F.C.; AMBROSANO, E.J.; TRIVELIN, P.C.O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalária juncea*) e/ou uréia. Revista Ciência Rural, v. 35, p. 284-289, 2005.

- ARAÚJO, A.P.; ALMEIDA, D.L. de. Adubação verde associada a fosfato de rocha na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 28, p. 245-251, 1993.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da.; BORTOLINI, C.G.; STRIEDER, M.L.; FORSTHOFER, E.L. Efeito de sistemas de manejo da ervilhaca comum sobre a cultura do milho semeada em sucessão. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1999, Uberlândia. Anais. Uberlândia: [s.n.], 1999.
- AZAM, F.; MALIK, K.A; SAJJAD, M.I. Transformation in soil and availability to plants of  $^{15}\text{N}$  applied as inorganic fertilizer and legume residues. Plant Soil, v. 86, p. 3-13, 1985.
- BERENDESE, F.; BERG.; BOSATA, E. The effect of lignin and nitrogen decomposition of litter in nutrient-poor ecosystems: a theoretical approach. Can. J. Botany, v. 65, p. 1116-1120, 1987.
- BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio associada a plantas utilizando o isótopo  $^{15}\text{N}$ . In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S (eds). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola, Brasília, DF: Embrapa-CNPAP, 1994. P. 471-494.
- BODDEY, R.M.; DE OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; OLIVARES, F.L.; BALDANI, V.L.D & DOBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: contributions and prospects for improvement. Plant and Soil, Dordrecht, v. 90, p. 195-209, 1995.
- BODDEY, R.M.; PEOPLES, M.B.; PALMER, B.; DART, P. Use of the  $^{15}\text{N}$  abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. Nutr. Cycling in Agros. p. 1-36, 2000. (in press).
- BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p. 897-903, 2000.
- BOULDIN, D.R. The influence of subsoil acidity on crop yield potential. Ithaca: Cornell University, 1979. (Cornell International Agricultural Bulletin, 34).
- BRASIL, F.; MACEDO, R.; TARRÉ, R.; FERREIRA, E.; RESENDE, A. S.; ALVES, B.J.R & URQUIAGA, S. Efeito da ladeira de leguminosa na decomposição da ladeira de *Panicum maximum* e na liberação de N, P e K para o solo e nutrição de plantas, FertBio, 11 a 16 de outubro de 1998, Caxambu, MG. p. 742, 1998.
- BÜLL, L.T & CANTARELLA, H. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 301p., 1993.
- BURRIS, R.H. The acetylene reduction technique. In: Nitrogen fixation by free-loving microorganisms. D. P. Stewart ed. International Biological Programme, v.6, p. 249-258. Cambridge Univ. Press., New York, 1975.
- CALEGARI, A. Residual effects of lupin (*Lupinus angustifolius* L.) on corn yield. In: INTERNATIONAL LUPIN CONFERENCE. 1990, Temuco-Pucon, Chile. Anais: Temuco-Pucon Chile, 1990.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISSANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produtividade. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados. Anais... Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 141-153.

CARRANCA, C.; VARENNES, A.; ROLSTON, D.E. Biological nitrogen fixation estimated by <sup>15</sup>N-dilution, natural abundance, and N difference techniques in a subterranean clover-grass sward under Mediterranean conditions. *European Journal Agronomy*, v. 10, p. 81-89, 1999.

CARVALHO, A.M. de; CORREIA, J.R.; BLANCANEUX, P.; FREITAS, L.R.S. da; MENEZES, H.A.; PEREIRA, J.; AMABILE, R.F. Caracterização de espécies de adubos verdes para milho em Latossolo Vermelho-Escuro originalmente sob cerrado. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. Anais... Brasília: Embrapa - CPAC, 1996. P. 384-388.

CARVALHO, A. M. de; CARNEIRO, R. G.; AMÁBILE, R. F.; SPERA, S.T.; DAMASO, F.H.M. Adubos verdes: efeitos no rendimento e no nitrogênio no milho em plantio direto e convencional. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 20p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa, 7).

CARVALHO, A.M. de; SODRÉ FILHO, J. Uso de adubos verdes como cobertura do solo. Planaltina, DF: Embrapa - CPAC, 2000b. 20p. (Embrapa - CPAC. Boletim de Pesquisa, 11).

CARVALHO, A.M. de. Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases. 2005. 199 p. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília.

CARVALHO, M.A.C. de; ATHAYDE, M.L.F.; SORATO, R.P.; ALVES, M.C.; ARF, O. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 39, n.1, p. 47-53, 2004b.

CARVALHO, M.A.C. de & AMÁBILE, R. F. Plantas condicionadoras de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A.M. de.; AMABILE, R.F. (Ed). Cerrado: Adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2006. p. 143-170.

CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A.; SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v.18, p. 215-220, 1994.

CHALK, P.M.; SMITH, C.J.; HAMILTON, S.D.; HOPMANS, P. Characterization of the N benefit of a grain legume (*Lupinus angustifolius* L.) to a cereal (*Hordeum vulgare* L.) by an in situ <sup>15</sup>N isotope dilution technique. *Biol. Fertil. Soils*. V.15, p.39-44, 1993.

CHALK, P.M. Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. *Aust. J. Agric. Res.* V. 49, p. 303-316, 1998.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E., BAHIA, A.F.C., GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v.16, p. 61-67, 1992.

COOK, C.G.; SCOTT Jr., A.W.; CHOW, P. Planting date and cultivar effects on growth and stalk yield of sunn hemp. *Industrial Crops and Products*, n. 8, p. 89-95, 1998.

- CORAK, S.J.; SMITH, M.S.; MacKOWN, C.T. Fate of <sup>15</sup>N labeled legume and ammonium nitrogen sources in a soil-plant system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 23, p. 634-642, 1992.
- COSTA, M.B.B. da.; MILANEZ, A.I.; CHABARIBERI, D.; NETO, F.L.; CERVellini, G.; CANTARELLA, H.; TERRA, M.M.; SILVA, N.M. da.; BRAGA, N.R.; BATAGLIA, O.C.; TRANI, P.E.; FURLANI, P.R.; BELINAZZI, R.; HIROCE, R.; MIYASAKA, S. *Adubação Orgânica: nova síntese e novo caminho para a agricultura*. São Paulo: Ícone editora, 102p., 1994.
- DEMÉTRIO, R.; GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A.; ALMEIDA, D.L.; DE-POLLI, H.; CARMAGO, F.A.O. Absorção de nitrogênio do solo pelo milho influenciada pela adição de diferentes resíduos de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, p. 481-486, 1998.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. *Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 272p.
- DE-POLLI, H.; CHADA, S. de S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v.13, p. 287-293, 1989.
- DIEKMANN, K.H.; DEDATTA, S.K.; OTTOW, J.C.G. Nitrogen uptake and recovery from urea green manure in lowland rice measured by <sup>15</sup>N and non-isotope techniques. *Plant and Soil*, The Hague, v. 148, p. 91-99, 1993.
- DURIGAN, J.C.; ALMEIDA, F.L.S. *Noções sobre alelopatia*. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 28p.
- EAGLESHAM, A.R.J.; AYANABA, A; RANGA RAO, V.; ESKEW, D.L. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea. *Soil Biol. Biochem.*, v. 13, p. 169-171, 1981.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, NLCS, 1979.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro; Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EIRA, P.A. da; DUQUE, F.F.; De-POLLI, H. SOUTO, S.M.; ALMEIDA, D.L. de; SANTOS, G.A.; DEMÉTRIO, R.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L.R. Adubos e corretivos. In: De-POLLI, H. (Coord.). *Manual de adubação orgânica para o estado do Rio de Janeiro*. Itaguaí: Editora Universidade Rural, 1988. p. 38-63.
- ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L. de.; ABBOUD, A.C.S. de. *Adubação verde com leguminosas*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 49p.
- FERNANDES, M.F.; BARRETO, A.C.; FILHO, J.E. Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1593-1600, 1999.
- FRANCO, A.A; NEVES, M.C.P. Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Eds.). *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. P.219-230.

- FREIRE, J.R.J. Fixação do nitrogênio pela simbiose rizóbio/leguminosas. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (eds.). Microbiologia do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 121-140.
- FURLANI, P.R.; HIDROCE, R.; BATAGLIA, O.C. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. *Bragantia*, Campinas, 36: 223-9, 1977
- GILLER, K.E & WILSON K.J. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB International. Wallingford, Oxon UK.1993. 313p.
- GOSWAMI, N.N.; PRASAD, R.; SARKAR, M.C. & SINGH, S. Studies on the effect of green manuring in nitrogen economy in a rice-wheat rotation using a  $^{15}\text{N}$  technique. *J. Agric. Sci, Camb.* V. 111, p. 413-417, 1988.
- GRANATO, L. Adubação verde: arte antiga e ciência moderna: uma revolução na economia agrícola nacional. São Paulo: Monteiro Lobato, 1924. p. 11-26.
- GROVE, L.T. Nitrogen fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics. New York, Cornell University, 1979. 27p. (Cornell International Agricultural Bulletin, 36).
- GROVE L.T.; RITCHEY, K.D & NADERMAN JR., G.C. Nitrogen fertilization of maize on oxisol of the cerrado of Brazil. *Agron. J.*, Madison, 27 (2): 261-265, 1980.
- GUERRA, J.G.M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de. Managing carbon and nitrogen in tropical organic farming through green manuring. In: BADEJO, M.A.; TOGUN, A.O., Ed. Strategies and Tactics of sustainable Agriculture in the tropics. Lagos: College Press, Ibadan and Enproct Consultants, 2002. v. 2.
- HANDAYANTO, E.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Regulation N mineralization from plant residues by manipulation of quality. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E., (eds.). Driven by nature: plant litter quality and decomposition. Wallingford: CAB International, p. 174-186. 1997.
- HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B.; PAUL, E.A.; PETERS, S.E.; JANKE, R.R. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experimental. *Agronomy Journal*, v. 86, p. 910-915, 1994.
- HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agronomy Journal*, Madison, v. 82, p. 129-134, 1990.
- HEINRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C.; FANCELLI, A.L Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 25, p. 331-340, 2001.
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 20, n. 9, p. 1021-1030, 1985.
- HENZEL, E.F. & VALLIS, I. Transfer of nitrogen between legumes and other crops. In: Biological Nitrogen Fixation Farming Systems of the Tropics (Eds: AYANABA, A. & DARJ, P.J.). J. Wiley & Sons, Chichester. p. 73-88.
- HERRIDGE, D.F.; PEOPLES, M.B. Ureide assay for measuring nitrogen fixation by nodulated soybean calibrated by  $^{15}\text{N}$  methods. *Plant Physiol.* V.93, p. 495-503, 1990.
- HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; PITOL, C.; SALTON, J.C. Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa-CPAO, 1995. 93p.



HERRIDGE, D.; BERGERSEN, F.J.; PEOPLES, M.B. Measurement of nitrogen fixation by soybean in the field using the ureide and natural <sup>15</sup>N abundance methods. *Plant Physiol.* V.93, p. 708-716, 1990.

HUNTER, D.J.; YAPA, L.G.G.; HUE, N.V.; EAQUB, M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 3/4, p. 375-388, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatística/indicadores/agropecuária/lspa/defaulttab.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatística/indicadores/agropecuária/lspa/defaulttab.shtm). Acesso em fev. 2007.

IGUE, K. Dinâmica da material orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: *Adução verde no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 232-267.

LADD, J.N.; AMATO, M.; JAKSON, R.B.; BUTLER, J.H.A. Utilization by wheat crops of nitrogen from legume residues decomposing in soils in the field. *Soil Biol. Biochem*, v. 15, p. 231-238, 1983.

LADD, J.N.; OADES, J. M.; AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in the field. *Soil Biol. Biochem*, v. 13, p. 251-256, 1981.

LADD, J.N.; AMATO, M. The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 18, p. 417-425, 1986.

LAL, R. Soil surface management in the tropics for intensive land use and right and sustained production. *Advances in Soil Science*, v.5, p.1-109, 1986.

LEAL, M.A . de A. Produção e eficiência agrônômica de compostos obtidos com palhada de gramínea e leguminosa para cultivo de hortaliças orgânicas. Tese de Doutorado em Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ. 2006. 133p.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ed. Agrônômica Ceres. 492p., 1985.

MARSHALL, A . J.; GALLAHER, R.N.; WANG, K.H.; MCSORLEY, R. Partitioning of dry matter and minerals in sunn hemp. In: SANTEN, E. van (Ed.). *Making conservation tillage conventional: Building a future on 25 years of research*. Alabama: Alabama Agriculture Experimental Station, 2002. p. 310-313.

MAFONGOYA, P.L.; DZOWELA, B.H.; NAIR, P.K. Effect of multipurpose trees, age of cutting and drying method on pruning quality. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E., (eds.). *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. Wallingford: CAB International, p. 166-174. 1997.

MARTIN, J. H.; LEONARD, W.H. Principles of field crop production. New York: Macmillan, 1949. p. 154-155.

MARY, B.; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. V.181, p.71-82, 1996.

MEENTEMEYER, V. Macroclimate and lignin control of litter decomposition. *Ecology*, v. 59, p. 405-472, 1978.

- MIYASAKA, S.; GALLO, J.R.; SILVA, J.G. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: Adubação verde no Brasil, Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 64-123.
- MONEGAT, C. Plantas de cobertura do solo; características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, Fotomecânica Meredi, 1991. 337p.
- MOREIRA, V.F. Produção de biomassa de guandu a partir de diferentes densidades de plantio e cultivo de brócolos em faixas intercalares sob manejo orgânico. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 66p. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, 2003.
- MURAOKA, T. Utilização de técnicas nucleares nos estudos da adubação verde. In: ENCONTRO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, Rio de Janeiro, 1983. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1984. p.330.
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Eds.). The biological management of tropical soil fertility. Chichester; John Wiley & Sons, 1994. P. 81-116.
- OHDAN, H.; DAIMON, H.; MIMOTO, H. Evaluation of allelopathy in *Crotalaria* by using a seed pack growth pouch. *Jpn. J. Crop Sci.* 64: 644-649.
- OKITO, A. ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. BODDEY, R.M. Isotopic fractionation during N<sub>2</sub> fixation by four tropical legumes. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 36, p. 1179-1190, 2004.
- OVERLAND, L. The role of allelopathic substances in the “smother crop”. *American Journal of Botany*, Columbus, v. 53, p. 423-432, 1966.
- PADOVAN, M.P.; ALMEIDA, D.L. de.; GUERRA, J.G.M.; RIBEIRO, R. de L. D.; NDIAYE, A. Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e produtividade de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 37, n. 12, p. 1705-1710, 2002.
- PATIL, R.G.; SARKAR, M.C. Influence of urea and green manure on uptake of labeled N and total N by rice grown on soil previously amended with wheat straw. *Journal of Nuclear Agriculture and Biology*, New Delhi, v. 20, p. 190-198, 1991.
- PEOPLES, M.B.; GAULT, R.R.; LEAN, B.; SYKES, J.D.; BROCKWELL, J. Nitrogen fixation by soybean in commercial irrigated crops of central and southern New South Wales. *Soil Biol. Bioch.* V.27, n.4/5,p.553-561, 1995.
- PEREIRA, L.R.; VIEIRA, C.; SEDIYAMA, C.S.; CARDOSO, A.A. Comportamento de cultivares e misturas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em monocultivo e em consórcio com o milho. *Revista Ceres, Viçosa.* v. 30, n. 168, p. 150-172, 1983.
- PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, p. 791-796, 2003.
- PERIN, A. Desempenho de milho e brócolos em sucessão à adubação verde. Tese de Doutorado em Agronomia. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 2005. 86p.
- PEREIRA, A. J. Produção de biomassa aérea e de sementes de crotalária juncea a partir de diferentes arranjos populacionais e épocas do ano. Tese de Mestrado em Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ. 2004. 78p.

- PITOL, C.; BROCH, D.L.; CARVALHO, A.M. de.; SPERA, S.T. Uso de adubos verdes nos sistemas de produção no bioma cerrado. In: CARVALHO, A.M. de.; AMABILE, R.F. (Ed). Cerrado: Adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2006. p. 301-330.
- PUTNAN, A.R. & TANG, C.S. 1986. p. 1-19. In: PUTNAN, A.R. & TANG, C.S. The Science of Allelopathy. John Wiley & Sons, New York.
- RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAIJ, B.V.; FEITOSA, C.T.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P. DECHEN, A.R.; ALVES, S.; SORDI, G.; VEIGA, A.A.; CAMPANA, M.P.; PETINELLI, A. & NERY, C. Análise de solo para discriminar a adubação para a cultura do milho. *Bragantia*, Campinas, 40(6):57-75, 1981.
- RAMOS, M.G.; VILLATORO, M.A.A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using <sup>15</sup>N-isotope techniques. *J. biotechnology*, v. 91, p. 105-115, 2001.
- RANELLS, N.N. & WAGGER, M.G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J*, v. 88, p. 777-782, 1996.
- RESENDE, A.S. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar: o uso de adubos verdes. Tese de Mestrado em Agronomia. Universidade Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ. 2000. 123p.
- RESENDE, A.S.; QUESADA, D.M.; XAVIER, R.P.; GUERRA, J.G.M.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Uso de leguminosa para adubação verde: importância da relação talo/folha. *Agronomia*. v. 35, n. 1/2. P. 71-76, 2001
- RIBEIRA JÚNIOR, W.Q & RAMOS, M.L.G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies para adubação verde. In: CARVALHO, A.M. de.; AMABILE, R.F. (Ed). Cerrado: Adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2006. p. 301-330.
- RICE, E.L. Allelopathy. New York: Academic Press, 1974. 333p.
- ROS, C.O.; 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*, Campinas, v. 20, p. 135-140, 1996.
- SÁ, J.C.M. Nitrogênio: influência da rotação de culturas e resposta da cultura do milho em solos sob plantio direto. IN: curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto, Castro, 1995. Anais. Castro, Fundação ABC, 1995. P. 213-228.
- SCIVITTARO, W.B. Transformação do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1427-1433, 2003.
- SHARMA, R.D.; PEREIRA, J.; RESCK, D.V.S. Eficiência de adubos verdes no controle de nematóides associados à soja nos cerrados. Planaltina, DF: EMBRAPA – CPAC, 1982. 30 p. (EMBRAPA – CPAC. Boletim de Pesquisa, 13).

- SHEARER, G. E KOHL D.H. N<sub>2</sub>-fixation in the field settings: estimations based on natural <sup>15</sup>N abundance. *Aust. J. Plant Physiol.* v.13, p.699-756, 1986.
- SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Utilização de nitrogênio de adubos verde e mineral pelo milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 917-926, 2000.
- SILVA, V.V. Efeito do pré-cultivo de adubos verdes na produção orgânica de brócolos (*Brassica oleraceae* L. var. *italica*) em sistema de plantio direto. 2002. 86f. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de Pós graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- SILVA, E.C. da.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E. da C.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (<sup>15</sup>N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 739-746, 2006.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. *Biotechnology do solo. Fundamentos e perspectivas*, Brasília, Ministério da Educação e Cultura, 1988. 236p.
- SKÓRA NETO, F. Controle de plantas daninhas através de coberturas verdes consorciadas com milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 28, p. 1165-1171, 1993.
- SIVAPALAN, K.; FERNANDO, V.; THENABADU, M.W. N-mineralization in polyphenol-rich plant residues and their effect on nitrification of applied ammonium sulphate. *Soil Biol. Biochem.*, v. 17, p. 547-551, 1985.
- SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S.; MELGAR, R.J. Nitrogen supplied to corn by legumes in a central amazon oxisoll. *Tropical Agriculture*, v. 68, n. 4, p. 336-372, 1991.
- TAYLOR, BR.; PARKINSON, D. Aspen and pine leaf litter decomposition in laboratory microcosms. I. linear versus exponential models of decay. *Can. J. Botany*, v. 66, p. 1960-1965, 1988.
- TIBAU, A.O. *Matéria orgânica do solo*. In: TIBAU, A.O. *Matéria orgânica e fertilidade do solo*. 3 ed. São Paulo: Nobel, 1986. p. 49-184.
- TORRES, J.L.R.; PREIRA, 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.
- TOURINO, M.C.C.; RESENDE, P.M. de.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.
- URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2000. 110p.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Dinâmica de N no solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE NITROGÊNIO EM PLANTAS, 1, 1990, Seropédica. Anais... Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1990. p. 181-243.
- YAMADA, T.; LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. IN: Siqueira, J. O. (eds.). *Inter-relações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. FertBio 98. Anais. Caxambu (MG), UFLA/DCS, 1999. p. 143-169.

ZOTARELLI, L. Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. RJ, 2000, 133p.

ZOTARELLI, L.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O.C.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA & ALVES, B.J.R. Limitação de nitrogênio na decomposição da matéria orgânica do solo de uma pastagem degradada de *Panicum maximum*. [abstract]. In: III-Sinrad. Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. Ouro Preto, MG, p. 118-124. 1997.

VARGAS, M.A.T.; MENDES, I. DE C.; CARVALHO, A.M. de; BURLE, M.L.; HUNGRIA, M. Inoculação de leguminosas e manejo de adubos verdes. In: SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. (Ed). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2002. p. 97-127.

VASCONCELOS, C.A. Importância da adubação na qualidade do milho e do sorgo. In: EUSTÁQUIO DE SÁ, M & BUZETTI, S., coord. SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO E QUALIDADE DOS PRODUTOS AGRÍCOLAS, 1., Ilha Solteira, 1989. Anais. Ilha Solteira, FEIS, 1989. p. 1-20.

VIEIRA, C. Efeito da adubação verde intercalar sobre o rendimento do milho. Escola Superior de Agricultura da Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, 1960. Tese de Doutorado.

WANG, K.H.; MCSORLEY, R.; GALLAHER, R.N. Effect of *Crotalaria juncea* amendment on nematode communities in soil with different agricultural histories. *Journal of Nematology*, Lakeland, v. 35, n. 3, p. 294-301, 2003.

WUTKE. E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE. E.B.; BULISANE, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. (Coord.). Curso sobre Documentos adubação verde no Instituto agrônomo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p.17-29. (, 35).