

**CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE COMO FONTE DE
NITROGÊNIO PARA AS CULTURAS DE MILHO E SORGO**

MARIA ANTONIETA ALFARO VILLATORO

2000

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE COMO FONTE DE
NITROGÊNIO PARA AS CULTURAS DE MILHO E SORGO**

MARIA ANTONIETA ALFARO VILLATORO

SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

SEGUNDO URQUIAGA CABALLERO

E CO-ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

BRUNO JOSÉ RODRIGUES ALVES

Tese submetida como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Agronomia, Área de
Concentração em Ciência do Solo.

SEROPÉDICA, RIO DE JANEIRO

FEVEREIRO DE 2000

TÍTULO DA TESE

**CONTRIBUIÇÃO DA ADUBAÇÃO VERDE COMO FONTE DE
NITROGÊNIO PARA AS CULTURAS DE MILHO E SORGO**

AUTORA

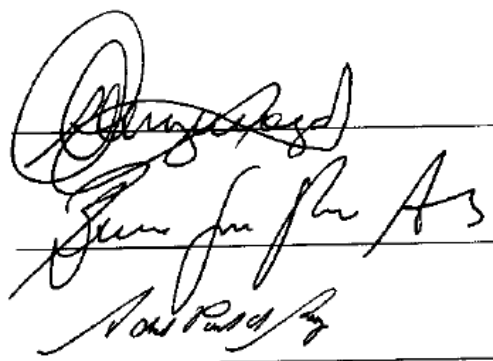
MARIA ANTONIETA ALFARO VILLATORO

APROVADA EM 25/02/2000

SEGUNDO URQUIAGA CABALLERO

BRUNO RODRIGUES ALVES

ADELSON PAULO ARAÚJO



The image shows three handwritten signatures in black ink, each written on a set of three horizontal lines. The top signature is a cursive name, likely 'Segundo Urquiaga Caballero'. The middle signature is 'Bruno Rodrigues Alves'. The bottom signature is 'Adelson Paulo Araújo'.

AGRADECIMENTOS

A CNPq pela bolsa de estudos concedida através do Convênio de Cooperação Internacional PEC-PG, para realizar meus estudos de Mestrado em Ciência do Solo.

Aos professores e amigos do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural de Rio de Janeiro.

Aos Professores Segundo Urquiaga Caballero e Bruno José Rodrigues Alves pela valiosa orientação e apoio para a realização do presente trabalho.

Ao Pessoal do Centro Experimental da EMBRAPA - Agrobiologia pela colaboração na condução dos experimentos realizados em campo e casa de vegetação.

Ao Pessoal de Laboratório de Solos da mesma instituição pela realização das análises de solos e plantas.

Às amigas e amigos pela amizade e apoio brindado durante minha permanência no Brasil.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. ASPECTOS GERAIS SOBRE O USO DOS ADUBOS VERDES	4
2.2. ADUBAÇÃO VERDE NA PRODUÇÃO DE MILHO	7
2.3. DECOMPOSIÇÃO DOS ADUBOS VERDES	9
2.4. FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO PELAS LEGUMINOSAS	11
2.5. MÉTODO DA ABUNDÂNCIA NATURAL DE ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$) NA QUANTIFICAÇÃO DA FBN	13
2.6. TÉCNICAS PARA CONHECER O VALOR FERTILIZANTE DOS ADUBOS VERDES NA NUTRIÇÃO DAS CULTURAS	16
3. CAPÍTULO I.....	18
AVALIAÇÃO DE CROTALÁRIA (<i>CROTALARIA JUNCEA</i> L.), MUCUNA CINZA (<i>MUCUNA</i> SP.) E SOJA (<i>GLYCINE MAX</i> (L.) MERR.) COMO ADUBO VERDE PARA A CULTURA DO MILHO	18
3.1. Introdução.....	18
3.2. Materiais e Métodos.....	20

3.2.1. Clima e solo da área experimental.....	20
3.2.2. Estabelecimento e manejo das leguminosas utilizadas como adubo verde.....	22
3.2.3. Estabelecimento e manejo da cultura de milho	26
3.3. Resultados e Discussão	28
3.3.1. Observações preliminares ao plantio das leguminosas	28
3.3.2. Desenvolvimento das espécies de leguminosas empregadas como adubo verde.....	30
3.3.3. Fixação Biológica de Nitrogênio	44
3.3.4. Resíduos das leguminosas adicionadas ao solo como adubos verdes	54
3.3.5. Cultura de milho	58
3.4. Conclusões	60
4. CAPITULO II.....	61
CONTRIBUIÇÃO DE NITROGÊNIO PROVENIENTE DAS PARTES AÉREAS E SUBTERRÂNEAS DO FEIJÃO DE PORCO (<i>CANAVALIA ENSIFORMIS</i> (L.) DC.), E DA MUCUNA CINZA (<i>MUCUNA</i> SP.) NA NUTRIÇÃO DE SORGO (<i>SORGHUM BICOLOR</i> (L.) MOENCH), UTILIZANDO A TÉCNICA DE MARCAÇÃO FOLIAR COM ¹⁵N.....	61
4.1. Introdução.....	61
4.2. Materiais e Métodos.....	64
4.2.1. Marcação das leguminosas com ¹⁵ N e quantificação de raízes remanescentes no solo	64
4.2.2. Contribuição de N das leguminosas para a cultura de sorgo	68
4.3. Resultados e discussão.....	70
4.3.1. Marcação foliar das leguminosas com ¹⁵ N	70
4.3.2. Quantificação de N das raízes remanescentes no solo	79
4.3.3. Contribuição de N das leguminosas para a cultura de sorgo	82
4.4. Conclusões	87
5. CONCLUSÕES GERAIS	88
6. BIBLIOGRAFIA	89
7. APÊNDICE.....	103

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Características químicas do solo (0-20 cm) na área experimental antes do plantio da cultura de aveia preta.....	28
Tabela 2: Produção de biomassa de aveia preta e características químicas dos resíduos.....	29
Tabela 3: Matéria seca, teor de nitrogênio e N total obtido nas diferentes datas de coleta das leguminosas.....	33
Tabela 4: Valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ nas plantas de referência em diferentes datas de amostragem.	44
Tabela 5: Características dos resíduos dos adubos verdes aplicados ao solo antes do plantio de milho.....	54
Tabela 6: Características dos resíduos dos adubos verdes a 55 dias após aplicação no solo.	57

Tabela 7: Produção de matéria seca, teor de nitrogênio e nitrogênio total acumulado pela cultura de milho, sob diferentes tratamentos com adubação verde.....	58
Tabela 8: Acumulação de matéria seca e nitrogênio total por feijão de porco e mucuna cinza.	71
Tabela 9: Teor de nitrogênio e enriquecimento de ^{15}N em diferentes partes vegetativas de feijão de porco e mucuna cinza.....	75
Tabela 10: Recuperação de N-fertilizante pelas diferentes partes vegetativas de feijão de porco e mucuna cinza.....	78
Tabela 11: Nitrogênio total e enriquecimento de ^{15}N no solo dos vasos utilizados na estimativa das partes subterrâneas das leguminosas.	80
Tabela 12: Nitrogênio total do material vegetativo colhido e das raízes remanescentes estimadas através da técnica de marcação com ^{15}N	81
Tabela 13: Características dos resíduos de leguminosas utilizados no estudo da eficiência como fontes de N para o sorgo.....	83
Tabela 14: Acumulação de matéria seca e de nitrogênio pela cultura de sorgo como efeito da aplicação dos resíduos das leguminosas em estudo.	84
Tabela 15: Estimativa do N derivado dos resíduos de leguminosas (N _{ddleg}) e eficiência de recuperação do N pelas plantas de sorgo.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitação pluvial e temperatura média mensal na área experimental durante os meses de duração do experimento.....	21
Figura 2. Produção de matéria seca de parte aérea e modelo de crescimento das leguminosas.....	31
Figura 3: Acumulação de nitrogênio pela planta inteira de três espécies de leguminosas durante seu crescimento.....	37
Figura 4: Altura de plantas de três espécies de leguminosas nos primeiros 49 dias após plantio.....	39
Figura 5: Relação entre altura de planta e quantidade de nitrogênio acumulada pela crotalária.....	40
Figura 6: Relação entre altura de planta e quantidade de nitrogênio acumulada pela mucuna cinza.....	40

Figura 7: Cobertura vegetal do solo por três espécies de leguminosas até 42 dias após o plantio	42
Figura 8: Contribuição da fixação biológica de nitrogênio em crotalária, estimada através de cinco diferentes plantas de referência.....	47
Figura 9: Contribuição da fixação biológica de nitrogênio em mucuna cinza, estimada através de cinco diferentes plantas de referência.	48
Figura 10: Contribuição da fixação biológica de nitrogênio em soja, estimada com cinco diferentes plantas de referência.....	49
Figura 11: Quantidade de nitrogênio fixado pela crotalária, estimado com cinco plantas de referência.....	51
Figura 12: Quantidade de nitrogênio fixado pela mucuna cinza, estimado com cinco plantas de referência.....	52
Figura 13: Quantidade de nitrogênio fixado pela soja, estimado com cinco plantas de referência.....	53
Figura 14: Proporção de matéria seca produzida pelas partes vegetativas de feijão de porco e mucuna cinza.....	72
Figura 15: Enriquecimento médio de ^{15}N nas partes vegetativas de feijão de porco e mucuna cinza.....	77
Figura 16: Quantidade de N-acumulado nas partes do feijão de porco e mucuna cinza e distribuição percentual do N acumulado.....	82

RESUMO

Foi conduzido um experimento sob condições de campo, com o objetivo de avaliar a contribuição de N de três espécies de leguminosas usadas como adubo verde e da vegetação natural sobre o rendimento de milho (*Zea mayz*, L.) Os tratamentos consistiram da adição à superfície do solo dos seguintes adubos verdes: crotalária (*Crotalaria juncea* L.), mucuna cinza (*Mucuna* sp.), soja (*Glycine max* (L) Merr.), e vegetação natural composta principalmente de gramíneas de porte baixo, mantidos sobre a superfície do solo, assim como a incorporação ao solo de crotalária (*C. juncea* L.) e da vegetação natural. Estudou-se o ciclo de crescimento das leguminosas e sua capacidade de fornecimento de nitrogênio obtido através do processo de fixação biológica através da técnica de abundância natural de ^{15}N . Nas condições do experimento, a crotalária e a mucuna cinza chegaram a acumular até 95 kg ha^{-1} de N, enquanto que a soja, devido a seu pobre desenvolvimento, não contribuiu significativamente com N no sistema adubo verde – milho. O milho, que teve pobre crescimento, não respondeu significativamente à adição de N na forma de adubo verde e fertilizante químico, mas sugere-se que os adubos verdes podem melhorar as condições do solo e ocasionar aumentos no rendimento a longo prazo.

Em um outro experimento, realizado em casa de vegetação, avaliou-se a contribuição de N das partes aéreas e subterrâneas da mucuna cinza (*Mucuna* sp.) e de feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), como fonte de N para plantas de sorgo (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench). Utilizou-se a técnica de marcação foliar com uma solução de uréia enriquecida com ^{15}N para quantificar o N contido nas partes subterrâneas e a contribuição destas na nutrição das plantas de sorgo. A marcação foliar das leguminosas com ^{15}N , produziu, no caso da mucuna cinza, uma maior uniformidade da marcação com o isótopo dentro da planta, mas em ambas as espécies de leguminosa, a técnica mostrou-se adequada para medir a contribuição de N proveniente das raízes finas e dos exsudados radiculares que ficaram no solo após o peneiramento do mesmo para a separação do sistema radicular.

A contribuição de nitrogênio das partes aéreas e subterrâneas das leguminosas para as plantas de sorgo foi avaliada utilizando material vegetativo marcado com ^{15}N , encontrando-se diferenças significativas entre as partes avaliadas. A adição de partes aéreas ou subterrâneas das espécies de leguminosas em estudo, produziram um efeito negativo no desenvolvimento das plantas de sorgo, sugerindo forte imobilização inicial de N do solo, diminuindo a disponibilidade de N para as plantas, mas demonstrou-se que as raízes das leguminosas incluindo os nódulos chegaram a liberar até 40 % do nitrogênio nelas contido. Este fato mostrou a importância de obter uma estimativa da contribuição dos sistemas radiculares nos estudos de transferência de nitrogênio para culturas subsequentes, tanto em experimentos que envolvem o uso de adubos verdes quanto nos que avaliam diferentes sistemas de rotação de culturas.

SUMMARY

A field experiment was carried out to assess the N-contribution from three legume species used as green manure and from natural vegetation on maize (*Zea mays*, L.) yield. Treatments were vegetative parts of crotalária (*Crotalaria juncea* L.), mucuna cinza (*Mucuna* sp.), soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), and weed plants, added to the soil as mulch, and crotalária and weed plants plowed into the soil. Legumes' growth cycle and N supply capacity obtained through nitrogen fixation process, were evaluated. In field conditions, crotalária and mucuna contributed up to 95 kg N ha⁻¹, meanwhile soybean, due to its poor development, did not bring a significant N amount in the green manure-maize system. The maize crop did not respond significantly to N addition as green manure or chemical fertilizer, but it is suggested that legumes could improve soil condition to obtain better yield responses in the long term.

In other experiment, conducted at greenhouse, the contribution of aerial and subterranean parts of mucuna cinza (*Mucuna* sp.) and feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), as N source to sorghum (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench) plants was evaluated. A feeding foliar technique using ureia-¹⁵N labeled solution was used in order to quantify N contribution from subterranean parts. As a result, mucuna cinza showed a more uniform isotopic enrichment into the plant, but the technique showed to be appropriate to quantify N derived from those roots that remain in soil after sift the soil to separate root system.

Nitrogen contribution from aerial and subterranean parts to sorghum plants was evaluated using ¹⁵N labeled vegetative material, finding out significant differences among the different plant parts evaluated. Aerial or subterranean plant parts caused negative effect on sorghum plants growth suggesting N immobilization, but it was demonstrate that legume roots including nodules released up to 40 % of N from these plant parts. This fact showed the importance to obtain an estimate of root systems to N contribution in transfer studies to subsequent cultures, as much on experiments involving green manure as on that, involving different crop rotation.

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um elemento essencial na nutrição das plantas mas, freqüentemente, sua disponibilidade está limitada por uma série de processos bioquímicos em que participa no solo. O suprimento complementar ao solo deste elemento, na produção de culturas, realiza-se através da adição de fertilizantes ou pela incorporação do N₂ atmosférico derivado da fixação biológica que ocorre nas leguminosas. O uso de fertilizantes químicos, além de incrementar os custos na produção, pode conduzir a desbalanço no delicado ciclo do N, podendo provocar conseqüências ao meio ambiente (SANCHEZ et al, 1989). Entretanto, no solo, a incorporação de nitrogênio através de leguminosas, seja pelo manejo de resíduos de culturas em rotação ou pela prática da adubação verde, resulta em uma opção mais atraente, tanto do ponto de vista econômico quanto da manutenção da qualidade ambiental, especialmente para os pequenos agricultores, em solos com severas limitações de fertilidade e que precisam ser melhorados através da incorporação de matéria orgânica.

O uso de adubos verdes na produção das culturas tem sido praticado desde tempos muitos antigos, e já foi recomendado desde o início deste século no Brasil (MIYASAKA, et al., 1983) Mas, depois de um período no qual o uso de fertilizantes químicos teve grande auge, surge novamente o interesse, tanto dos cientistas quanto dos produtores agrícolas, pelo uso destas fontes naturais de nitrogênio visando o barateamento da produção e a preservação do meio ambiente. Como consequência, vários estudos vêm sendo realizados no sentido de avaliar os efeitos da adubação verde sobre o rendimento das culturas, e também para incrementar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio nas espécies de leguminosas empregadas com esse fim e assim, obter os maiores benefícios desta prática (CALEGARI et al, 1992).

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a contribuição da crotalária (*Crotalaria juncea* L.), mucuna cinza (*Mucuna* sp.) e soja (*Glycine max* (L.) Merr.) usadas como adubo verde, como fonte de nitrogênio para a cultura de milho (*Zea milho*, L.) e avaliar a contribuição das partes aérea e subterrânea de mucuna cinza (*Mucuna* sp.) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L) DC.) na nutrição nitrogenada do sorgo (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench).

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a contribuição de N das leguminosas, proveniente do processo de fixação biológica de nitrogênio, no sistema solo-planta.
- Determinar o efeito da adubação verde sobre o rendimento de milho em duas diferentes condições de preparo do solo.

- Obter uma estimativa do N radicular das leguminosas proveniente de raízes finas e exsudados radiculares, dificilmente quantificada pelas técnicas convencionais de quantificação de raízes.
- Avaliar a contribuição de N da parte aérea das leguminosas e de seu sistema radicular (incluindo o N remanescente no solo) para a cultura de sorgo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais sobre o uso dos adubos verdes

A adubação verde é definida como o uso de material verde de plantas produzidas *in situ* ou transportadas de outros lugares para sua incorporação no solo com o propósito de melhorar a produtividade das culturas (MEELU et al., 1994). Num sentido mais amplo, a adubação verde abrange o uso de plantas em rotação, sucessão ou consorciação com outras culturas, incorporando-as ao solo ou deixando-as sobre a superfície, com a finalidade de proteger, manter ou melhorar as características do solo (CALEGARI et al., 1992).

As espécies mais utilizadas como adubos verdes pertencem à família das leguminosas, embora também possam ser utilizadas outras plantas de crescimento rápido pertencentes às famílias das gramíneas, crucíferas e outras, empregadas basicamente como fonte de matéria orgânica (MIYASAKA et al., 1984; ALVAREZ et al., 1995).

É desejável que as plantas a serem usadas como adubo verde apresentem elevada taxa de crescimento, rápida acumulação de biomassa, habilidade para competir com plantas daninhas, resistência às doenças e ao ataque de insetos, facilidade de incorporação ao solo e uma boa eficiência na liberação dos nutrientes para a cultura subsequente (ALLISON, 1973; KIEHL, 1985; MONEGAT, 1991). Muitos destes fatores referentes à planta dependem das características intrínsecas da espécie e de sua adaptabilidade às condições de solo, clima e ubiquidade geográfica, assim como do manejo agrônômico (CALEGARI et al., 1992).

Vários autores (MIYASAKA et al., 1984; PRIMAVESI, 1988; CALEGARI et al., 1992) reconhecem que a utilização de adubos verdes tem um marcado efeito sobre as condições físicas, químicas e biológicas do solo. As condições físicas do solo são melhoradas como resultado da adição da matéria orgânica e do efeito mecânico das raízes. A adição da matéria orgânica favorece a formação de agregados mais estáveis no solo, com o qual aumenta-se a porosidade e melhora-se a capacidade de retenção e movimento da água dentro do solo (DERPSCH & CALEGARI, 1985; ALVES et al., 1997). No entanto, o melhoramento das propriedades físicas do solo com a adubação verde é pouco visível no curto prazo, porque a rápida decomposição do material adicionado não produz um aumento considerável na acumulação da matéria orgânica (ALLISON, 1973; MacRAE & MEHUYS, 1985). O que é mais evidente no curto prazo, é o efeito da cobertura sobre a proteção de solo e conservação da umidade. A cobertura vegetal diminui o efeito erosivo da chuva e o escoamento superficial e, devido ao sombreamento do solo, exerce um efeito regulador da temperatura, diminuindo as perdas da água por evaporação (KHIEL, 1985; DERPSCH et al., 1991).

A influência dos adubos verdes sobre as propriedades químicas do solo é refletida no melhoramento da fertilidade do solo através do incremento na capacidade da reciclagem dos nutrientes, incorporação de nitrogênio fixado, quando se trata de leguminosas, e vários outros efeitos derivados da adição da matéria orgânica (CALEGARI et al., 1992). Em um experimento desenvolvido por ARAÚJO & ALMEIDA (1993) para avaliar o efeito da adubação verde e a fertilização fosfatada na cultura de milho, os autores observaram aumento do K disponível no solo com a incorporação de feijão de porco. WADE & SÁNCHEZ (1983) observaram uma diminuição da acidez do solo e do alumínio trocável, assim como incrementos no fósforo disponível e cálcio e magnésio trocáveis, com a utilização de kudzu (*Pueraria phaseoloides*) como adubo verde. LUPWAYI & HAQUE (1998), em estudos de incubação em laboratório, reportaram aumentos significativos no nitrogênio, potássio e magnésio disponíveis no solo a partir da incorporação de folhas de *Sesbania* e *Leucaena*; no entanto, mencionam que quantidades adicionais de N, P e Ca seriam necessárias se estas folhas fossem utilizadas como única fonte de nutrientes para as culturas. Outros autores (FRANKENBERGER & ABDELMAGID, 1985) reconhecem também a importância do efeito solubilizante dos exsudados radiculares na mobilização dos nutrientes e na síntese de bio-reguladores (hormônios e vitaminas), que podem influenciar o desenvolvimento de outras culturas.

Além dos efeitos antes mencionados, a cobertura vegetal produz uma modificação sobre as características biológicas do solo, pois estimula o crescimento e atividade dos organismos do solo necessários para a transformação e liberação de nutrientes (KIRCHNER et al., 1993; FILSER, 1995). A mudança que se produz na estrutura populacional da fauna pode ser útil no controle de fungos patogênicos que afetam as raízes

das culturas (ALLISON, 1973) e no controle de nematóides formadores de galhas (MIYASAKA et al., 1984). Têm-se observado que algumas leguminosas induzem a uma redução no número de organismos patogênicos (REDDY et al., 1986; SHARMA et al., 1984), enquanto que em outros casos, o incrementam. Nestes últimos, o incremento no vigor das culturas, como resultado da maior disponibilidade de nutrientes, faz com que o nível de infestação não produza danos econômicos importantes (GARCÍA ESPINOZA et al., 1994). Uma outra situação favorável do uso de adubos verdes é a modificação na composição botânica. Algumas plantas, principalmente leguminosas, apresentam efeitos alelopáticos ou de sombreamento sobre outras espécies, sendo usadas no controle de plantas daninhas (LORENZI, 1984; CALEGARI et al., 1992).

Apesar destes benefícios mencionados, a utilização de adubos verdes pelos agricultores está sujeita à prevalência de vários aspectos relacionados ao uso da terra e da rentabilidade (SUBBA RAO, 1993; SOULE, 1997). Em alguns casos, os agricultores preferem ocupar a terra para a produção de uma cultura econômica e em outros, o incremento no rendimento das culturas não é tão significativo como o obtido com a aplicação de fertilizantes químicos. Em ambos os casos, os benefícios ecológicos que se obtêm com a adubação verde não são um fator determinante para a adoção da prática pelos agricultores (SOULE, 1997).

2.2. Adubação verde na produção de milho

Na cultura do milho, a utilização de leguminosas com o propósito de substituir a fertilização química de N tem permitido a obtenção de rendimentos de grãos comparáveis

ou, às vezes, até superiores ao uso de fertilizante nitrogenado (MIYASAKA et al., 1983; BARRETO et al., 1992; ARAUJO & ALMEIDA, 1993; SANGINGA et al., 1996; GORDON et al., 1997).

Diferentes sistemas de manejo dos adubos verdes têm sido testados para encontrar maiores benefícios na produção de milho. Assim, eles podem ser cultivados nas entressafras das culturas econômicas ou em consorciação com elas, serem manejados segundo diferentes sistemas de lavoura (plantio direto ou convencional), utilizados como única fonte de nutrientes, em combinação com fertilizantes químicos, ou ainda, serem manejados com diferentes práticas agrônômicas (BARRETO et al., 1991; HORTS & HÄRDTER, 1994; LUNA-OREA & WAGGER, 1996; REEVES et al., 1997; GULDAN et al., 1997; NAVES SILVA et al., 1997). Por exemplo, DE POLLI & CHADA (1989) encontraram uma resposta até quatro vezes maior na produção de milho com o uso de leguminosas, em relação ao tratamento sem adubo verde nem fertilizante mineral. Os autores obtiveram maiores rendimentos de milho quando os adubos verdes foram incorporados no solo do que quando foram deixados como cobertura. 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 no solo da parte aérea em comparação à aplicação em cobertura, e reportaram que o efeito fertilizante da mucuna teria sido equivalente a 74 kg ha^{-1} de N-uréia. 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 de feijão de porco foi equivalente à aplicação de 80 Kg ha^{-1} de N, na forma de uréia.

Resultados apresentados por MacCOLL (1990) indicam que, em alguns casos, a resposta do milho aos diferentes adubos verdes só é notória a partir do segundo ou terceiro ano após sua aplicação. O mesmo autor menciona que a natureza dos materiais, o acondicionamento do solo após o desenvolvimento das leguminosas e os efeitos climáticos podem influenciar os diferentes padrões de decomposição dos resíduos e portanto, determinar a disponibilidade dos nutrientes para a produção de milho.

2.3. Decomposição dos adubos verdes

A velocidade de decomposição dos resíduos e a quantidade de nutrientes liberados pelos adubos verdes está influenciada pelas condições climáticas, principalmente temperatura e umidade (LYNCH, 1986), pelas propriedades biológicas e químicas do solo sobre o qual os materiais são depositados (SÁNCHEZ et al., 1989), e pela quantidade e qualidade dos resíduos (MÜLLER et al., 1988; OGLESBY & FOWNES, 1992).

No que se refere à quantidade de biomassa aplicada ao solo, MEELU et al. (1994) apresentaram dados de rendimentos de biomassa de leguminosas usadas como adubo verde, que variam de acordo com a idade do corte e a região onde são cultivadas. Na Índia, por exemplo, MEELU et al. (1994) citaram rendimentos de crotalária encontrados por vários autores, que oscilaram entre $4,6$ e $6,2 \text{ t ha}^{-1}$ aos 60 dias de crescimento. No sul do Brasil, CALEGARI et al. (1992) apresentaram resultados de $9,9$ a 24 t ha^{-1} de matéria seca de crotalária juncea e de $6,2$ a 12 t ha^{-1} de mucuna cinza quando cortadas em plena floração,

que ocorre entre 110 e 140 dias na crotalária e entre 140 e 170 dias na mucuna cinza. MONDARDO et al. (1981) e VITTI et al. (1992) têm reportado também altos rendimentos destas leguminosas, que foram maiores quando as leguminosas foram plantadas em novembro e cortadas na floração.

As diferenças no acúmulo da biomassa encontradas nestas leguminosas pelos autores mencionados, refletem o efeito do manejo e dos diferentes fatores ambientais, principalmente condições de umidade e de fotoperíodo, aos quais as leguminosas são muito sensíveis (CALEGARI et al., 1992).

A qualidade dos adubos verdes está relacionada à composição química do material vegetal. O conteúdo de N, celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis, assim como as relações C:N, hemicelulose:N, lignina:N, polifenóis:N e (lignina+polifenol):N dos materiais adicionados ao solo, são características químicas que exercem grande influência sobre as taxas de decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos no solo (VALLIS & JONES, 1973; FRANKENBERGER & ABDELMAGID, 1985; FOX et al., 1990; PALM & SÁNCHEZ, 1991; OGLESBY & FOWNES, 1992; CONSTANTINIDES & FOWNES, 1994; LUPWAYI & HAQUE, 1998).

O teor de nitrogênio do material vegetal é uma das características mais fortemente relacionadas ao potencial do adubo verde em fornecer nitrogênio para o solo (FRANKENBERGER & ABDELMAGID, 1985; CONSTANTINIDES & FOWNES, 1994), mas pode ser afetado negativamente, no curto prazo, se os materiais apresentam alta concentração de polifenóis (VALLIS & JONES, 1973).

Leguminosas com alto conteúdo de polifenóis, alta relação polifenol:N (PALM & SÁNCHEZ, 1991; OGLESBY & FOWNES, 1992) e alta relação (lignina+polifenol):N

(FOX et al., 1990; CONSTANTINIDES & FOWNES, 1994) sofrem uma lenta mineralização e não constituem fontes de N facilmente disponíveis. TIANG et al. (1993) mencionam que baixos conteúdos de lignina e polifenóis e baixa relação C:N nos resíduos os qualificam como apropriados para adubação verde devido ao pronto fornecimento de nutrientes. No entanto, aqueles resíduos de difícil decomposição, que apresentam valores altos desses parâmetros, favorecem a formação de húmus, que contribui para melhorar outras propriedades do solo, como sua capacidade de retenção de umidade, agregação e liberação lenta de nutrientes, constituindo uma reserva para as culturas subseqüentes.

Pelo fato dos adubos verdes apresentarem diferentes padrões de mineralização (PALM & SÁNCHEZ, 1991; LUPWAYI & HAQUE, 1998), um importante fator de manejo para lograr uma melhor sincronia entre liberação de nitrogênio e requerimento da cultura é o tempo entre o corte da leguminosa e o plantio da cultura seguinte (SMYTH et al., 1991). Por outro lado, o manejo baseado no conhecimento de tais padrões de mineralização, permite utilizar uma mistura de materiais de rápida e lenta decomposição que favoreçam o uso mais eficiente do nitrogênio pela cultura, já que este elemento é facilmente eliminado do sistema através de processos como lixiviação, volatilização e desnitrificação (DATE, 1973).

2.4. Fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas

Uma das razões pelas quais as leguminosas são preferidas sobre outras espécies para serem usadas como adubo verde provém de sua capacidade de incorporar ao solo altas quantidades de nitrogênio obtidas através da simbiose leguminosa-rizóbio. A fixação de

nitrogênio é um processo complexo que requer a presença da enzima nitrogenase e de energia para reduzir a molécula de N_2 . Os eventos que precedem a formação dos nódulos, assim como a ocorrência do processo, são amplamente descritos por ARAUJO & HUNGRIA, (1994).

Estimativas globais da fixação biológica de nitrogênio (FBN) variam entre 200 a 500 milhões de $Mg\text{ ano}^{-1}$ de N (DATE, 1973). Nos sistemas agrícolas, as leguminosas podem adicionar entre 30 e 250 $kg\text{ ha}^{-1}$ de N, mas é difícil prever os aportes de N provenientes da FBN, já que esta variará segundo a espécie de leguminosa, efetividade da simbiose rizóbio-planta, condições ambientais, fertilidade do solo e manejo (HENZELL & VALLIS, 1977). Dependendo destes fatores, calcula-se que a proporção de N_2 fixado pode atingir até 80 % do N adquirido pelas plantas (HEICHEL & BARNES, 1984), e é provável que estes valores sejam mais altos em solos deficientes em N e mais baixos em solos ricos ou sob grandes quantidades de fertilizante nitrogenado (HENZELL & VALLIS, 1977).

Devido à importância da FBN na ciclagem do nitrogênio nos ecossistemas da biosfera, diferentes metodologias têm sido desenvolvidas para quantificar o processo (PEOPLES et al., 1989). Entre elas destacam-se: o método baseado na diferença no N acumulado entre plantas fixadoras e não fixadoras (URQUIAGA & BODDEY, 1987), a técnica de redução do acetileno (HARDY et al., 1968), a determinação da abundância relativa de ureídeos na seiva das plantas (HERRIDGE et al, 1988), e as técnicas baseadas na composição isotópica $^{15}N:^{14}N$ de plantas fixadoras e não fixadoras, seja pela adição ao solo de fontes enriquecidas com ^{15}N (CHALK, 1985) ou através das diferenças na abundância natural deste isótopo (KOHL et al., 1980; BERGERSEN & TURNER, 1983).

As técnicas isotópicas permitem obter valores integrados do N fixado durante todo um ciclo de crescimento das plantas, e são as ferramentas mais confiáveis nos estudos de ciclagem e transferência de nitrogênio (PEOPLES et al., 1989; BAREA, 1991). No entanto, as técnicas que utilizam fertilizantes enriquecidos com ^{15}N apresentam limitações devido às interações do nitrogênio adicionado com o nitrogênio nativo do solo, que afetam a estabilidade de uma marcação uniforme do N disponível do solo (JENKINSON et al., 1985; AZAM et al., 1991; 1993), e ao custo do material enriquecido com ^{15}N (HØGH-JENSEN & SCHJOERRING, 1994). A técnica da abundância natural de ^{15}N não apresenta estas limitações, e é muitas vezes mais adequada para medir a fixação de nitrogênio em sistemas estabelecidos em que a aplicação ^{15}N -fertilizante ocasionaria distúrbios no sistema (HØGH-JENSEN & SCHJOERRING, 1994; ERICKSEN & HØGH-JENSEN, 1998).

2.5. Método da abundância natural de ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$) na quantificação da FBN

O fundamento deste método está no fato de que a maioria dos processos ou transformações do N no solo apresentam discriminação isotópica, ocasionando um leve enriquecimento em ^{15}N no N do solo em comparação ao N_2 da atmosfera (KOHL & SHEARER, 1980; HØGH JENSEN & SCHJOERRING, 1994). A existência desta diferença na relação $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ entre o N do solo e da atmosfera, que constituem as fontes deste nutriente para as plantas, permite avaliar se as plantas obtiveram seu nitrogênio exclusivamente do N do solo ou se houve alguma contribuição da FBN. As plantas não fixadoras de N apresentam uma composição isotópica $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ maior do que aquelas que

fixam nitrogênio, pois nestas últimas ocorre uma diluição isotópica do ^{15}N devido à incorporação do N_2 atmosférico ($\delta^{15}\text{N}$ do ar = 0) (AMARGER et al., 1979).

A abundância natural de ^{15}N é expressa em unidades $\delta^{15}\text{N}$ (delta), sendo resultado da relação entre a diferença na abundância natural de ^{15}N de uma amostra e o padrão, e a milésima parte da abundância natural deste padrão (‰). Por convenção, considera-se a abundância natural do N_2 atmosférico como padrão para a técnica, que apresenta 0,3663 % de átomos de ^{15}N (BOLGER et al., 1995).

Para a adequada aplicação da técnica da abundância natural de ^{15}N , é importante que exista uma diferença mensurável entre o valor de $\delta^{15}\text{N}$ das duas fontes principais de N para as plantas fixadoras, solo e atmosfera (KOHL et al., 1980). KOHL & SHEARER (1980) cionaram que tais diferencias geralmente varia entre 5 a 10‰. Sendo assim, a precisão da técnica dependerá da precisão do espectrômetro de massa que determina o enriquecimento de ^{15}N das amostras (SHEARER et al., 1974; PEOPLES et al., 1989), e quanto maior o valor da abundância isotópica encontrada na planta de referência em comparação à fixadora melhor será a precisão da estimativa (DOMENACH & CORMAN, 1984; BOLGER et al., 1995).

Vários pesquisadores (SHEARER & KOHL, 1988; PEOPLES et al., 1989) concordam que a importância não está só na diferença entre a abundância de ^{15}N das fontes de N para as plantas, senão também no grau no qual o enriquecimento de ^{15}N é afetado pela discriminação isotópica que ocorre durante os processos da FBN, assimilação e transporte do N dentro da planta. Por esta razão, ao fazer a estimativa da fixação biológica de nitrogênio, deve-se considerar a medida deste efeito sobre o N absorvido da atmosfera. Esta

é obtida fazendo-se crescer as plantas fixadoras em meio hidropônico livre de N, as quais dependerão exclusivamente do N fixado do ar. A discriminação isotópica associada aos processos de absorção do N do solo é corrigida utilizando plantas de referência, assumindo que elas sofrerão os mesmos processos de discriminação que a planta fixadora (SHEARER & KOHL, 1988).

A técnica da abundância natural de ^{15}N , da mesma forma que as técnicas que utilizam materiais enriquecidos em ^{15}N , depende do uso apropriado da planta de referência para avaliar a disponibilidade de N do solo (LEDGARD et al., 1985; PEOPLES et al., 1989). As plantas de referência não devem fixar nitrogênio, devem apresentar padrões de enraizamento e de absorção de nitrogênio similares aos da planta fixadora e, crescendo associadas durante o período da avaliação, não deve ocorrer transferência do N fixado da leguminosa para a planta de referência (LEDGARD et al., 1985).

A premissa da técnica é que o N absorvido pelas plantas fixadoras e não fixadoras, a partir de uma determinada fonte, deve apresentar a mesma relação isotópica $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$, não importando a quantidade de N absorvido, que certamente irá variar entre espécies (WITTY, 1983).

PEOPLES et al. (1989) mencionam que a seleção da planta referência é menos importante quando se utiliza a técnica da abundância natural de ^{15}N , devido à relativa uniformidade na distribuição do isótopo no perfil do solo, o que não ocorre ao aplicar-se fertilizantes enriquecidos com ^{15}N . DANSO (1991) menciona que as diferenças na densidade das raízes e distribuição do isótopo na profundidade, têm pouca importância com a técnica de abundância natural devido a que a maioria do nitrogênio inorgânico do solo

está localizado nos primeiros 20 cm de profundidade, de onde as plantas absorvem os nutrientes em maior proporção.

2.6. Técnicas para conhecer o valor fertilizante dos adubos verdes na nutrição das culturas

A forma mais simples de medir o efeito fertilizante dos adubos verdes consiste em estimar as diferenças entre parcelas que tenham recebido o material vegetal e parcelas testemunhas, onde tenha-se aplicado ou não, alguma outra fonte de N fertilizante (RAO et al., 1991).

Técnicas mais sofisticadas utilizam fertilizantes enriquecidos com ^{15}N para medir o fornecimento de nitrogênio em forma indireta, seguindo o princípio de diluição isotópica de ^{15}N ou do valor A (BAREA, 1991), ou de forma direta através da prévia marcação dos tecidos vegetais das plantas a serem avaliadas (RUSSELL & FILLERY, 1996b; GLASNER et al., 1998).

O enriquecimento dos tecidos das leguminosas com ^{15}N é adequado para realizar estudos de mineralização do N, determinar a transferência do N em culturas consorciadas ou subseqüentes e realizar estudos da reciclagem deste elemento (GILLER et al., 1991; JENSEN, 1996; RUSSELL & FILLERY, 1996 a; CHALK & SMITH, 1997).

A marcação da planta com ^{15}N , também é apropriada para se conhecer melhor o valor fertilizante das leguminosas, uma vez que permite determinar a quantidade de N das partes subterrâneas e dos depósitos radiculares na nutrição das culturas (JENSEN, 1996; RUSSELL & FILLERY, 1996a,b), o que é normalmente subestimado pelas técnicas convencionais devido às dificuldades na recuperação de raízes finas, mortas e exsudados radiculares

(McNEILL et al., 1997). Também permite estudar a taxa de decomposição das raízes em condições mais reais, já que elimina qualquer influência sobre a atividade biológica do solo ao evitar a perturbação durante a separação e secagem das raízes (MARTIN, 1989).

As técnicas de marcação vegetal *in situ* baseiam-se em suposições acerca da uniformidade na distribuição do marcador isotópico dentro do sistema vegetal (JANZEN & BRUINSMA, 1989; McNEILL et al., 1997). Os procedimentos mais utilizados consistem em aplicações foliares de Uréia- ^{15}N (GLASENER et al., 1998), a imersão das folhas em soluções de ^{15}N (PALTA et al., 1991), enriquecimento com gás amônia (JANZEN & BRUINSMA, 1989), aplicações no caule usando um fio de algodão para conduzir soluções dentro do sistema vascular das plantas (RUSSELL & FILLERY, 1996b), e marcação através de raízes separadas (JENSEN, 1996). Em alguns estudos, tem-se encontrado diferenças no enriquecimento de ^{15}N nas diferentes partes das plantas (RUSELL & FILLERY, 1996b), cuja magnitude varia segundo a técnica utilizada (GLASENER et al., 1998).

3. CAPITULO I

Avaliação de crotalária (*Crotalaria juncea* L.), mucuna cinza (*Mucuna* sp.) e soja (*Glycine max* (L.) Merr.) como adubo verde para a cultura do milho

3.1. Introdução

O milho (*Zea mays*, L.) é uma das culturas de maior relevância econômica no Brasil. É cultivado em um área aproximada de 14 milhões de ha, com uma produção anual que supera 33 milhões de toneladas. Os rendimentos médios do grão situam-se em torno de 2500 kg ha⁻¹, mas estes variam segundo as diferentes regiões do país (IBGE, 1997). Nas regiões Norte e Nordeste, devido às limitações de clima e solo, os rendimentos estão abaixo dessa média nacional, enquanto que nos estados do Sul, Sudeste e Centro-Oeste, os

rendimentos desta cultura chegam a alcançar mais do que 6.000 kg ha⁻¹ de grãos (FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 1997).

Nos últimos anos a área dedicada à cultura de milho tem mostrado pouca tendência ao crescimento (IBGE, 1997), devido à baixa rentabilidade da cultura. ANCHIETA MONTEIRO (1990) menciona que, aproximadamente 53 % da produção nacional de milho provém de pequenas lavouras (menores que 10 ha), onde as limitações naturais, econômicas e culturais dos agricultores determinam um tipo de agricultura de subsistência, com baixo nível tecnológico e baixos rendimentos da cultura. Tal fato faz com que a média nacional se situe em níveis tão baixos.

Uma das maiores limitações para incrementar tais rendimentos, refere-se ao uso dos fertilizantes. Tanto no plantio direto quanto no convencional, a dose de fertilizante necessária para alcançar uma produção média de grão de 3.500 kg ha⁻¹ chega a constituir cerca de 40 % dos custos totais da produção (FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 1997). Talvez esta seja uma razão pela qual aproximadamente 42 % da área explorada com esta cultura, à exceção das regiões Centro e Sul, seja cultivada sem qualquer tipo de adubação (ANCHIETA MONTEIRO, 1990).

No intento de solucionar esta situação buscam-se alternativas para se obter maiores rendimentos a custos mais baixos. Uma destas alternativas é o uso de leguminosas como fonte de N para nutrir o cultivo. Experiências obtidas por vários pesquisadores desde o início deste século (MIYASAKA et al., 1984) mostram que é possível obter bons rendimentos de milho e outras culturas com a adubação verde e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto ecológico negativo do uso dos fertilizantes químicos na agricultura.

Nas áreas marginais de cultivo, onde a aplicação de fertilizantes nitrogenados não é viável pelo alto custo, requer-se um maior investimento em pesquisa orientada a otimizar a contribuição dos adubos verdes para melhorar o rendimento das culturas. Isto porque tem-se observado que os diferentes sistemas de manejo do solo, utilizando adubos verdes ou resíduos de culturas precedentes, produzem um efeito diferente sobre as propriedades do solo (PERUCCI et al., 1997), que se refletem no nível de fertilidade e no rendimento das culturas (GORDON et al., 1997).

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho como adubo verde das leguminosas crotalária (*Crotalaria juncea* L.), mucuna cinza (*Mucuna* sp.) e soja (*Glycine max* (L.) Merr.) para a cultura do milho.

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Clima e solo da área experimental

O ensaio foi realizado na área experimental da Embrapa - Agrobiologia, município de Seropédica, Rio de Janeiro. A localidade situa-se entre os paralelos 22° 49' e 22° 45' de latitude sul e os meridianos 43° 38' e 43° 42' de longitude oeste de Greenwich, à altitude de 33 m sobre o nível do mar. Predomina o clima quente e úmido, sem inverno pronunciado, sendo catalogado como tipo Aw na classificação de Köppen, com vegetação de mata. A estação chuvosa estende-se de setembro a janeiro, com mínima precipitação em julho. As temperaturas mais altas registram-se nos meses de janeiro e fevereiro, e as mais baixas no

mês de julho (RAMOS et al., 1973). Na Figura 1 mostram-se as variações médias mensais da temperatura e precipitação registradas durante os meses de desenvolvimento do ensaio.

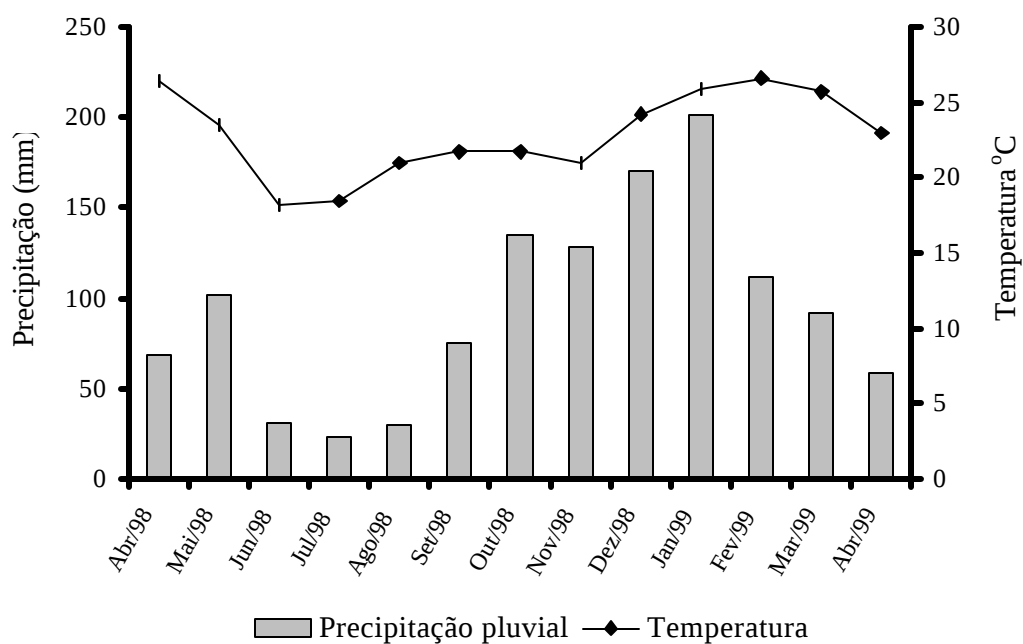


Figura 1: Precipitação pluvial e temperatura média mensal na área experimental durante os meses de duração do experimento. Fonte: Estação meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro, PESAGRO, localizada a aprox. 3 km da área experimental.

O solo é classificado como Planossolo, séries Ecologia, hidromórfico cinzento, distrófico, A moderado, textura arenosa. Nos primeiros 20 cm o solo caracteriza-se por ser de classe textural arenosa, densidade aparente $1,35 \text{ g cm}^{-3}$, sendo extremamente pobre em nutrientes e matéria orgânica, e com baixa capacidade de retenção de água (RAMOS et al., 1973). As propriedades do solo são mostradas na Tabela 1 do Apêndice.

O solo foi preparado dois meses antes do plantio, incorporando-se a cobertura vegetal natural e calcário dolomítico na dose de 1 t ha^{-1} . Uma amostragem de solo para análise de fertilidade foi realizada no sítio experimental antes do plantio.

3.2.2. Estabelecimento e manejo das leguminosas utilizadas como adubo verde

No mês de abril de 1998, seis meses antes de se estabelecer o ensaio com as leguminosas, traçaram-se no campo 24 unidades experimentais de $8 \times 10 \text{ m}$. A área total do ensaio foi de 2.736 m^2 ($72 \times 38 \text{ m}$). Nesta ocasião as parcelas foram cultivadas com aveia preta com o propósito de avaliar a heterogeneidade da área, definir a correta distribuição dos blocos, além de servir como indicador do estado de fertilidade inicial do solo e como cobertura antes do plantio direto das leguminosas.

A aveia preta foi plantada a lanço utilizando-se $37,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de semente. No momento do plantio aplicou-se também à lanço, uma dose de 500 kg ha^{-1} da fórmula 4-14-8 (4 kg por parcela de 80 m^2). Aos 70 dias de desenvolvimento da cultura, aplicou-se o herbicida glifosato e, posteriormente, fez-se a passagem de rolo faca, deixando-se os resíduos sobre o solo. Logo, de cada parcela, tomou-se uma amostra de palha de 1 m^2 para quantificar o total de matéria seca e teor de nitrogênio na palha.

Em setembro de 1998, 22 dias após o corte da aveia, incorporaram-se os resíduos em oito das parcelas (tratamentos em plantio convencional), em quanto que em outras, os resíduos deixaram-se decompor sobre o solo (tratamentos em plantio direto). Iniciou-se o experimento com as leguminosas utilizando o delineamento de blocos ao acaso com 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram:

1. Soja (*G. max*) em plantio direto (PD)
2. Mucuna cinza (*M. niveum*) em plantio direto (PD)
3. Crotalária (*C. juncea*) em plantio direto (PD)
4. Crotalária, (*C. juncea*) em plantio convencional (PC)
5. Vegetação natural (resíduos de aveia preta deixados sobre o solo)
6. Vegetação natural (resíduos de aveia preta incorporados)

Os tratamentos 1 a 3 e 5 foram seguidos de milho em plantio direto, deixando os resíduos em cobertura. Nos tratamentos 4 e 6, a cultura de milho foi implantada após o preparo convencional de solo, incorporando os resíduos mediante gradagem.

Antes do plantio, as leguminosas foram inoculadas com cepas específicas de *Bradyrhizobium spp.*, de acordo com a espécie de leguminosa, fornecidas pelo laboratório de Microbiologia da EMBRAPA-Agrobiologia. No momento do plantio aplicaram-se a lanço o equivalente a 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, correspondendo a 1,5 kg de superfosfato simples e 0,5 kg de cloreto de potássio por parcela.

Cada unidade experimental continha 16 linhas de leguminosa separadas por 0,50 m entre linhas. As densidades de plantio foram diferentes em cada espécie de leguminosa obedecendo-se o hábito de desenvolvimento de cada uma. A crotalária foi plantada para

obter uma densidade de 15 a 20 plantas por metro linear (40 kg ha⁻¹ de semente), a mucuna cinza para obter 5 plantas por metro linear (65 kg ha⁻¹ de semente), e a soja para obter 10 plantas por metro linear (30 kg ha⁻¹ de semente).

Aos 15, 21, 28, 35, 42, 49, 60 e 75 dias após o plantio (DAP) das leguminosas realizou-se amostragem da parte aérea e raízes (até uma profundidade de aproximadamente 15 cm), coletando-se as plantas crescidas em um metro quadrado de cada parcela, com o propósito de caracterizar seu crescimento. Contou-se o número de plantas e determinou-se a altura e o peso seco das amostras coletadas.

Com os dados da matéria seca de parte aérea encontrados em cada amostragem aplicou-se um modelo matemático de tipo sigmoidal logístico modificado por WITTY (1983) para descrever o desenvolvimento das leguminosas ao longo do tempo:

$$F = NM / (1 + (\exp(-k \cdot (x - t))))$$

Onde **F** é a matéria seca da cultura, **NM** é a máxima acumulação de matéria seca pela cultura, **k** a constante de acúmulo da matéria seca, **t** o tempo para que metade da matéria seca seja acumulada e **x** é o tempo em dias. Realizou-se uma análise de variância utilizando o programa SigmaPlot for Windows, o que permitiu comprovar o ajuste do modelo matemático aos resultados do desenvolvimento das culturas.

O material seco foi finamente moído utilizando um moinho de bolas, e analisado para determinar o teor de nitrogênio total e a abundância natural de ¹⁵N (δ¹⁵N) em um espectrômetro de massas Marca Finnigan Mat, modelo Delta plus, acoplado a um analisador CN marca Carlo Erba Instruments.

Nas mesmas datas de amostragem, tomaram-se fotografias verticais de 1 m² de cada cultura, a uma altura de aproximadamente 2 m para avaliar a percentagem de cobertura vegetal nas parcelas, segundo a metodologia desenvolvida pelo Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo – SIARCS 3.0), descrito por JORGE & CRESTANA (1996).

Em cada amostragem de leguminosas realizou-se, também, a coleta de 5 outras espécies vegetais presentes na área experimental: milho (*Zea mays*, L) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench), que tinham sido plantadas na proximidade das parcelas experimentais, e tiririca (*Cyperus rotundus* L.), capim Bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) e malva guaxima (*Sida glaziovii* K.Schum), que tinham crescido como ervas daninhas dentro das parcelas da vegetação natural. Estas plantas foram igualmente processadas, analisadas e utilizadas como espécies de referência para quantificar a FBN através da técnica de abundância natural de ¹⁵N (BODDEY et al, 1995).

A contribuição da FBN foi estimada com a seguinte expressão:

$$\% \text{ NDDA} = 100 \times (\delta^{15}\text{N}_{\text{Planta ref}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{leguminosa}}) / (\delta^{15}\text{N}_{\text{Planta ref}} - B)$$

Onde NDDA é o nitrogênio derivado da atmosfera e B o coeficiente de discriminação isotópica. Como ainda não foi determinado um valor de B para a maioria das espécies em estudo, assumiu-se para as mesmas um valor igual a -1δ, considerando que os valores encontrados em várias leguminosas tropicais situam-se num intervalo de -0,55 a -1,97,

porém com maior frequência no intervalo de -0,76 a -1,30, segundo dados reportados por PEOPLES et al. (1989).

A quantidade de N fixada foi calculada através da relação:

$$\text{Total de N fixado} = \text{Massa seca total} * (\text{teor de Nitrogênio}(\%)/100) * (\% \text{ NDDA}/100)$$

As parcelas com leguminosas foram irrigadas duas vezes por semana durante todo o ciclo vegetativo. Aos 82 dias após o plantio, quando foi aplicado herbicida glifosato em todas as parcelas. Sete dias depois tomou-se uma amostra dos resíduos da superfície do solo (1 m^2) para análise da matéria seca, nitrogênio total (ALVES et al., 1995a), carbono total (ALVES et al., 1995b) e polifenóis solúveis pelo método de Folin-Denis (ANDERSON & INGRAM, 1989). Incorporou-se o material vegetativo nos tratamentos 4 e 6 (crotalária e vegetação natural seguidos de milho em plantio convencional) e passou-se rolo faca nos tratamentos restantes, deixando os resíduos sobre o solo.

3.2.3. Estabelecimento e manejo da cultura de milho

Aos 3 dias do manejo dos resíduos das leguminosas, plantou-se milho variedade Nitrodent utilizando-se 40 kg ha^{-1} de semente (três sementes a cada 25 cm entre covas na linha e 1 m entre linhas). Todas as parcelas foram fertilizadas no momento do plantio com 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 e de K_2O nas formas de superfosfato simples e cloreto de potássio. Oito dias depois aplicou-se nitrogênio na forma de uréia na dose de 40 kg ha^{-1} de N, em todos os

tratamentos, e aos 55 DAP os tratamentos 1 a 5 novamente foram fertilizados com 30 kg ha⁻¹ de N (70 kg ha⁻¹ de N no total). Nesta ocasião, o tratamento 6 recebeu 90 kg ha⁻¹ de N (130 kg ha⁻¹ de N no total). No mesmo dia, realizou-se uma segunda amostragem dos resíduos dos adubos verdes e da vegetação natural, coletando o material remanescente em uma área de 1 m² dentro das parcelas com os tratamentos de milho em plantio direto.

Durante o desenvolvimento do milho, realizou-se controle químico da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), controle manual de invasoras e irrigação, duas vezes por semana, durante os períodos de estiagem prolongada.

Devido a que o propósito deste ensaio foi medir o aproveitamento de nitrogênio pela cultura de milho, e para controlar a perda de nitrogênio que ocorre durante o amadurecimento dos grãos, o milho foi colhido aos 90 dias após o plantio quando as espigas apresentavam os grãos em estado farináceo duro. Coletaram-se as seis linhas centrais da parcela. As partes vegetativas (folhas e caules) e as reprodutivas (espigas com grão em estado farináceo duro) foram separadas e pesadas no campo. Tomou-se uma amostra de 15 plantas em cada parcela e determinou-se o peso fresco. As amostras foram levadas ao laboratório onde foram picadas e homogeneizadas. De cada uma delas tomou-se uma sub-amostra a qual foi pesada e colocada em estufa a 65 °C. Após 72 horas, quando apresentaram peso constante, as amostras foram novamente pesadas para determinar o peso da matéria seca. As sub-amostras foram moídas para determinar o teor de nitrogênio.

Os resultados de matéria seca, teor de nitrogênio, nitrogênio total, carbono, relação C:N e polifenóis solúveis encontrados nos resíduos de leguminosas e vegetação natural, assim como, os resultados de matéria seca, teor de nitrogênio e nitrogênio total de milho obtidos em cada tratamento, foram submetidos à análise de variância e teste F para o

delineamento em blocos ao acaso. Nos casos de significância, foi aplicado o teste de Tukey para separação de médias.

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Observações preliminares ao plantio das leguminosas

Os resultados da análise de solo, realizada antes do plantio da aveia preta, indicam que o solo estava bastante uniforme em relação à disponibilidade de nutrientes, ainda que pequenas diferenças no pH tenham sido observadas entre as amostras. As amostras 2 e 3, tomadas nas partes mais baixas da área experimental, apresentaram pH um pouco mais ácido do que a amostra 1 tomada na parte mais alta da área experimental (Tabela 1). Esta leve diminuição da acidez poderia estar influenciando na disponibilidade dos nutrientes, principalmente micronutrientes, como se infere pelos resultados obtidos na produção da matéria seca e de nitrogênio da aveia preta (Tabela 2).

Tabela 1: Características químicas do solo (0-20 cm) na área experimental antes do plantio da cultura de aveia preta.

Amostra	PH	C %	N %	P		K		Ca		Mg	
				mg kg ⁻¹				cmol _c dm ⁻³			
1	5,0	0,43	0,05	4		12		1,2		1,0	
2	4,6	0,43	0,05	2		12		1,1		0,8	
3	4,6	0,43	0,05	2		11		1,1		0,8	

Tabela 2: Produção de biomassa de aveia preta e características químicas dos resíduos.

Bloco	Matéria seca g m ⁻²	Nitrogênio total		Carbono mg g ⁻¹	Relação C:N
		g m ⁻²	mg g ⁻¹		
1	199 ± 16	3,38	16,9 ± 0,8	453,9 ± 12,5	26,9
2	164 ± 16	2,32	14,2 ± 1,5	469,9 ± 17,1	34,1
3	164 ± 23	2,28	13,7 ± 1,2	472,4 ± 1,0	35,0
4	115 ± 16	1,85	15,7 ± 1,4	475,3 ± 3,4	30,9

O bloco 1, que estava colocado na parte mais baixa do campo produziu a maior quantidade de matéria seca de aveia preta, quando comparado ao bloco 4, o qual estava colocado na posição mais alta e portanto, mais suscetível à lixiviação de nutrientes. No bloco 1 foi obtido também maior teor de nitrogênio na aveia preta e, portanto, obteve-se o maior acúmulo do nitrogênio como consequência da combinação destes fatores. Estes resultados podem ser devidos a que no bloco 1 concentrou-se maior umidade durante todo o desenvolvimento da aveia preta e, possivelmente maior quantidade de nutrientes provenientes das partes altas da área experimental.

Em geral, a quantidade de resíduos provenientes da aveia preta não foi muito elevada, e a relação C:N encontrada nestes resíduos, ao redor de 32, sugere que estes podem mineralizar lentamente e com potencial de imobilização de N no solo (Tabela 2). No entanto, os resíduos na superfície do solo foram suficientes para reduzir a infestação por ervas daninhas, e possivelmente contribuíram para conservar a umidade do solo durante os períodos iniciais de desenvolvimento das leguminosas, que foram semeadas logo após.

A análise de variância demonstrou diferenças significativas entre os blocos ($P < 0,01$) para acumulação de biomassa e N da aveia preta, confirmando que apesar da certa heterogeneidade da área, a disposição dos blocos foi adequada para reduzir o erro associado a esta fonte de variação.

3.3.2. Desenvolvimento das espécies de leguminosas empregadas como adubo verde

Uma das características desejáveis em leguminosas para a adubação verde é a alta produção de fitomassa e, para a proteção do solo, que o crescimento nas etapas iniciais da cultura permita uma rápida cobertura. Por isso, o resultado da análise do crescimento das leguminosas se torna ferramenta interessante para a apropriada recomendação dos adubos verdes nos sistemas de produção.

O acúmulo de matéria seca nas leguminosas ao longo do seu desenvolvimento foi adequadamente expressado através do modelo matemático sigmoidal de tipo logístico, modificado por WITTY (1983). Os coeficientes de correlação das equações de cada uma das espécies de leguminosa, assim como a análise de variância realizado para demonstrar o ajuste do modelo, foram altamente significativos demonstrando sua adequação para expressar o comportamento das leguminosas em relação ao acúmulo de matéria seca ao longo do tempo (Figura 2).

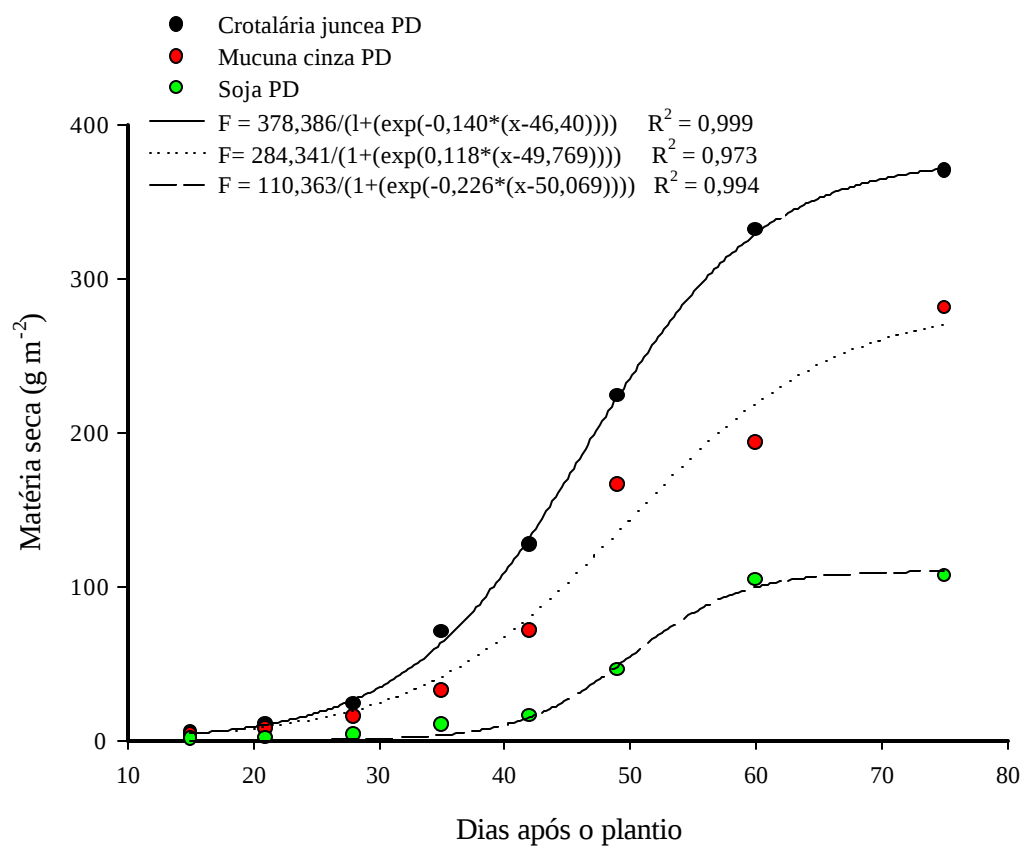


Figura 2. Produção de matéria seca de parte aérea e modelo de crescimento das leguminosas.

Observa-se que, das leguminosas em estudo, a mucuna e a soja caracterizaram-se pelo lento desenvolvimento nas fases iniciais do crescimento, enquanto que a crotalária desenvolveu-se mais rapidamente, especialmente a partir da quinta semana, demonstrando maior vigor desde as primeiras etapas até os 75 DAP (Figura 2).

A quantidade de biomassa da parte aérea produzida pelas leguminosas aos 75 DAP, foi equivalente a 3,7, 2,8 e 1,0 Mg ha⁻¹ para crotalária, mucuna e soja, respectivamente (Tabela 3). A produção de matéria seca alcançada por estas leguminosas pode ser considerada baixa, quando comparada aos rendimentos reportados por outros autores (MONDARDO et al., 1981; VITTI et al., 1992; CÁCERES & ALCARDE, 1995), mas deve-se levar em conta que as leguminosas neste ensaio não alcançaram a fase de floração. Além de terem sido desenvolvidas em um solo com baixo potencial produtivo, seu rendimento foi comprometido pela baixa densidade de plantas devido a problemas na germinação das sementes. Ainda assim, a crotalária, por ter apresentado boa adaptabilidade e rápido crescimento, destacou-se como uma espécie potencialmente adequada para as condições nas quais desenvolveu-se o ensaio. Neste caso, tratando-se de solos pobres e nos quais não se dispõe de muitos recursos para melhorar a fertilidade do solo, a crotalária poderia ser utilizada durante períodos curtos de descanso entre as culturas, sempre que não existirem restrições de umidade para seu desenvolvimento e que a época de crescimento vegetativo fosse coincidente com maior número de horas de luz, por esta planta ser muito sensível ao fotoperíodo (SUMMERFIELD & WIEN, 1980).

Tabela 3: Matéria seca, teor de nitrogênio e N total obtido nas diferentes datas de coleta das leguminosas.

Data	06/11/98	13/11/98	20/11/98	27/11/98	04/12/98	11/12/98	22/12/98	05/01/99
DAP	15	21	28	35	42	49	60	75
<u>Matéria seca da parte aérea (g m⁻²)</u>								
Crotalária	5,51	10,59	23,68	70,59	127,39	223,95	331,72	370,20
Mucuna	3,59	7,73	15,52	32,12	71,27	166,29	193,34	281,31
Soja	1,26	1,77	3,66	10,11	15,86	45,85	104,19	106,90
<u>Matéria seca da raiz recuperada (g m⁻²)</u>								
Crotalária	0,97	1,80	4,31	12,15	41,83	80,72	115,68	136,60
Mucuna	0,80	2,33	2,33	3,67	34,11	68,84	90,51	131,32
Soja	0,30	0,44	1,08	2,55	12,69	25,81	41,73	37,52
<u>Teor de nitrogênio da parte aérea (mg g⁻¹ de matéria seca)</u>								
Crotalária	30,7	38,4	26,6	25,7	28,8	28,0	34,4	32,3
Mucuna	51,5	47,4	27,5	32,8	31,5	32,4	37,6	30,5
Soja	50,1	38,5	26,5	23,7	18,4	17,0	18,9	18,4
<u>Teor de nitrogênio da raiz (mg g⁻¹ de matéria seca)</u>								
Crotalária	19,5	19,2	18,7	10,2	12,3	11,8	12,1	10,2
Mucuna	25,2	26,7	26,3	24,5	28,0	26,3	24,5	20,7
Soja	18,0	18,7	14,7	11,4	12,6	11,5	10,5	10,2
<u>Nitrogênio total acumulado pela parte aérea (g m⁻²)</u>								
Crotalária	0,17	0,41	0,60	1,74	3,72	6,25	11,28	11,99
Mucuna	0,18	0,36	0,42	1,07	2,26	5,38	7,28	8,50
Soja	0,06	0,07	0,09	0,23	0,30	0,82	1,04	2,06
<u>Nitrogênio total acumulado pela raiz recuperada (g m⁻²)</u>								
Crotalária	0,02	0,03	0,08	0,12	0,49	0,95	1,38	1,39
Mucuna	0,02	0,06	0,07	0,09	0,82	1,62	2,06	2,33
Soja	0,005	0,01	0,02	0,03	0,16	0,30	0,41	0,36

A mucuna cinza, apesar de ter alcançado menores rendimentos, comportou-se como uma boa cobertura do solo, e numa avaliação visual, restringiu o crescimento de ervas invasoras e favoreceu a conservação da umidade. É pouco provável que o rendimento da mucuna fosse incrementado se a sua permanência no campo tivesse sido mais prolongada antes de ser utilizada como adubo verde, pois como mostram a tendência do modelo matemático apresentado na página 31, tanto a mucuna quanto a crotalária tinham alcançado uma fase de estabilização no crescimento e os possíveis incrementos na matéria seca que obtivessem-se após esta data poderiam interferir com a época de plantio mais adequada para a cultura principal, neste caso o milho. Para as condições deste experimento, o plantio de milho em épocas mais tardias ao mês de janeiro, poderia comprometer o desenvolvimento da cultura, principalmente quando não têm-se facilidades para irrigação, dependendo exclusivamente do regime pluvial.

Das três leguminosas, somente a soja alcançou a fase reprodutiva, chegando a formar vagem durante sua permanência no campo. O desenvolvimento da soja, além de ter sido lento, não chegou a formar uma boa cobertura do solo. A densidade de plantas esteve muito afetada pelas próprias condições de baixa fertilidade e baixa retenção de água do solo, os quais foram fatores determinantes da baixa acumulação da biomassa (Figura 2 e Tabela 3). Em termos gerais, pode-se afirmar que a soja não apresentou boa adaptabilidade às condições deste ensaio, mas por ser uma leguminosa que apresenta alta eficiência de FBN, seu potencial para uso como adubo verde deve ser mais estudado.

As raízes amostradas até aproximadamente 15 cm de profundidade, mostraram também lento desenvolvimento nas etapas iniciais da cultura. A partir dos 42 DAP, observou-se um incremento mais acelerado da biomassa radicular, atingindo aos 75 DAP

136, 131 e 37 g m⁻² na crotalária, mucuna e soja respectivamente (Tabela 3). Na crotalária e mucuna, estas quantidades foram equivalentes a 1,36 e 1,31 Mg ha⁻¹ de matéria seca, evidenciando-se assim, a importante contribuição de material orgânico que as raízes destas espécies estariam incorporando no solo em uma rotação, mesmo considerando-se que esta massa pode não ter sido determinada na totalidade devido à profundidade de amostragem e às dificuldades de obter a maior quantidade de raízes nas condições de campo (McNEILL et al., 1998). A pouca adaptabilidade da soja nestas condições experimentais, como mencionado anteriormente, determinaram a baixa contribuição das raízes desta leguminosa (Tabela 3).

No que diz respeito ao teor de nitrogênio da parte aérea das plantas, na crotalária variou de 25,7 a 38,4 mg g⁻¹ de matéria seca, na mucuna de 27,5 a 51,5, e na soja de 17,0 a 50,1, sendo que na maioria dos casos, os valores mais altos ocorreram nas etapas iniciais do crescimento (Tabela 3). O teor de nitrogênio das raízes na crotalária variou de 10,2 a 19,5 mg g⁻¹ de matéria seca, na mucuna de 20,7 a 28,0, e na soja de 10,2 a 18,7, sendo obtidos os menores valores na última amostragem, e os valores mais altos nas etapas iniciais de crescimento da crotalária e da soja. Na mucuna o maior valor foi obtido aos 49 DAP, o que explica-se pelo alto teor de nitrogênio presente nos nódulos, que nesta etapa de desenvolvimento da mucuna estavam presentes em maior quantidade.

O teor de nitrogênio é uma das características utilizadas para avaliar a qualidade dos resíduos, permitindo até certo ponto predizer a taxa de mineralização dos resíduos já que, geralmente se os materiais apresentam teores de N acima de 2% é provável que predomine a taxa de mineralização líquida, enquanto que, abaixo dessa concentração predominará a imobilização deste nutriente (PALM & SÁNCHEZ, 1991). Sendo assim, as leguminosas

avaliadas constituem uma fonte de N facilmente mineralizável em qualquer das etapas da amostragem. No entanto, quanto maior o desenvolvimento das leguminosas no campo, maior biomassa e nitrogênio total é acumulado, ainda que o teor de nitrogênio tenda a diminuir. Portanto, é necessário estabelecer um ponto ótimo de corte para, sem comprometer a qualidade do resíduo, de forma que se permita um adequado aporte de nutrientes para a cultura subsequente.

A quantidade de nitrogênio total da parte aérea acumulada aos 75 DAP foi equivalente a 120, 85 e 21 kg ha⁻¹ de N, enquanto que as raízes acumularam quantidades de N equivalentes a 14, 23 e 3,6 kg ha⁻¹ para crotalária, mucuna e soja, respectivamente (Tabela 3). Assim toda a planta de cada uma destas leguminosas acumulou 134, 108 e 24 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para crotalária, mucuna e soja. Tendo em consideração que o solo sobre o qual desenvolveram-se as leguminosas é muito pobre em nutrientes, tanto a crotalária quanto a mucuna contribuíram com uma boa quantidade de nitrogênio, além de outros benefícios derivados da cobertura do solo. O total de nitrogênio proveniente das raízes foi muito baixo devido à pouca recuperação do sistema radicular na amostragem, a qual realizou-se até 15 cm de profundidade, o que conduziu a uma baixa estimativa dos resultados.

Maiores quantidades de nitrogênio acumuladas pelos adubos verdes têm sido encontradas em outras condições de solo (MONDARDO et al., 1981) e em regimes hídricos favoráveis (ALVAREZ et al., 1995). Deve-se destacar que os resultados encontrados com crotalária neste estudo, num solo muito pobre, foram superiores aos reportados por DE-POLLI & CHADA (1989), quando a leguminosa foi cultivada num solo podzólico vermelho-amarelo distrófico, na região de Itaguaí.

As primeiras quatro semanas das culturas caracterizaram-se pela lenta acumulação de nitrogênio, o qual esteve relacionado à baixa produção de matéria seca durante esse período (Tabela 3, Figura 3). A soja não acumulou uma quantidade significativa de nitrogênio ao longo de seu desenvolvimento, enquanto que a mucuna apresentou um comportamento intermediário entre crotalária e soja.

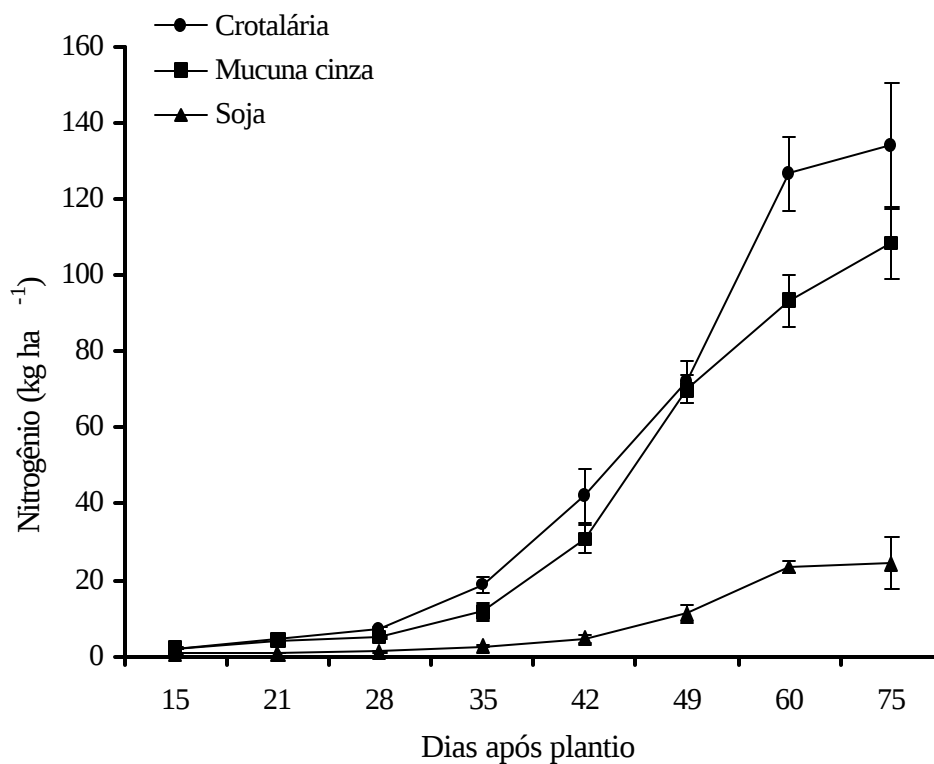


Figura 3: Acumulação de nitrogênio pela planta inteira de três espécies de leguminosas durante seu crescimento. (Barras verticais representam o erro padrão de cada média).

Um dos fatores que mais afetou a produção de matéria seca e de nitrogênio total foi o baixo número de plantas por metro quadrado. Apesar de que as sementes das leguminosas demonstraram ter um bom grau de germinação no laboratório, isto não foi observado nas condições de campo, o que afetou a densidade da cultura. Para a crotalária, o número de plantas por m^2 variou de 18 a 33, para mucuna de 9 a 12, e para soja de 13 a 24. No entanto, observou-se um efeito compensativo no acúmulo da biomassa por efeito de competição entre as plantas, sendo observado um melhor desenvolvimento nas plantas com maior espaçamento entre si.

A altura de plantas de crotalária e mucuna, observadas a partir dos 28 DAP, caracterizou-se por um aumento praticamente linear com a idade da planta (Figura 4). Esta característica foi bastante influenciada pelo declive do terreno, observando-se maiores alturas de planta nos blocos colocados nas partes mais baixas. Assim, a altura de plantas atingida pela crotalária aos 49 DAP variou entre 170 e 137 cm e na mucuna entre 98 a 79 cm. Na soja a altura de plantas foi afetada pelo início precoce da floração (35 dias), como consequência do forte estresse nutrimental e hídrico sofrido pela cultura, alcançando somente entre 24 a 28 cm de altura aos 49 DAP.

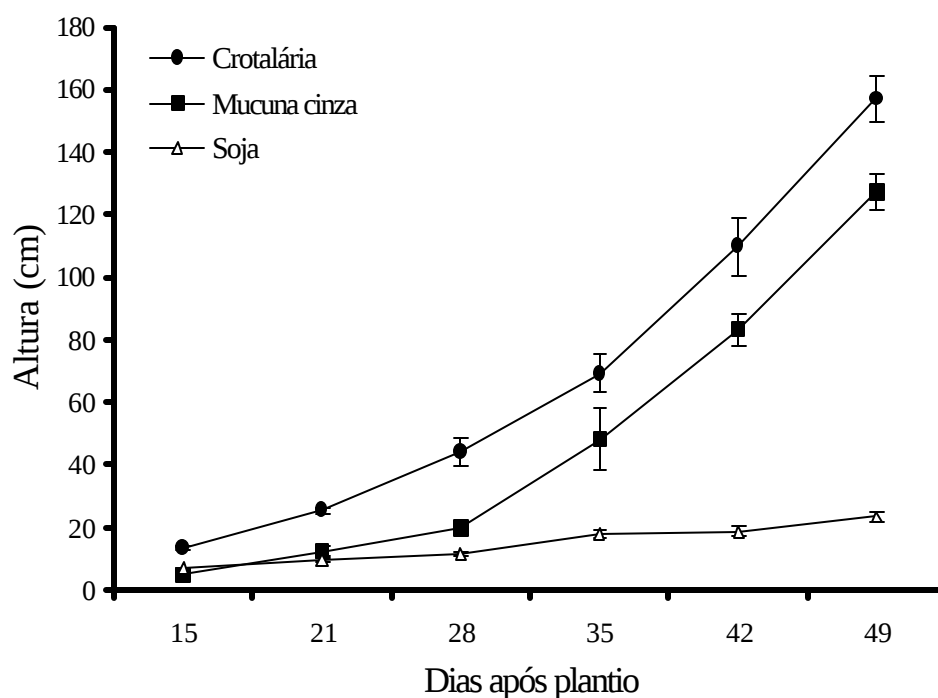


Figura 4: Altura de plantas de três espécies de leguminosas nos primeiros 49 dias após plantio. (Barras verticais representam o erro padrão de cada média).

Uma relação direta estabeleceu-se entre a altura de planta e a quantidade de nitrogênio (kg ha^{-1}) acumulada pela crotalária e a mucuna cinza (Figuras 5 e 6). Esta relação pode ser útil para o agricultor decidir o manejo da cultura. Assim, pode-se correlacionar com boa probabilidade, a quantidade de nitrogênio a ser incorporada quando a planta alcançar uma determinada altura, embora esta relação precisa ser avaliada em outras densidades de plantio ou população de plantas.

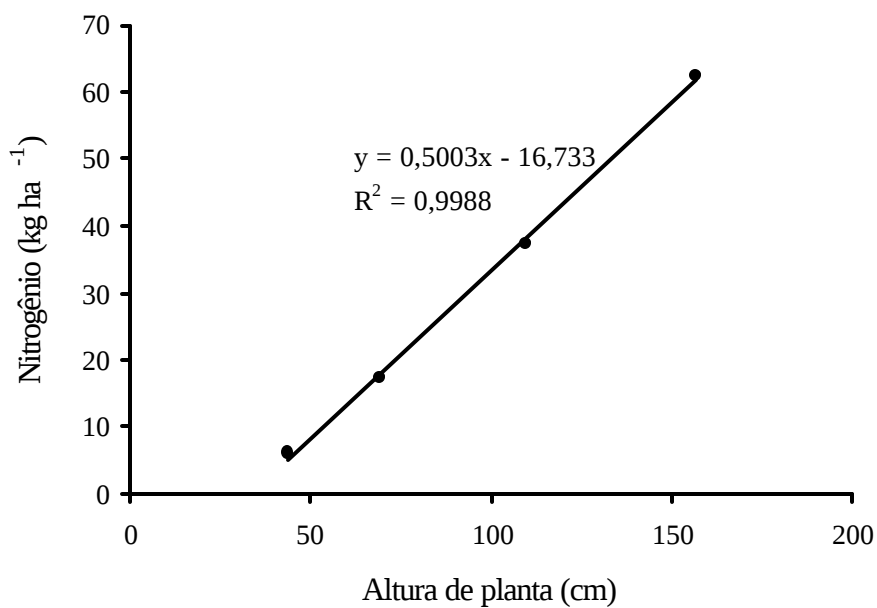


Figura 5: Relação entre altura de planta e quantidade de nitrogênio acumulada pela crotalária.

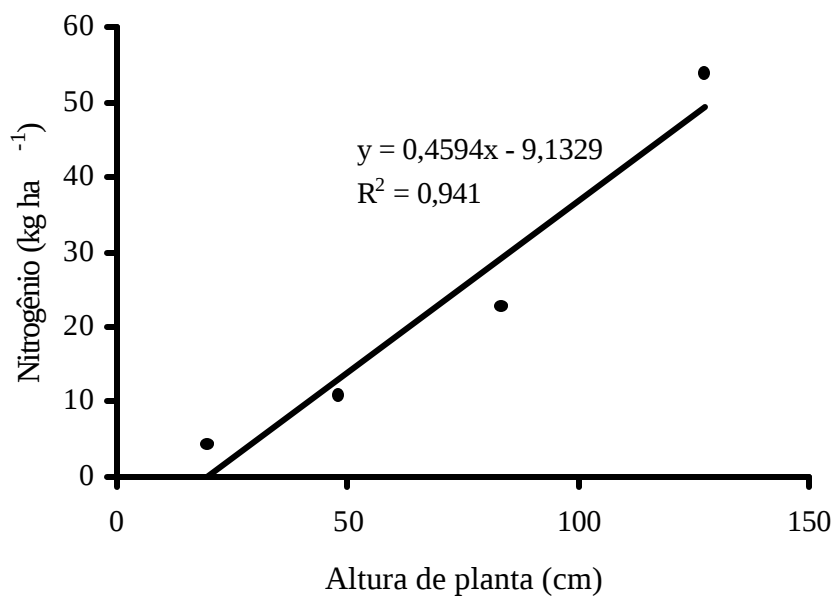


Figura 6: Relação entre altura de planta e quantidade de nitrogênio acumulada pela mucuna cinza.

Tanto a crotalária quanto a mucuna cinza apresentaram uma boa cobertura do solo. Até os 42 dias após o plantio estas leguminosas tinham atingido uma cobertura de 30 e 29 %, respectivamente, entanto que a soja só chegou a cobrir 18 % da superfície do solo (Figura 7). Segundo observa-se na seqüência de fotografias (página 43), estes dados parecem ter sido subestimados pela metodologia utilizada, já que alguns fatores como qualidade da fotografia, sombreamento, e altura vertical de toma de fotografia interferem na quantificação da cobertura. Isto foi especialmente observado no caso da mucuna cinza, que devido a seu hábito de crescimento rasteiro, estendeu-se rapidamente cobrindo quase totalmente o solo aos 60 dias após o plantio. A soja após os 42 dias não incrementou a cobertura vegetal significativamente devido que, ao entrar na fase reprodutiva, seu crescimento vegetativo ficou restringido. As parcelas com soja ficaram praticamente nuas devido à pouca biomassa produzida e ao controle de ervas daninhas, que foi praticado para favorecer o crescimento da leguminosa na área.

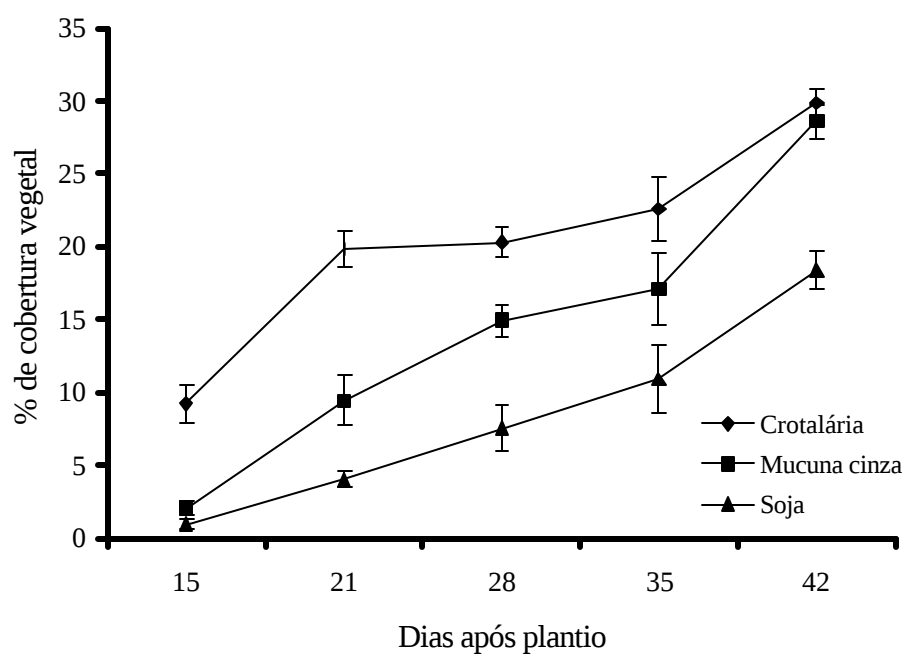
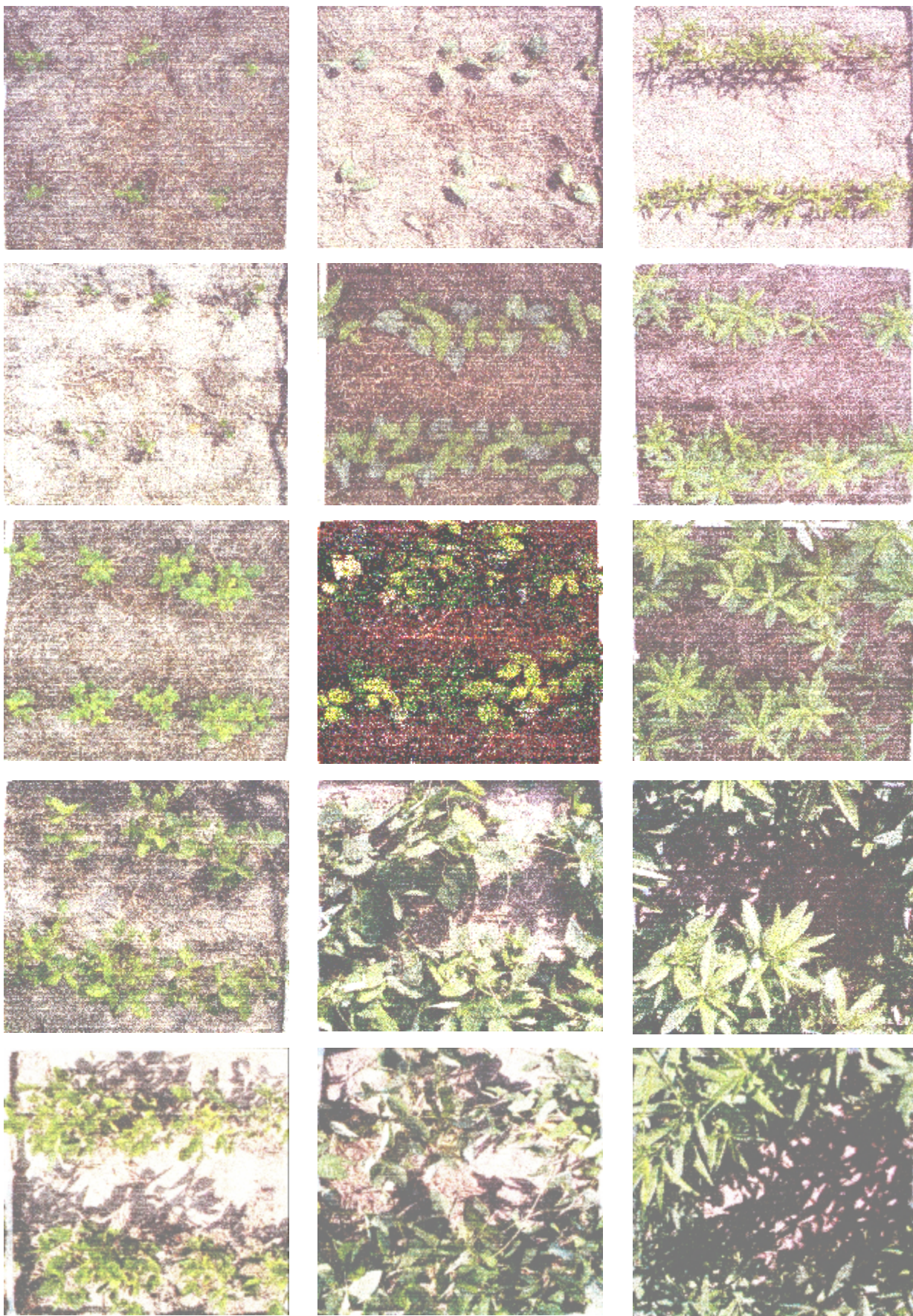


Figura 7: Cobertura vegetal do solo por três espécies de leguminosas até 42 dias após o plantio. (Barras verticais representam o erro padrão de cada média).



Fotografias mostrando a cobertura vegetal. Da esquerda para direita: soja, mucuna cinza e crotalária. De cima para baixo: cobertura vegetal atingida pelas leguminosas a 15, 21, 28, 35 e 42 dias após o plantio.

3.3.3. Fixação Biológica de Nitrogênio

Entre as plantas de referência, o milho e a malva guaxima apresentaram os valores mais altos na abundância natural de ^{15}N , enquanto que no sorgo e na tiririca encontraram-se os mais baixos valores (Tabela 4).

Tabela 4: Valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ nas plantas de referência em diferentes datas de amostragem.

Data	06/11/98	13/11/98	20/11/98	27/11/98	04/12/98	11/12/98	22/12/98	05/01/98	Média
DAP	15	21	28	35	42	49	60	75	
Milho	8,24	7,10	9,87	4,34	7,61	7,45	3,35	4,34	6,54
Sorgo	5,68	4,65	5,87	4,09	5,50	4,32	3,50	3,19	4,60
Bermuda	7,47	5,37	4,26	3,86	3,58	7,84	1,96	6,23	5,07
Tiririca	4,27	5,45	3,40	5,34	3,86	5,63	3,62	6,83	4,80
Malva	8,05	5,71	4,45	5,99	4,95	4,78	4,07	8,05	5,76

As variações na abundância natural do ^{15}N das plantas de referência durante as diferentes amostragens do experimento, explicam-se principalmente pelas naturais variações espaciais devido, possivelmente, à influência de resíduos de leguminosas de crescimento espontâneo na área experimental, antes da instalação do experimento. Considerando a alta sensibilidade da técnica, tais variações não são muito significativas, uma vez que qualquer erro durante a coleta e processamento das amostras traduz-se numa maior variação no resultado final da análise. Pode-se então afirmar que os valores $\delta^{15}\text{N}$ encontrados nas diferentes plantas de referência não indicam variações substanciais entre

amostragens como tampouco entre espécies, e que o valor médio da área experimental está ao redor de 5,35 deltas.

Para estimar a fixação biológica de nitrogênio pelo método da abundância natural de ^{15}N , é desejável que exista diferença considerável entre os valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre as plantas fixadoras e não fixadoras (DOMENACH & CORMAN, 1984; PEOPLES et al., 1989). Assim, os valores $\delta^{15}\text{N}$ encontrados nas plantas de referência podem ser considerados adequados para obter-se um intervalo de valores da FBN, por apresentar valores sensivelmente mais altos em relação à composição isotópica das leguminosas.

A proporção da fixação biológica de nitrogênio nas leguminosas em estudo, foi estimada com o valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ encontrado nas plantas de referência, considerando que este valor representava a abundância natural do ^{15}N , do N do solo da área experimental.

Em termos gerais, a proporção de N fixado nas leguminosas durante as diferentes amostragens, foram similares para todas as plantas de referência, embora quando calculada com milho os valores foram sempre maiores (Figuras 8 a 10). A estimativa da FBN utilizando técnicas isotópicas pode variar em função da seleção da planta de referência, portanto, os valores apresentados neste trabalho, serão discutidas como intervalos entre o menor e o maior valor encontrados para cada uma das leguminosas, considerando que tais intervalos refletem adequadamente, a proporção do N fixado nas plantas.

Analisando os resultados da contribuição da FBN nas amostragens realizadas dos 15 até os 28 DAP na crotalária e na mucuna cinza, e até os 35 DAP na soja, observou-se que estas apresentaram altos valores de FBN nessas datas. Considerou-se que esta alta estimativa foi influenciada pela quantidade de N derivado da semente e a composição

isotópica deste N, especialmente no caso de mucuna e soja que caracterizam-se por reter os cotilédones da semente por vários dias após a germinação, sendo estes a principal fonte de nitrogênio durante as primeiras semanas de vida da planta. Na soja a influência da semente parece ter sido mais pronunciada, já que conforme a planta foi crescendo produziu-se uma diminuição dessa aparente fixação de N_2 até o dia 42. A partir dessa idade, o verdadeiro processo de fixação biológica continuaria incrementando-se, até alcançar entre 26 e 45 % na fase final do ciclo da cultura. Para confirmar este fato, analisaram-se as sementes das três leguminosas e comprovou-se que elas possuem valores diferentes de N total e abundância natural de ^{15}N muito baixa já que são produzidas por plantas com atividade simbiótica de FBN. Portanto, tanto os dados de proporção da FBN quanto os de nitrogênio total fixado consideraram-se sobre estimados nestas primeiras semanas da amostragem e somente se incluem nas tabelas 2 e 3 do Apêndice como dados de referência.

As figuras, 8 e 9 e 10 observa-se a tendência da FBN nas três leguminosas. Em crotalária e mucuna cinza a máxima proporção de FBN foi atingida aos 60 DAP, com valores entre 76 e 82 % para crotalária, e 78 a 84 % para mucuna cinza. Na soja o valor máximo da FBN foi obtida aos 75 DAP com um amplo intervalo entre 26 a 45 %.

Nas figuras 8 e 9 evidencia-se que quando a fixação de nitrogênio é alta, as diferenças nas estimativas associadas ao uso de diferentes plantas de referência diminuem. Por outro lado, em leguminosas com baixos valores de fixação, estas diferenças ampliam-se, como observado no caso da soja (Figuras 10 e 13). Desta observação, deduz-se que, ao utilizar o método de abundância natural de ^{15}N na quantificação da FBN, maior cuidado deve ser tomado na eleição da planta de referência, especialmente quando suspeita-se que a cultura em estudo apresenta baixo potencial de fixação biológica de nitrogênio.

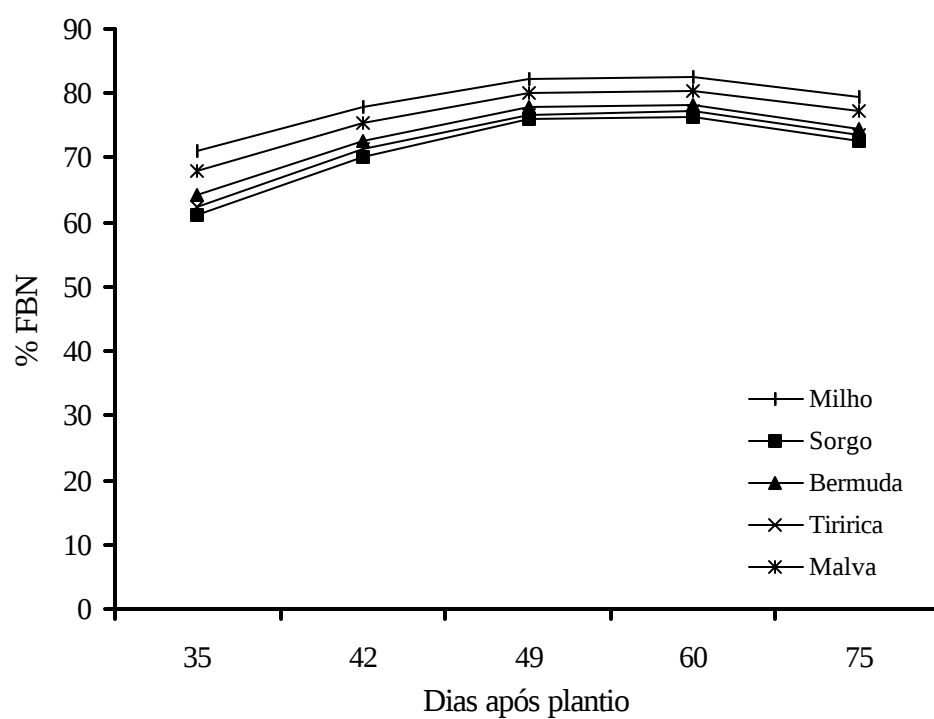


Figura 8: Contribuição da fixação biológica de nitrogênio em crotalária, estimada através de cinco diferentes plantas de referência.

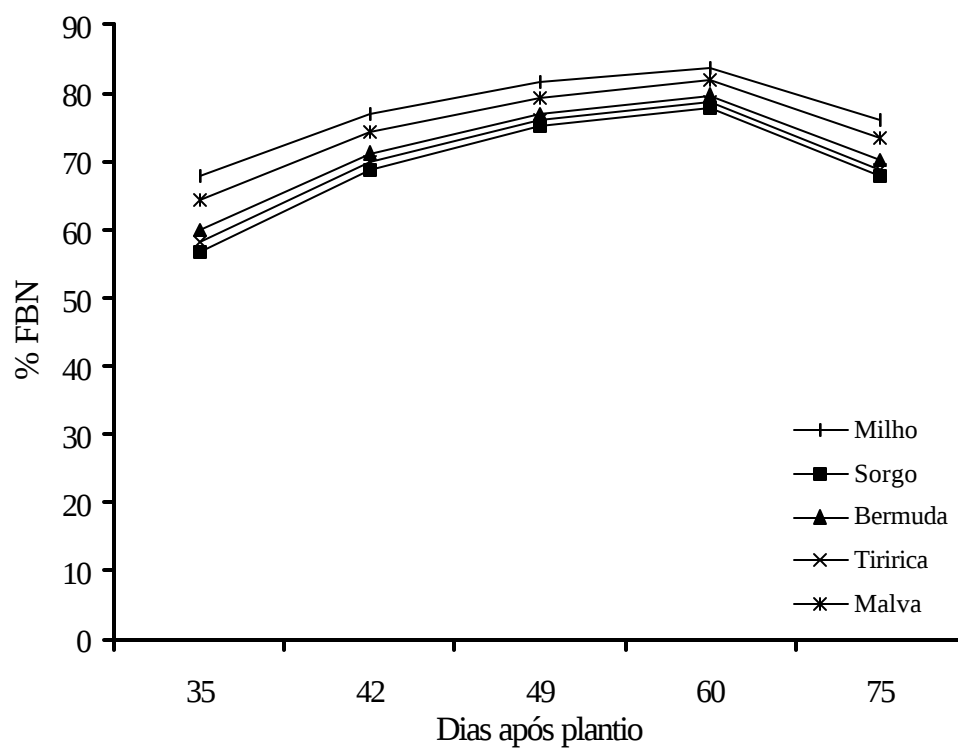


Figura 9: Contribuição da fixação biológica de nitrogênio em mucuna cinza, estimada através de cinco diferentes plantas de referência.

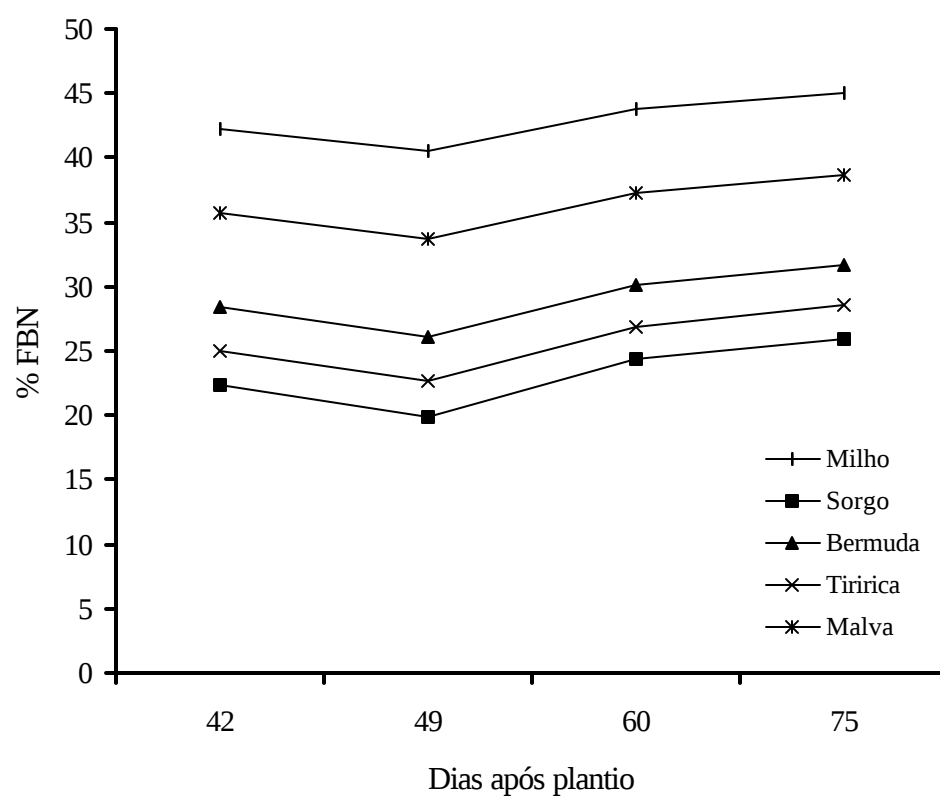


Figura 10: Contribuição da fixação biológica de nitrogênio em soja, estimada com cinco diferentes plantas de referência.

Ainda que a técnica de abundância natural de ^{15}N tenha sido comprovada como adequada para a quantificação da FBN (PEOPLES et al., 1989), a seleção de uma planta de referência que apresente similares características de crescimento e absorção de nutrientes que a leguminosa estudada é requisito indispensável para alcançar uma melhor exatidão dos resultados.

Embora a proporção de N fixado nas plantas possa ser bastante alta, a quantidade de N fixado é mais importante em determinar o valor destas plantas como adubo verde. Observa-se que na crotalária, o aporte total de nitrogênio atmosférico ao sistema solo-planta, atingiu entre 87 e 96 kg ha⁻¹, na mucuna entre 59 e 66 kg ha⁻¹, e na soja apenas alcançou entre 5 e 9 kg ha⁻¹, sendo estas últimas quantidades insignificantes em relação às demandas da cultura do milho (Figuras 11 a 13).

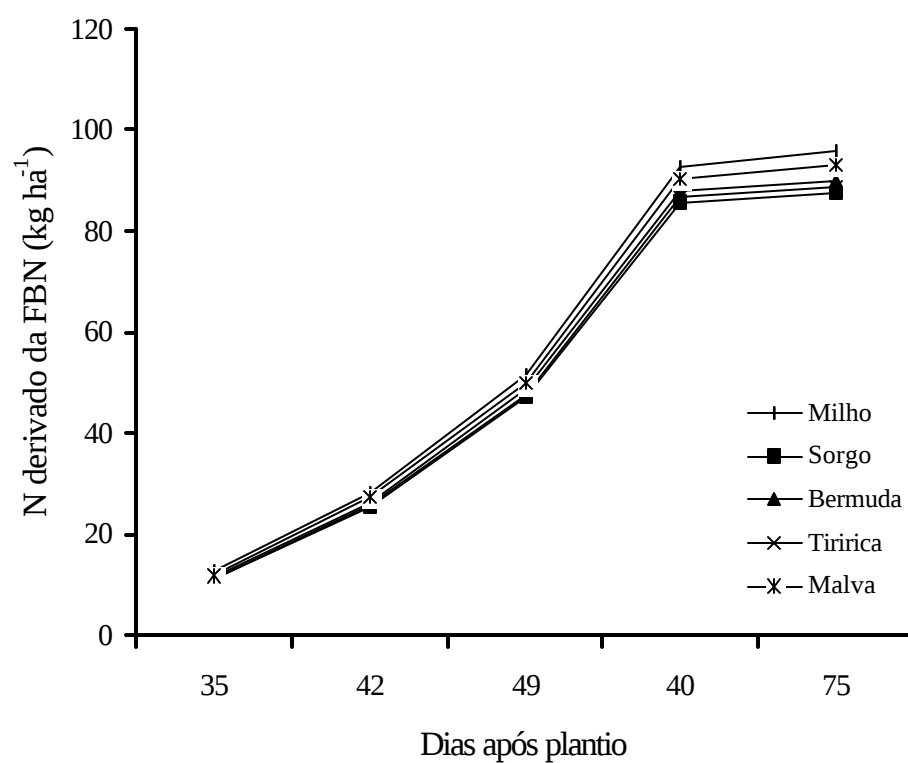


Figura 11: Quantidade de nitrogênio fixado pela crotalaria, estimado com cinco plantas de referência.

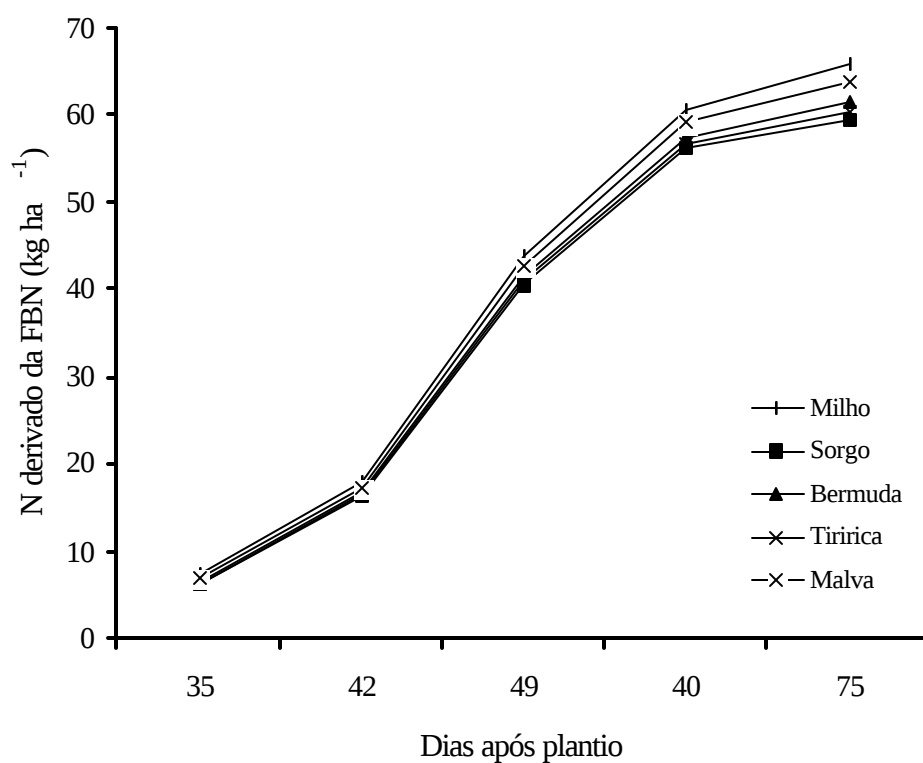


Figura 12: Quantidade de nitrogênio fixado pela mucuna cinza, estimado com cinco plantas de referência.

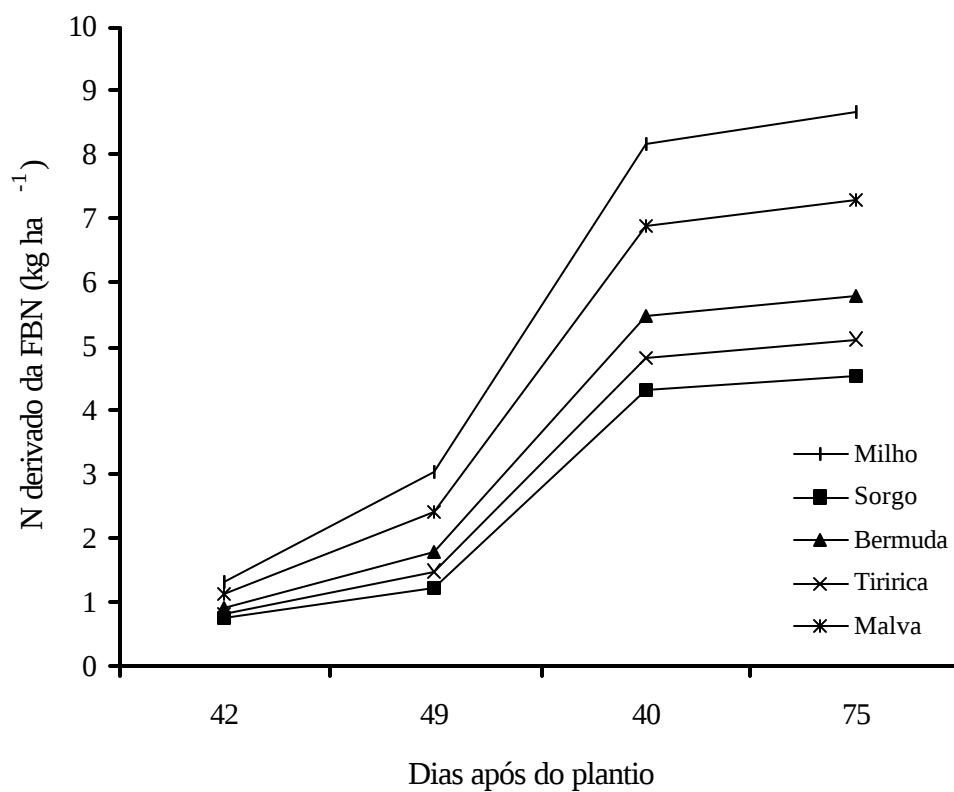


Figura 13: Quantidade de nitrogênio fixado pela soja, estimado com cinco plantas de referência.

3.3.4. Resíduos das leguminosas adicionadas ao solo como adubos verdes

A crotalária caracterizou-se por produzir a maior quantidade de matéria seca até os 82 dias de seu desenvolvimento. Os resíduos adicionados ao solo com esta espécie alcançaram o equivalente a $4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, superando significativamente a maioria dos outros tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5: Características dos resíduos dos adubos verdes aplicados ao solo antes do plantio de milho.

Resíduos	Matéria seca g m^{-2}	Nitrogênio		Carbono mg g^{-1}	C:N	Polifenóis mg g^{-1}
		mg g^{-1}	g m^{-2}			
Soja	97,7 c	20,5 b	1,92 b	418,1	21 b	24,8 a
Mucuna	352,8 ab	26,9 a	9,22 a	432,6	16 b	20,2 ab
Crotalária PD	464,0 a	20,5 b	9,47 a	415,3	20 b	5,6 c
Crotalária PC	476,0 a	19,5 b	9,33 a	393,8	20 b	5,1 c
Veg. Natural PD	248,5 bc	8,7 c	2,21 b	463,2	54 a	15,5 b
Veg. Natural PC	288,8 b	8,7 c	2,51 b	467,0	55 a	18,0 ab

PD = plantio direto, PC = plantio convencional.

Letras diferentes entre tratamentos indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p < 0.05$).

Considerando as severas limitações na fertilidade do solo, os rendimentos alcançados pela crotalária e mesmo pela mucuna, podem ser considerados adequados e colocam estas espécies como promissoras para utilização, nestas condições, como adubos verdes. A soja

apresentou rendimentos de matéria seca muito baixos, que foram devidos não só à baixa densidade de plantas nas parcelas, mas também, ao pobre crescimento da cultura. Além disso, considera-se que a variedade de soja utilizada (EMBRAPA 48) é apropriada para a produção de grãos com alto índice de colheita, e não parece ser indicada para alta produção de biomassa vegetal.

O teor de nitrogênio encontrado na mucuna superou significativamente às outras leguminosas. Como consequência, apesar de ter rendido menor quantidade de biomassa, a quantidade de nitrogênio depositada no solo pela mucuna foi equivalente a $92,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, igualando à fornecida pela crotalária, que aportou quantidades equivalentes a $93,3$ e $94,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. A soja, apesar de seu alto teor de nitrogênio, só forneceu para o solo, em média, $19,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, quantidade similar à contribuição da vegetação natural espontânea (Tabela 5). Em geral, as leguminosas apresentaram teores mais altos de nitrogênio em relação à vegetação natural, composta principalmente de gramíneas de porte baixo.

O teor de carbono presente nos adubos verdes não foi estatisticamente diferente entre os tratamentos. Mas, a baixa concentração de nitrogênio na vegetação natural foi determinante para obter maior relação C:N em comparação à observada nas leguminosas, aportando ao solo um resíduo de menor qualidade (Tabela 5). Supõe-se que as leguminosas, pela menor relação C:N apresentada, estariam sujeitas a uma mais rápida decomposição e liberação de nitrogênio para o milho, fornecendo um resíduo de melhor qualidade do que a vegetação natural.

O conteúdo de polifenóis solúveis (Tabela 5), diferiu estatisticamente para os diferentes resíduos. A soja apresentou a mais alta concentração destes compostos, enquanto que na crotalária observou-se o contrário. Os compostos polifenólicos influenciam os

diferentes padrões de mineralização dos resíduos vegetais (PALM & SÁNCHEZ, 1991), já que combinam-se com outros compostos nitrogenados para formar polímeros húmicos que resistem à decomposição (VALLIS & JONES, 1973). Neste experimento, os teores de polifenóis contidos nas leguminosas e na vegetação natural estiveram em níveis mais baixos do que os encontrados em mucuna (*M. pruriens*) (TIANG & KANG, 1998), e outras leguminosas de crescimento arbustivo (CONSTANTINIDES & FOWNES, 1994; FOX et al., 1990; PALM & SANCHEZ, 1991). Níveis de polifenol entre 1,8 e 8,2 % encontrados em diferentes leguminosas por FOX et al. (1990) não mostraram uma relação significativa com a mineralização de N, no entanto, a relação lignina + polifenol:N foi negativamente correlacionada com a mineralização líquida de N, confirmando que estes constituintes da planta tornam-se os principais constituintes de polímeros húmicos de natureza recalcitrante que reduzem as taxas de mineralização de N. Outros autores (OGLESBY & FOWNES, 1992) têm encontrado uma correlação negativa significativa entre o teor de polifenóis e a mineralização do nitrogênio em leguminosas arbóreas utilizadas como adubos verdes, as quais geralmente, apresentam teores de lignina mais altos do que os encontrados em leguminosas de crescimento determinado.

Na amostragem realizada aos 55 dias após do plantio de milho (Tabela 6), os resíduos nas parcelas de plantio convencional (incorporação dos resíduos) encontravam-se misturados com o solo, pelo qual não foi possível estimar a quantidade que poderia ainda estar presente no solo sem decompor. Nas parcelas sob plantio direto os resíduos encontravam-se parcialmente decompostos, permanecendo principalmente os materiais mais fibrosos. Os resíduos de crotalária estavam presentes em maior quantidade, mas o teor de nitrogênio diminuiu de forma considerável em relação ao teor inicial (Tabelas 5 e 6). O

material remanescente da crotalária estava formado principalmente dos caules, e caracterizava-se por apresentar uma maior relação C:N do que os resíduos de mucuna. Os resíduos de mucuna, devido ao seu alto teor de nitrogênio ($18,1 \text{ mg g}^{-1}$ de N) e por ser menos fibroso, permaneceu somente em pequenas quantidades de biomassa em comparação à quantidade aplicada inicialmente (Tabelas 5 e 6). A maior parte do nitrogênio da mucuna e crotalária (aproximadamente 82%), foi liberada aos 55 dias após a aplicação na superfície do solo, coincidindo com a etapa de desenvolvimento vegetativo do milho, quando a demanda de nitrogênio normalmente é alta.

Aos 55 dias após o plantio de milho, os resíduos de crotalária remanescentes no solo foram equivalentes a 47% do aplicado inicialmente, enquanto que, os resíduos de mucuna e soja, pela rápida decomposição a que estiveram sujeitos, só apresentaram-se em 29 e 35 % do aplicado, respectivamente. Já a vegetação natural, por apresentar baixo teor de nitrogênio e alta relação C:N, sofreu lenta decomposição encontrando-se no solo 59 % da biomassa inicialmente aplicada.

Tabela 6: Características dos resíduos dos adubos verdes a 55 dias após aplicação no solo.

Resíduos	Matéria seca	Nitrogênio		Carbono	C:N
	g m^{-2}	mg g^{-1}	G m^{-2}	mg g^{-1}	
Soja	34,2 b	17,6 a	0,6 b	420,8 bc	24 b
Mucuna	95,2 b	18,1 a	1,69 a	457,4 a	28 b
Crotalária PD	217,1 a	8,3 b	1,74 a	445,1 ab	54 a
Veg. Natural PD	139,8 ab	9,6 b	1,33 ab	406,3 c	42 a

Letras diferentes entre tratamentos indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3.5. Cultura de milho

A produção de matéria seca, teor de nitrogênio e nitrogênio total das partes vegetativas e da espiga do milho, não apresentaram diferenças estatísticas significativas para nenhum dos tratamentos de adubação verde. No entanto, de todos os tratamentos avaliados, a adubação com crotalária incorporada (sistema de plantio convencional) favoreceu um melhor desenvolvimento do milho e produziu os maiores resultados de matéria seca e nitrogênio total (Tabela 7).

Tabela 7: Produção de matéria seca, teor de nitrogênio e nitrogênio total acumulado pela cultura de milho, sob diferentes tratamentos com adubação verde.

Tratamento	Matéria seca			Teor de Nitrogênio		Nitrogênio total		
	g m ⁻²			mg g ⁻¹		g m ⁻²		
	Planta	Espiga	Total	Planta	Espiga	Planta	Espiga	Total
Soja PD	242	77	319	12,2	13,2	294	102	396
Mucuna PD	275	121	396	15,9	13,2	345	159	504
Crotalária PD	259	97	356	11,9	13,6	307	131	438
Crotalária PC	350	172	522	11,4	13,5	397	232	629
Veg.Natural PD	234	148	382	13,2	11,9	310	176	486
Veg. Natural PC	210	67	277	13,0	15,8	273	106	379
C.V.	24,0	58,5		14,7	12,0	21,5	50,4	

A produção de matéria seca do milho em plantio convencional com o tratamento de crotalária (equivalente a $5,22 \text{ Mg ha}^{-1}$), superou em 32 % à produção de matéria seca obtida em plantio direto com crotalária (equivalente a $3,56 \text{ Mg ha}^{-1}$), e em 47% ao plantio convencional sem leguminosa (vegetação natural, equivalente a $2,77 \text{ Mg ha}^{-1}$). Neste último caso, tinham-se aplicado à cultura do milho 60 kg ha^{-1} de N, além da fertilização comum de 70 kg ha^{-1} de N aplicada em todos os tratamentos, perfazendo-se um total de 130 kg ha^{-1} de N para este tratamento.

No tratamento com mucuna, o milho apresentou um desenvolvimento bastante vigoroso, evidenciado pelo maior teor de nitrogênio encontrado nas partes vegetativas. No entanto, o acúmulo total de N pelo milho neste tratamento foi similar ao obtido com vegetação natural, em plantio direto.

Os baixos rendimentos de milho obtidos com a aplicação ou incorporação das leguminosas, mais a adição de 70 kg ha^{-1} de N, e com a vegetação natural, mais 130 kg de N (tratamento 6), evidenciam a baixa eficiência na recuperação do N do fertilizante. Esta baixa eficiência só pode ser explicada tomando em conta as características do solo (Tabela 1 do apêndice). O solo por ser extremamente arenoso, apresenta baixa capacidade de retenção de umidade e de nutrientes, estando sujeito a maiores 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.

Pode-se considerar que a melhor resposta do milho à aplicação dos resíduos de crotalária e ao plantio convencional tenha sido devida à liberação gradual do N do adubo verde, melhorando a disponibilidade do nitrogênio na camada arável do solo. Neste tratamento o fato dos resíduos sofrerem fracionamento durante a gradagem e serem

misturados com o solo, pode ter favorecido a atividade microbiana para uma mais rápida mineralização, inclusive do material mais fibroso da crotalária. Pelo contrário, nas parcelas com soja, a baixa quantidade de resíduos de baixa relação C:N adicionados ao solo pode ter favorecido a perda de nitrogênio nativo por lixiviação, ao acelerar o processo de mineralização da matéria orgânica do solo.

Neste experimento, as quantidades de adubo verde adicionada ao solo, apesar de ter proporcionado mais de 90 kg ha^{-1} de N, foram insuficientes para proporcionar os benefícios que normalmente obtém-se com esta prática agrícola, devido à baixa capacidade do solo para reter nutrientes. No entanto, a adição consecutiva de leguminosas ao longo de vários anos, poderia contribuir para melhorar a fertilidade do solo e, por conseguinte, para aumentar o rendimento do milho ou de outras culturas adaptadas a estas condições.

3.4. Conclusões

1. As leguminosas crotalária e mucuna cinza foram mais produtoras de biomassa e nitrogênio quando comparadas a soja, demonstrando melhor adaptabilidade às condições de solo e clima em que desenvolveu-se o presente estudo.
2. Pelo baixo rendimento do milho obtido nos tratamentos com a aplicação de leguminosas, o valor destas plantas como adubo verde para a cultura não foi significativo.
3. Em relação ao manejo dos adubos verdes, existiu uma tendência à obtenção de maiores rendimento de matéria seca e acumulação de nitrogênio pela cultura de milho com a incorporação de adubo verde em comparação com a aplicação sobre a superfície do solo.

4. CAPITULO II

Contribuição de nitrogênio proveniente das partes aéreas e subterrâneas do feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), e da mucuna cinza (*Mucuna* sp.) na nutrição de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), utilizando a técnica de marcação foliar com ^{15}N

4.1. Introdução

A dinâmica do nitrogênio proveniente de resíduos de espécies de leguminosas no solo e seu aproveitamento pelas culturas subseqüentes, é freqüentemente estudado empregando-se técnicas de ^{15}N , seja utilizando métodos indiretos baseados no uso de fertilizantes enriquecidos com o isótopo ou diretamente através da marcação de resíduos orgânicos que posteriormente se incorporam ao solo em estudos de incubação. Estes estudos, apesar de refletirem condições bastante realísticas, não proporcionam informações completas e

precisas sobre a contribuição das raízes e de suas taxas de decomposição e liberação de nutrientes em condições de solo não perturbado (MARTIN, 1989)

Na maioria dos estudos de avaliação do rendimento biológico de diversas culturas como efeito de tratamentos de adubação, mesmo nos estudos de eficiência de recuperação dos nutrientes aplicados ao solo, via fertilizantes, geralmente não se tem em consideração a fração radicular. Esta fração sempre tem sido considerada desprezível, possivelmente pela dificuldade de recuperação completa das raízes distribuídas no perfil do solo. Hoje o estudo desta parte das culturas vem assumindo maior importância, seja como fonte de matéria orgânica para o solo e na disponibilidade de nutrientes. No caso da cultura de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) e pastagens produtivas de *Brachiaria*, as raízes que podem acumular ao redor de 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca, é considerada como uma das melhores maneiras de fixar e/ou seqüestrar carbono no solo, contribuindo para a preservação ambiental (SOUTO et al., 1993). Do ponto de vista da influência das raízes na dinâmica e disponibilidade de outros nutrientes, as informações são escassas.

A importância das raízes de uma cultura na nutrição das culturas subseqüentes provêm do fato de que, dependendo da espécie, elas podem contribuir até com cerca de um terço da biomassa total das leguminosas (TIANG & KANG, 1998). No entanto, a dificuldade na determinação da biomassa radicular em condições de campo, não permitem conhecer seu verdadeiro potencial para a nutrição vegetal. Em alguns casos, considera-se que o aporte das raízes pode ser insignificante, tanto na quantidade como na qualidade do resíduo que permanece no solo, mas os resultados observados no rendimento de culturas que seguem a uma leguminosa em uma rotação, mesmo que a parte aérea desta seja removida, sugerem que as raízes possuem um importante papel na nutrição vegetal

(ZOTARELLI et al., 1999), contribuindo para o balanço positivo de N do sistema solo-planta.

A estimativa da contribuição do sistema radicular como fonte de N para o solo pode ser avaliada através de técnicas de marcação de plantas com ^{15}N , “in situ”. Esta marcação pode ser realizada por alimentação das plantas com uma solução de ^{15}N pela via foliar, pecíolo ou caule. A uréia e o nitrato de potássio têm sido os compostos mais utilizados como fonte de ^{15}N (JENSEN, 1996; McNEILL et al., 1997; GLASNER et al., 1998). Alguns fatores como concentração de ^{15}N da solução utilizada, frequência e tempo de administração da solução, devem ser considerados ao planejar-se um experimento cujo objetivo seja a marcação de plantas com ^{15}N através de suas folhas, visando a obtenção de enriquecimentos uniformes e mensuráveis do isótopo no sistema radicular das plantas.

A técnica de marcação foliar com ^{15}N tem a premissa de que o isótopo distribui-se uniformemente em todo o sistema radicular e que qualquer enriquecimento de ^{15}N , acima da abundância natural encontrada no solo, provém das raízes. Portanto, através deste enriquecimento, é possível fazer uma estimativa da contribuição de raízes finas, vivas ou mortas, e exsudados radiculares, que normalmente não são quantificados com as técnicas convencionais de separação de raízes.

Com o propósito de determinar a contribuição do N do sistema radicular e da parte aéreas de duas espécies de leguminosas empregadas como adubo verde para a nutrição de uma cultura seguinte, realizou-se este experimento em casa de vegetação. Um dos objetivos foi avaliar a efetividade da técnica de marcação foliar com ^{15}N na quantificação do nitrogênio das partes subterrâneas remanescentes no solo proveniente das culturas, e o

outro, determinar a transferência do N proveniente dos adubos verdes para a cultura subsequente.

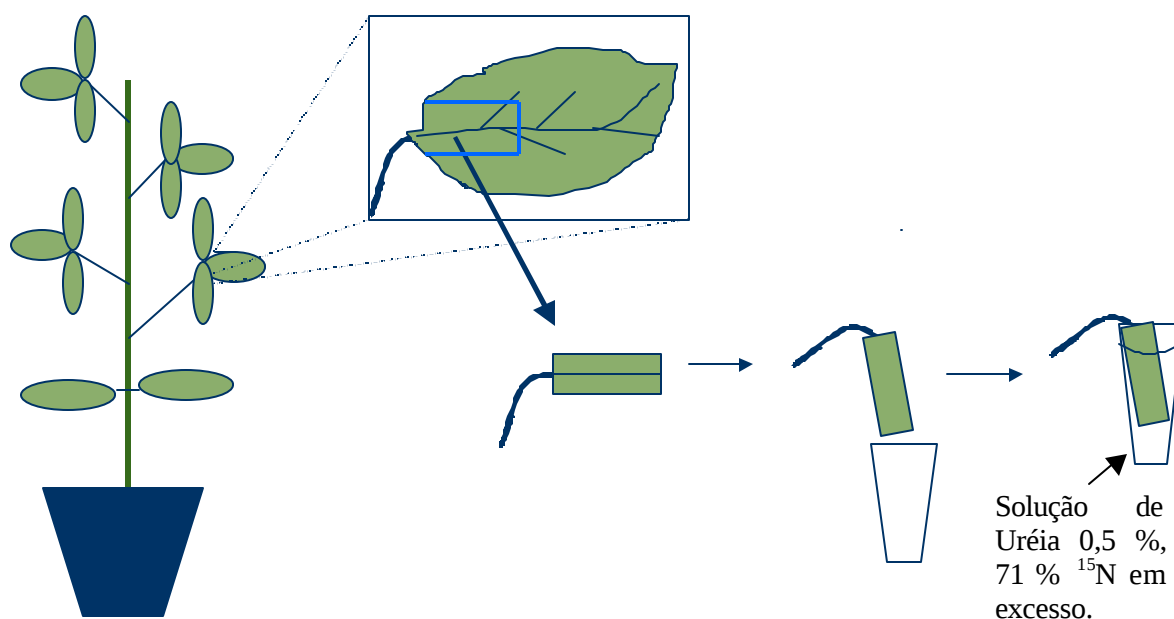
4.2. Materiais e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação na EMBRAPA-Agrobiologia, de fevereiro a junho de 1999, por um período de 20 semanas. Nas 10 primeiras semanas, foi desenvolvida a primeira parte do experimento, que consistiu no desenvolvimento e marcação foliar das leguminosas com ^{15}N , com o propósito de quantificar o N das raízes remanescentes no solo. Nas 10 semanas seguintes avaliou-se a contribuição de N das partes aéreas e subterrâneas das leguminosas para a cultura de sorgo.

4.2.1. Marcação das leguminosas com ^{15}N e quantificação de raízes remanescentes no solo

Neste experimento utilizaram-se 35 vasos, cada um contendo 12,5 kg de solo correspondente a um Planossolo da série Ecologia, com as características químicas descritas na Tabela 1 do Apêndice. O solo foi secado e peneirado por 2 mm antes de ser colocado dentro dos vasos. Em 10 vasos plantou-se mucuna cinza, e em outros 10 feijão de porco, colocando quatro sementes por vaso. Nesta fase, quinze vasos ficaram sem plantar e foram utilizados na segunda fase. Uma semana depois da emergência das leguminosas, deixaram-se somente duas plantas em cada vaso.

Um mês após o plantio iniciou-se a marcação foliar das plantas selecionando-se as folhas mais desenvolvidas da planta. Em uma delas, cortou-se a parte do limbo foliar e deixou-se somente uma porção do tecido foliar ao redor da nervura principal. Esta pequena porção de folha foi introduzida num minifrasco, que continha 1 ml de solução de uréia 0,5 % marcada com 71,3 % átomos de ^{15}N . Imediatamente, o frasco foi fechado ao redor do pecíolo, utilizando algodão hidrófobo e durex, e envolveu-se em papel alumínio a efeito de reduzir a evaporação e concentração da solução. Com intervalo de três dias realizou-se uma segunda e terceira marcação, de forma que no curso de 9 dias tinham-se administrado 3 ml de solução de uréia contendo 6,9 mg de N por planta. O esquema 1 mostra o procedimento seguido para realizar a marcação foliar nas leguminosas.



Esquema 1. Procedimento utilizado para efetuar a marcação foliar das leguminosas com ^{15}N .

Durante o período de marcação das plantas teve-se especial cuidado para evitar a contaminação do solo com a solução de uréia marcada com ^{15}N e com o material vegetal senescente. Para isso, os vasos foram revisados diariamente e as folhas senescentes foram recolhidas e conservadas secas enquanto as leguminosas permaneceram crescendo nos vasos.

Dez semanas após o plantio, as leguminosas foram coletadas. Cinco vasos com mucuna cinza e cinco com feijão de porco, foram utilizados para determinar a uniformidade da marcação com ^{15}N nas diferentes partes das plantas. Em tais vasos, as partes subterrâneas foram coletadas cuidadosamente, tratando de retirar a maior quantidade possível de raízes finas e a totalidade dos nódulos. Estas partes foram lavadas para retirar o excesso de solo e secadas com papel absorvente antes de serem colocadas na estufa a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. A parte aérea foi coletada e pesada em fresco e igualmente colocada na estufa à mesma temperatura. Todo o material coletado foi retirado da estufa aproximadamente 72 horas depois, e determinou-se o peso da matéria seca de cada uma das partes das plantas.

Os nódulos e seções de raízes primárias, secundárias, raízes finas, assim como folhas novas, maduras, material senescente, pecíolos e caules, foram analisadas separadamente determinando-se o teor de nitrogênio e enriquecimento de ^{15}N , por espectrometria de massa, com o propósito de avaliar a uniformidade de marcação em cada uma das partes das plantas.

O solo proveniente dos vasos foi pesado úmido e colocado em lugar arejado, até que ficasse seco. Determinou-se o conteúdo de umidade e tomou-se uma amostra de cada vaso para análise de nitrogênio total e enriquecimento de ^{15}N .

A efetividade da marcação foi determinada segundo a percentagem de recuperação do ^{15}N administrado. Além disso, determinou-se a proporção de N derivado das partes subterrâneas que permaneceram no solo após a remoção de raízes.

Para obter a percentagem de recuperação do ^{15}N -fertilizante da solução administrada, utilizaram-se as seguintes equações:

a) Fração de nitrogênio na planta derivado do N da solução administrada (Nddsol):

$$\text{Nddsol} = (\%^{15}\text{N a.e. planta}) / (\%^{15}\text{N a.e. na solução})$$

b) Quantidade de ^{15}N -fertilizante na planta:

$$\text{mg de } ^{15}\text{N-fert. planta} = \text{mg de N total planta} \times \text{Nddsol}$$

c) Recuperação de ^{15}N -fertilizante aplicado:

$$\% \text{ de Recuperação} = (\text{mg de } ^{15}\text{N-fert. planta} / \text{Total N na solução}) \times 100$$

A quantificação do N proveniente das partes subterrâneas remanescentes no solo foi calculada pelas seguintes equações:

d) Quantidade de ^{15}N -fertilizante no solo (que provem das raízes remanescentes e exsudados radiculares no solo):

$$\text{mg de } ^{15}\text{N-fert. no solo} = (\text{g de N no solo} \times \% ^{15}\text{N-fert. no solo}/100) \times 1000$$

Assumindo similares enriquecimentos de ^{15}N nas raízes remanescentes e as recuperadas (McNEILL et al., 1997):

f) Nitrogênio total das raízes remanescentes no solo:

$$\text{N raízes rem.} = (\text{mg de } ^{15}\text{N no solo} / \% ^{15}\text{N das raízes recuperadas}) \times 100$$

4.2.2. Contribuição de N das leguminosas para a cultura de sorgo

Para avaliar a contribuição de nitrogênio derivado das partes aéreas e subterrâneas das leguminosas utilizaram-se 25 vasos. Cinco vasos tinham sido plantados com feijão de porco e cinco com mucuna cinza, com duas plantas por vaso que foram manejadas e marcadas com ^{15}N da mesma forma descrita anteriormente. Dez semanas após o plantio, a parte aérea das leguminosas foi cortada na superfície do solo. O material fresco colhido foi pesado e colocado sobre o solo de cada um dos outros vasos que não tinham sido plantados com leguminosa na primeira fase do estudo. O solo dos vasos onde as leguminosas foram cortadas permaneceram sem perturbação, e foram utilizados para avaliar a contribuição das raízes na nutrição nitrogenada de sorgo. Cinco vasos que não tiveram leguminosa foram utilizados como testemunhas.

Para este ensaio utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com 5 repetições. Os tratamentos foram:

1. Testemunha (solo sem leguminosa)
2. Solo com parte aérea do feijão de porco
3. Solo com parte aérea da mucuna cinza
4. Solo com raízes do feijão de porco
5. Solo com raízes da mucuna cinza

Dez dias após a coleta das leguminosas, procedeu-se ao plantio de sorgo. Em cada vaso colocaram-se seis sementes de sorgo e aos 7 dias após da germinação deixaram-se quatro plantas por vaso. As plantas foram irrigadas diariamente e duas vezes por semana receberam 10 ml de solução nutritiva de Hoagland, sem nitrogênio. As plantas de sorgo foram coletadas 8 semanas após o plantio. Determinou-se a massa seca, o conteúdo de nitrogênio total e o enriquecimento de ^{15}N das plantas.

Para estimar a eficiência de recuperação do N da leguminosa utilizaram-se as seguintes equações:

g) Fração de nitrogênio proveniente das leguminosas (Nddleg):

$$\text{Nddleg} = \%^{15}\text{N a.e. no sorgo} / \%^{15}\text{N a.e. nos resíduos da leguminosa aplicada}$$

h) Quantidade de nitrogênio derivado das leguminosas:

$$\text{mg de Nddleg} = \text{mg de N total nas plantas de sorgo} \times \text{Nddleg}$$

- i) Eficiência de recuperação do N da leguminosa pela cultura de sorgo:

$$\% \text{ recuperação do N aplicado} = (\text{mg N}_{\text{ddleg}} \text{ no sorgo} / \text{Total N-leg. aplicado}) \times 100$$

Os resultados de matéria seca, teor de nitrogênio, nitrogênio total, enriquecimento de ^{15}N , nitrogênio derivado da leguminosa e recuperação do N aplicado nas plantas de sorgo, foram submetidas a análise de variância considerando o delineamento em blocos ao acaso e teste de Tukey para comparação de médias, nos casos de significância estatística.

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Marcação foliar das leguminosas com ^{15}N

Em termos gerais, o feijão de porco apresentou uma melhor adaptação às condições de crescimento em vasos, evidenciada pela maior produção de biomassa e maior vigor das plantas em comparação à mucuna cinza (Tabela 8). Esta última não apresentou as características de crescimento vegetativo observado no campo, desenvolvendo folhas menores e com tendência a cair prematuramente.

A mucuna cinza, além de produzir menor biomassa aérea, caracterizou-se por grande perda de folhas senescentes, como demonstrado pela proporção de folhas senescentes. De 8,66 g de matéria seca de parte aérea produzida pela mucuna cinza, 1,69 g foram de folhas senescentes, equivalente a 19,5 % do acumulado na parte aérea. No feijão de porco as folhas senescentes só representaram 10 % do acumulado na parte aérea (Tabela 8),

demostrando que as condições de crescimento em vasos produziram mais estresse na mucuna cinza.

Tabela 8: Acumulação de matéria seca e nitrogênio total por feijão de porco e mucuna cinza.

Partes vegetativas	Matéria seca g vaso ⁻¹		Nitrogênio mg vaso ⁻¹	
	Feijão de porco	Mucuna	Feijão de porco	Mucuna
Folhas verdes	7,25 ± 1,0	4,11 ± 0,3	173 ± 18,6	109 ± 10,2
Pecíolo	2,32 ± 0,4	1,58 ± 0,1	38 ± 8,7	25 ± 1,3
Caule	4,02 ± 0,5	1,28 ± 0,2	57 ± 9,1	16 ± 3,0
Folhas senescentes	1,50 ± 0,4	1,69 ± 0,1	25 ± 5,1	22 ± 1,6
Raízes recuperadas	3,29 ± 0,3	4,22 ± 0,6	54 ± 5,9	87 ± 11,7
Nódulos	1,38 ± 0,1	0,53 ± 0,1	85 ± 8,4	31 ± 3,8
Subtotal				
Parte aérea	15,08 ± 1,7	8,66 ± 0,3	293 ± 35,0	173 ± 12,4
P. subterrânea	4,67 ± 0,4	4,75 ± 0,6	139 ± 12,2	118 ± 10,4
Total	19,75 ± 2,1	13,41 ± 0,6	432 ± 40,5	290 ± 16,6

Em geral, o feijão de porco superou em 32,1 e 42,6 % à mucuna cinza, na produção de matéria seca total e das partes aéreas, respectivamente. Pelo contrário, a matéria seca das partes subterrâneas (raízes recuperadas e nódulos), foram levemente superiores na mucuna

cinza, e representaram 35,4 % da matéria seca total da sua biomassa, enquanto no feijão de porco as partes subterrâneas representaram 23,6 % do total (Figura 14).

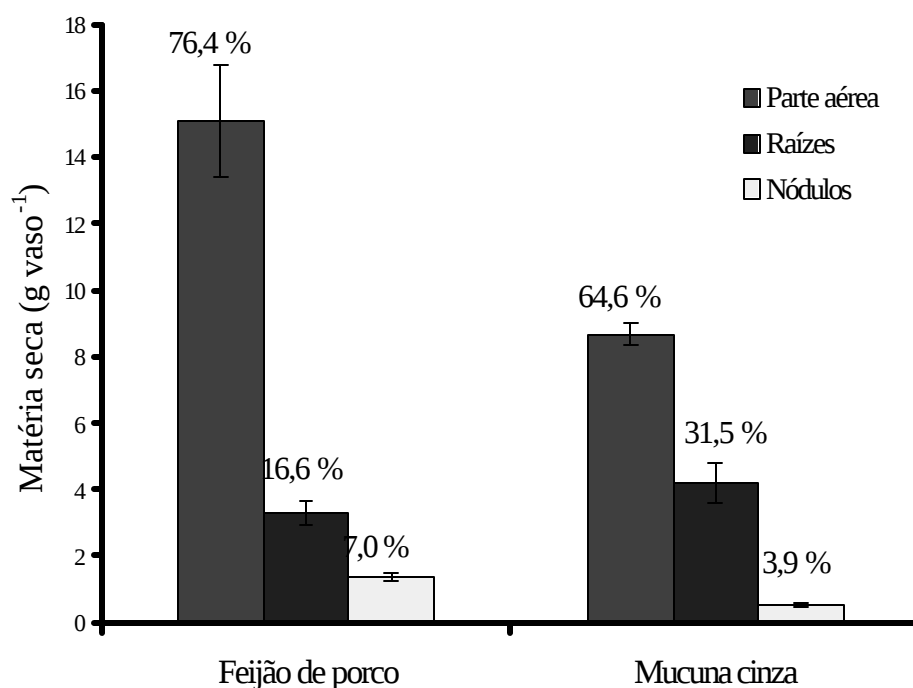


Figura 14: Proporção de matéria seca produzida pelas partes vegetativas de feijão de porco e mucuna cinza.

As diferentes proporções encontradas na matéria seca das partes aérea e subterrânea nas leguminosas em estudo, podem ter sido devidas à diferente adaptação de cada espécie ao estresse ocasionado pelo crescimento em vasos, onde o fornecimento de nutrientes é até certo ponto limitado pelo reduzido volume de solo que as raízes exploram.

Tem-se reconhecido por vários autores (THORNLEY, 1972; WATTS et al., 1981; WILSON, 1988) que diferentes condições ambientais, principalmente água e macro nutrientes, quando presentes em quantidades limitadas para o desenvolvimento vegetal,

tendem a causar uma redução na relação parte aérea: raízes devido a que o crescimento da parte aérea se torna mais afetado do que o crescimento das raízes. CARMI & HEUER (1981) observaram que o crescimento em um volume de solo muito reduzido afetou o crescimento de ambas as partes da planta, mas a relação parte aérea:raízes foi menor em vasos que tinham recebido menor suprimento de nutrientes do que naqueles que receberam uma dose adequada. TIANG & KANG (1998) observaram maior proporção de raízes em relação à matéria seca total em leguminosas crescendo em solo de baixa fertilidade, e consideraram que este maior desenvolvimento de raízes foi uma resposta da planta para absorver maior quantidade de nutrientes de um solo pobre em elementos nutritivos.

Pode-se então inferir que, neste estudo, a mucuna cinza comportou-se como uma espécie muito mais sensível à baixa fertilidade do solo do que o feijão de porco, uma vez que, por um lado, sua massa radicular atingiu maior desenvolvimento para melhor exploração do solo, e por outro, o acúmulo de matéria seca da parte aérea foi mais reduzido como consequência do estresse nutricional a que as plantas foram submetidas no crescimento em vasos.

Ainda que a mucuna tenha apresentado maior massa de raízes, os nódulos só representaram 11 % do total da parte subterrânea (Figura 14). No feijão de porco, a massa de seus nódulos foi equivalente a 30 % do total da parte subterrânea. O fato do feijão de porco apresentar maior massa de nódulos pode ser um indicativo de maior potencial de fixação do N_2 atmosférico (Dobereiner et al., 1966), em relação a mucuna cinza, evidenciado pela coloração verde mais intensa das folhas e o maior vigor apresentado por estas plantas.

O total de nitrogênio acumulado pelo feijão de porco na planta completa, superou em 33 % o acumulado pela mucuna cinza (Tabela 8). Mas, como consequência de maior produção de matéria seca e maior teor de nitrogênio nas raízes da mucuna cinza, obteve-se maior acúmulo deste elemento na sua massa radicular em comparação ao feijão de porco (Tabela 8).

Em relação ao teor de nitrogênio, a parte aérea do feijão de porco apresentou valores entre 14,1 a 47,4 mg g⁻¹, e na mucuna cinza entre 12,5 a 42,7 mg g⁻¹ (Tabela 9). Os teores mais baixos foram encontrados nos caules e os mais altos nas folhas novas de ambas as leguminosas. Em ambas as espécies, observaram-se grandes variações no conteúdo de nitrogênio entre as folhas novas, maduras e senescentes.

Nas raízes, a mucuna cinza apresentou teor mais alto de N, mas em ambas leguminosas observou-se que as raízes primárias tinham menor teor de nitrogênio que as raízes secundárias e estas menor do que as raízes finas. Os nódulos apresentaram elevado teor de nitrogênio e baixo enriquecimento de ¹⁵N, demonstrando a intensa atividade fixadora de N₂ em ambas espécies (Tabela 9).

Encontraram-se amplas variações no enriquecimento de ¹⁵N, tanto entre espécies como entre as diferentes partes das plantas (Tabela 9). No feijão de porco, as folhas maduras apresentaram os valores mais altos de enriquecimento de ¹⁵N. É possível que nas folhas novas, por estarem em crescimento ativo, a utilização do nitrogênio derivado da FBN seja mais importante, ocasionando a diluição do N administrado pela via foliar, explicando assim o baixo enriquecimento de ¹⁵N nos tecidos novos.

Nas folhas senescentes do feijão de porco, os menores enriquecimentos de ¹⁵N podem ter sido ocasionados pelo fato de que a marcação realizou-se nas folhas localizadas

imediatamente acima delas. É muito provável que nesta leguminosa a translocação de ^{15}N tenha ocorrido com maior eficiência no sentido das partes superiores e não abaixo do sítio da marcação, o que também explicaria o fato de que as raízes também apresentaram baixo enriquecimento do isótopo (Tabela 9).

Tabela 9: Teor de nitrogênio e enriquecimento de ^{15}N em diferentes partes vegetativas de feijão de porco e mucuna cinza.

Partes vegetativas	Teor de nitrogênio		^{15}N excesso	
	mg g ⁻¹		%	
	Feijão de porco	Mucuna	Feijão de porco	Mucuna
Folhas				
Novas	47,4 ± 5,2	42,7 ± 4,2	0,468 ± 0,23	1,000 ± 0,14
Maduras	24,5 ± 2,1	26,6 ± 1,1	1,188 ± 0,20	1,700 ± 0,11
Senescentes	17,3 ± 2,4	13,0 ± 0,3	0,726 ± 0,23	2,147 ± 0,13
Pecíolo	15,7 ± 1,2	16,1 ± 1,2	1,239 ± 0,23	1,552 ± 0,10
Caule	14,1 ± 1,5	12,5 ± 0,6	0,786 ± 0,10	1,324 ± 0,10
Raízes				
Primárias	1,44 ± 0,13	1,81 ± 0,04	0,394 ± 0,06	1,598 ± 0,07
Secundárias	1,64 ± 0,02	2,07 ± 0,04	0,405 ± 0,10	1,645 ± 0,07
Finas	1,87 ± 0,09	2,26 ± 0,06	0,431 ± 0,10	1,526 ± 0,06
Nódulos	6,16 ± 0,29	5,92 ± 0,24	0,205 ± 0,02	0,587 ± 0,03

Na mucuna cinza, observa-se também um menor enriquecimento de ^{15}N nas folhas novas, mas diferentemente do feijão de porco, as folhas senescentes apresentaram um alto enriquecimento (Tabela 9). Este comportamento pode ser explicado no sentido que as folhas senescentes provinham das partes mais próximas do sítio onde efetuou-se a marcação. Por outro lado, na mucuna cinza, com exceção das folhas senescentes e maduras, ocorreu uma uniforme marcação com ^{15}N da maioria dos órgãos avaliados. Além disso, pela mucuna ter sofrido maior estresse nas condições de crescimento em vasos, é muito possível que a proporção de fixação de nitrogênio tenha-se reduzido consideravelmente em comparação ao feijão de porco. Isto deduz-se a partir da observação de que a massa dos nódulos, além de ser muito menor do que no feijão de porco, apresentou maior enriquecimento de ^{15}N .

Em termos gerais, a mucuna cinza apresentou maior uniformidade no enriquecimento do ^{15}N nos seus tecidos em comparação ao feijão do porco (Figura 15). As raízes do feijão de porco apresentaram-se pobremente marcadas com o isótopos, indicando uma maior diluição do ^{15}N nos tecidos que pode estar associada à maior fixação de nitrogênio e à maior produção de matéria seca total. O contrário poder ter ocorrido na mucuna cinza, em que observou-se maior concentração de ^{15}N nas diferentes partes da planta. Isto leva a afirmar que a técnica de marcação foliar pode ser mais efetiva em umas espécies que em outras, e que depende de um período de estabilização entre crescimento e distribuição do N nos tecidos. É muito provável que o ^{15}N fosse distribuído mais uniformemente após um período maior às 6 semanas que seguiram à marcação, mas também é provável que menores enriquecimentos de ^{15}N foram obtidos devido ao efeito de diluição.

Cabe mencionar que as condições climáticas que prevaleceram durante a condução do ensaio, caracterizadas por baixas temperaturas e alta nebulosidade, afetaram o desenvolvimento das leguminosas e consequentemente tiveram alguma influência na distribuição do isótopo ao ser reduzida sua atividade metabólica.

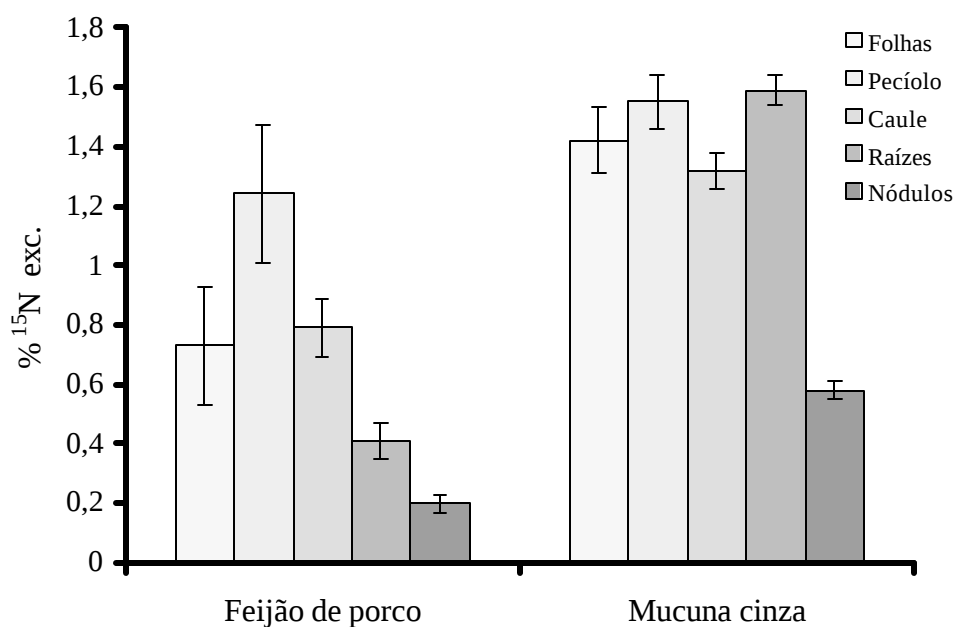


Figura 15: Enriquecimento médio de ^{15}N nas partes vegetativas de feijão de porco e mucuna cinza.

A marcação do ^{15}N nos tecidos das leguminosas refletiram diferenças na recuperação do ^{15}N administrado pela via foliar (Tabela 10). A marcação com ^{15}N das plantas apresentaram uma relativa uniformidade nas partes aéreas de ambas as leguminosas, sendo maior na mucuna cinza do que no feijão do porco. Maiores diferenças observaram-se nas

raízes e nódulos, sendo que as raízes da mucuna cinza derivaram mais nitrogênio da solução de forma similar às partes aéreas. Os nódulos de ambas as leguminosas apresentaram menor enriquecimento de ^{15}N , como esperado.

No feijão de porco a recuperação do N-fertilizante foi maior nas folhas do que nos outros tecidos, mas no caso da mucuna, as raízes e as folhas apresentaram resultados similares. No total, a recuperação do nitrogênio no feijão de porco alcançou 68,7 %, enquanto que na mucuna foi de 85,7 % (Tabela 10).

Tabela 10: Recuperação de N-fertilizante pelas diferentes partes vegetativas de feijão de porco e mucuna cinza.

Partes vegetativas	Nddsol %		% de Recuperação do N-fertilizante	
	Feijão de porco	Mucuna	Feijão de porco	Mucuna
Folhas	1,67 $\pm$ 0,29	2,40 $\pm$ 0,16	40,39 $\pm$ 6,88	40,80 $\pm$ 2,49
Pecíolo	1,75 $\pm$ 0,32	2,19 $\pm$ 0,13	8,04 $\pm$ 0,86	7,87 $\pm$ 0,27
Caule	1,11 $\pm$ 0,15	2,45 $\pm$ 0,08	8,45 $\pm$ 0,73	4,72 $\pm$ 0,54
Mat. Senescente	1,02 $\pm$ 0,33	3,02 $\pm$ 0,19	4,06 $\pm$ 1,73	9,68 $\pm$ 0,93
Raiz	0,58 $\pm$ 0,12	2,24 $\pm$ 0,07	4,31 $\pm$ 0,53	24,88 $\pm$ 3,58
Nódulos	0,29 $\pm$ 0,04	0,83 $\pm$ 0,04	3,45 $\pm$ 0,53	3,74 $\pm$ 0,49
	_____Média ponderada_____		_____Subtotal_____	
Parte aérea	1,55 $\pm$ 0,26	2,44 $\pm$ 0,12	60,94 $\pm$ 8,19	59,51 $\pm$ 3,29
P. subterrânea	0,40 $\pm$ 0,06	1,85 $\pm$ 0,12	7,76 $\pm$ 0,85	26,16 $\pm$ 2,23
Total	1,16 $\pm$ 0,18	2,20 $\pm$ 0,09	68,70 $\pm$ 8,83	85,67 $\pm$ 5,12

A perda do N-fertilizante nas leguminosas, especialmente no feijão de porco, pode ter sido ocasionada pela incompleta absorção da solução ocasionada por dois motivos: por um lado, o fundo mais estreito do frasco impediu que a solução fosse totalmente alcançada pela folha e por outro, em algumas plantas, observou-se necrose do tecido foliar antes de absorver totalmente a solução, indicando que a concentração tolerável pelas plantas pode variar de espécie para espécie. Também deve tomar-se em consideração que apesar do frasco ser fechado com algodão hidrofóbico e durex, alguma evaporação da solução pode ter ocorrido pela impossibilidade de se obter um sistema hermético.

4.3.2. Quantificação de N das raízes remanescentes no solo

Para quantificar o N das partes subterrâneas que permaneceram no solo após a separação das raízes por peneiramento, é necessário avaliar a premissa da técnica em relação à marcação uniforme com o isótopo ^{15}N de todo o sistema radicular. Observa-se na Tabela 9 que os enriquecimentos de ^{15}N nas raízes primárias, secundárias e finas eram muito similares em cada espécie em estudo, com a exceção dos nódulos, que pela intensa atividade fixadora de N_2 apresentaram valores de enriquecimento de ^{15}N muito baixos. Como os nódulos foram extraídos na totalidade durante o peneiramento do solo para a separação de raízes, utilizou-se o valor médio de ^{15}N em excesso contido nas raízes recuperadas para obter a estimativa de N das raízes remanescentes no solo.

Na tabela 11, observa-se o total de nitrogênio, o enriquecimento e a quantidade do ^{15}N fertilizante encontrado no solo, assim como a percentagem de nitrogênio derivado da

solução fertilizante, sendo evidente a grande diferença encontrada entre ambas as leguminosas em relação a estas variáveis. Estas diferenças podem ser consequência de uma menor recuperação de raízes finas da mucuna cinza durante o peneiramento do solo, mas também podem ser consequência do maior enriquecimento de ^{15}N nas raízes da mucuna em comparação ao feijão de porco (Tabela 9).

Tabela 11: Nitrogênio total e enriquecimento de ^{15}N no solo dos vasos utilizados na estimativa das partes subterrâneas das leguminosas.

Tratamento	Peso solo g vaso ⁻¹	N total		15 N excesso		Nddfert.
		%	mg vaso ⁻¹	%	mg vaso ⁻¹	
Testemunha	12.534	0,04	5.013	----	----	----
Feijão de porco	12.525	0,04	5.010	0,00451	0,22574	0,006
Mucuna cinza	12.517	0,04	5.008	0,01478	0,74018	0,020

As quantidades de nitrogênio estimadas como sendo das raízes remanescentes no solo foram muito similares para feijão de porco e mucuna cinza (Tabela 12), no entanto representaram diferente proporção em relação ao total de nitrogênio derivado das partes subterrâneas de ambas as leguminosas. Estas quantidades representaram 90,7 e 52,9 % em relação ao N das raízes recuperadas durante a separação do sistema radicular do feijão de porco e mucuna cinza, respectivamente. Destaca-se assim a importante contribuição de N das raízes remanescentes no sistema solo-planta e a valiosa aplicabilidade da técnica na quantificação do N radicular, que normalmente é subestimado através de técnicas convencionais.

Tabela 12: Nitrogênio total do material vegetativo colhido e das raízes remanescentes estimadas através da técnica de marcação com ^{15}N .

Partes Vegetativas	N total (mg vaso ⁻¹)	
	Feijão de porco	Mucuna cinza
Parte aérea	293	173
Raízes recuperadas	54	87
Raízes remanescentes	49	46
Nódulos	85	31
Total partes subterrâneas	188	164
Total planta completa	481	337

Na figura 16 observa-se que o nitrogênio proveniente das partes subterrâneas remanescentes no solo, constituem aproximadamente 10,2 % do total de N produzido pela planta completa do feijão de porco e 13,6 % do total de N produzido pela mucuna cinza. Estes resultados são bastante similares aos obtidos por McNEILL et al. (1997), que estimaram o N da rizodeposição de trevo subterrâneo em aproximadamente 10% do total de N da planta. SAWATSKY & SOPER, (1991) encontraram que, dependendo do estado de desenvolvimento de ervilha, entre 22 e 46 % do N das partes subterrâneas permaneceu no solo após a extração do sistema radicular.

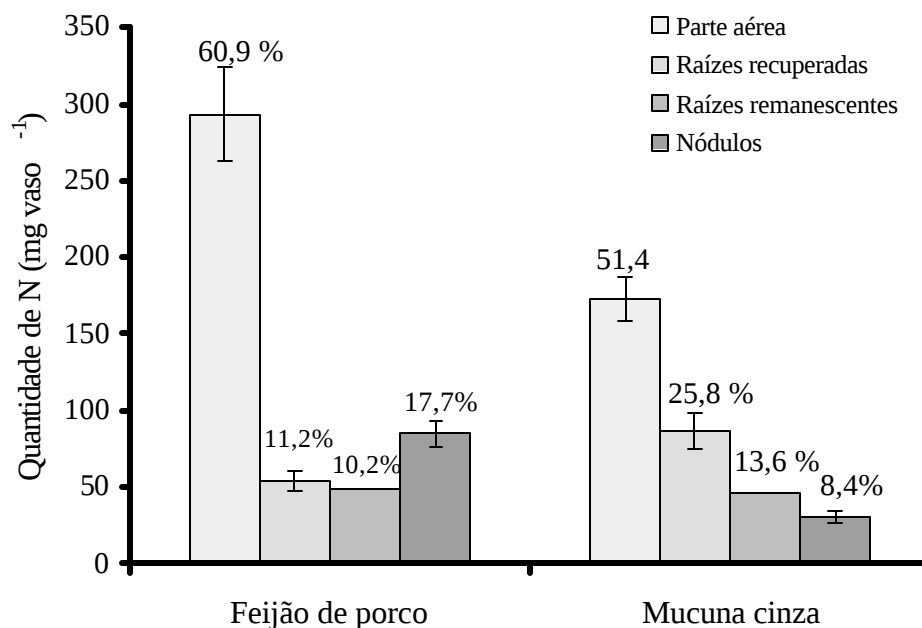


Figura 16: Quantidade de N-acumulado nas partes do feijão de porco e mucuna cinza e distribuição percentual do N acumulado.

4.3.3. Contribuição de N das leguminosas para a cultura de sorgo

Para medir a contribuição de nitrogênio das partes aéreas das leguminosas, adicionaram-se $16,68 \pm 0,79$ g de matéria seca de feijão de porco e $10,92 \pm 1,33$ g de matéria seca da mucuna cinza, respectivamente para os tratamentos 2 e 3. Estas quantidades de matéria seca foram coletadas em vasos diferentes a aqueles nos que avaliou-se a marcação foliar. Estimou-se o aporte de N em 345 mg no tratamento com feijão de porco e 244 mg no tratamento mucuna cinza, com base no teor médio de N das partes aéreas encontrado nos vasos em que foi avaliada a marcação foliar (Tabela 13)

No caso da avaliação da contribuição do N das raízes (tratamentos 4 e 5), considerou-se que as quantidades de matéria seca das partes subterrâneas e os enriquecimentos de ^{15}N das diferentes partes da planta foram as mesmas que as determinadas na primeira parte do ensaio, incluindo a quantidade de N aportado pelas raízes remanescentes estimada no inciso 4.3.2. Na tabela 13 mostram-se as quantidades de N e enriquecimento de ^{15}N dos materiais avaliados.

Tabela 13: Características dos resíduos de leguminosas utilizados no estudo da eficiência como fontes de N para o sorgo.

Material	Matéria seca g vaso ⁻¹	N total mg vaso ⁻¹	Teor de N mg g ⁻¹	^{15}N exc. %
Feijão de porco				
Partes aéreas	16,68	345	20,7	1,099
Partes subterrâneas	6,32	188	14,4	0,315
Mucuna cinza				
Partes aéreas	10,92	244	22,3	1,730
Partes subterrâneas	6,65	164	18,1	1,397

Diferenças altamente significativas foram encontradas na produção de matéria seca e na acumulação de nitrogênio de sorgo, com os diferentes tratamentos (Tabela 14). A testemunha, sem leguminosa, apresentou os valores mais altos de produção da matéria seca, no entanto, só foi estatisticamente diferente do tratamento com as partes aéreas do feijão de porco. Neste último, embora tenha havido um maior teor de nitrogênio no sorgo, o acúmulo

de N total só foi comparável ao tratamento com aplicação de partes subterrâneas de mucuna cinza. A mucuna cinza resultou ser o tratamento menos favorável para a produção de sorgo, neste estudo.

Tabela 14: Acumulação de matéria seca e de nitrogênio pela cultura de sorgo como efeito da aplicação dos resíduos das leguminosas em estudo.

Tratamento	Matéria seca g vaso ⁻¹	Nitrogênio	
		mg g ⁻¹	mg vaso ⁻¹
Testemunha	7,85 a	34,5 ab	262 a
Solo com partes aéreas do Feijão do porco	3,40 b	40,7 a	138 bc
Solo com partes aéreas da Mucuna cinza	4,99 ab	37,1 ab	180 b
Solo com partes subterrâneas do Feijão de porco	5,77 ab	31,9 b	177 b
Solo com partes subterrâneas da Mucuna cinza	5,25 ab	13,2 c	69 c

Letras diferentes entre tratamentos indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey (p<0,05).

Embora seja conhecido que a adição de resíduos de leguminosa tenha benefícios no fornecimento de nutrientes para diferentes culturas, neste caso observou-se que a adição de matéria fresca das leguminosas, seja partes aéreas ou subterrâneas, ocasionaram um efeito negativo na acumulação de matéria seca e nitrogênio pelas plantas de sorgo quando comparadas à testemunha. Deduz-se que o efeito destes materiais pode estar relacionado com significativa imobilização do nitrogênio do solo.

Os maiores rendimentos, tanto de matéria seca quanto de nitrogênio das plantas de sorgo obtidos na testemunha, seriam esperados se as leguminosas em estudo tivessem

muito baixa fixação de N. Se este fosse o caso, as leguminosas poderiam ter utilizado a maior parte do N mineral do solo transformando-o em N orgânico de lenta decomposição e mineralização, ficando o nitrogênio em baixa disponibilidade, não sendo liberado de acordo com as necessidades do sorgo durante seu desenvolvimento. Isto ficou em parte confirmado pois no momento da colheita de sorgo foram recuperados, em média, 13,2 g de resíduos do feijão de porco por vaso, equivalente a 79 % do aplicado, e 7,31 g de resíduos da mucuna cinza, equivalente a 65 % do aplicado, evidenciando-se que durante o curto período de permanência das plantas de sorgo nos vasos (60 dias), a contribuição dos resíduos foi pequena. Também deve-se considerar que os processos de utilização de nitrogênio pela biota do solo atuam regulando a disponibilidade de nitrogênio para outras culturas, e que a imobilização temporal dos nutrientes, quando coincide com a época de maior demanda da cultura, pode ocasionar deficiências nutricionais que se traduzem em diminuição dos rendimentos (Sá, 1996).

Nas plantas de sorgo, a percentagem de N derivado das leguminosas (N_{ddleg}) foi estatisticamente diferente entre tratamentos e estimou-se entre 4,1 e 40,0 %, correspondendo o menor valor ao tratamento de solo com a parte aérea da mucuna cinza e o maior valor ao tratamento do solo com as partes subterrâneas de feijão de porco (Tabela 15).

A baixa quantidade de N recuperada nos tratamentos com parte aérea das leguminosas empregadas como adubo verde, determinaram baixa eficiência na utilização do N pelo sorgo, como demonstrado pela percentagem de recuperação de N (Tabela 15). A maior eficiência na recuperação de N foi obtida com o tratamento de raízes de feijão de porco. No entanto, neste ensaio, devido a que diferentes quantidades de N foram

administradas ao sorgo em cada tratamento, a eficiência de uso do N ou % de recuperação, poderia conduzir a interpretações errôneas ao tratar de comparar os tratamentos.

Tabela 15: Estimativa do N derivado dos resíduos de leguminosas (Nddleg) e eficiência de recuperação do N pelas plantas de sorgo.

Tratamento	¹⁵ N exc. %	Nddleg		Recuperação do N aplicado %
		%	mg vaso ⁻¹	
Testemunha	0,003 c	-----	-----	----
Solo com partes aéreas do Feijão do porco	0,080 b	7,3 c	10,0 b	2,9 b
Solo com partes aéreas da Mucuna cinza	0,071 b	4,1 c	7,4 b	3,0 b
Solo com partes subterrâneas do Feijão de porco	0,126 b	40,0 a	70,8 a	37,7 a
Solo com partes subterrâneas da Mucuna cinza	0,426 a	30,5 b	21,0 b	13,0 b

Letras diferentes entre tratamentos indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey (p< 0,05%).

Os resultados observados na tabela 15 podem explicar-se pelas diferenças na velocidade de decomposição e mineralização dos resíduos provenientes das diferentes partes vegetais das leguminosas e pela forma de aplicação, sendo que as partes aéreas dos adubos verdes ficaram na superfície do solo enquanto que as raízes ficaram com maior contato com o solo. Por isso, estas últimas devem ter-se decomposto ou mineralizado mais rapidamente, favorecendo a disponibilidade de N para o sorgo. Além disso, deve ter-se em consideração que nas partes subterrâneas são incluídos os nódulos, que são de alto conteúdo de N e de fácil decomposição.

As diferentes taxas de decomposição das partes aéreas e subterrâneas das leguminosas, assim como o contato do material orgânico com o solo, têm uma importante conotação na disponibilidade de nutrientes para as culturas em condições de campo, tanto nos sistemas de adubação verde como nos sistemas de rotação de culturas, especialmente nos sistemas de plantio direto, onde a maior parte da matéria orgânica e nutrientes concentra-se nas camadas superficiais do solo.

4.4. Conclusões

1. A marcação com ^{15}N através da aplicação foliar permitiu um adequado enriquecimento de ^{15}N nas diferentes partes das plantas avaliadas. A técnica mostrou-se efetiva para a obtenção de partes subterrâneas uniformemente marcadas, o que permitiu quantificar a fração de partes radiculares de difícil separação por peneiramento do solo.
2. As diferentes partes das leguminosas adicionadas ao solo causaram um efeito negativo na produção de matéria seca e na acumulação de N de sorgo, sugerindo que existiu imobilização de nitrogênio no solo reduzindo a disponibilidade deste nutriente para a cultura.
3. Entre as diferentes partes das leguminosas avaliadas, as partes subterrâneas foram mais eficientes como fonte de nitrogênio para as plantas de sorgo; no entanto, as quantidades recuperadas pelas plantas de sorgo foram insuficientes para produzir incrementos significativos em seu crescimento.

5. CONCLUSÕES GERAIS

As leguminosas usadas como adubos verdes foram importantes fontes de N derivado da FBN no sistema solo-planta, mas o efeito sobre o rendimento da cultura seguinte não foi efetivo.

Nas condições de solo arenoso e muito pobre em nutrientes (Planossolo), as espécies crotalária (*C. juncea*) e mucuna cinza (*Mucuna* sp.) apresentaram boa adaptabilidade, sendo promissoras para a recuperação da fertilidade destes solos.

As raízes de plantas leguminosas foram mais efetivas como fonte de rápida liberação de N quando comparado com a parte aérea das leguminosas que ficaram na superfície do solo.

A técnica da abundância natural de ^{15}N e a de marcação foliar das leguminosas com ^{15}N mostraram-se efetivas no estudo da quantificação da FBN e no estudo de recuperação de N radicular do solo, respectivamente.

6. BIBLIOGRAFIA

- ALLISON, F.E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1973. 637p.
- ALVAREZ, M.; GARCIA, M.; TRETO, E. Los abonos verdes: una alternativa natural y económica para la agricultura. **Cultivos Tropicales** (Cuba), v.16, n.3, p.9-24, 1995.
- ALVES, M.C.; LIMA, A.M. de; MOREIRA, P.A.; GALBIATTI JUNIOR, W. Efeitos da adubação verde na infiltração de água em latossolo vermelho-escuro cultivado com citrus (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Informação, globalização, uso do solo: trabalhos**. Rio de Janeiro: CBCS, 1997.
- ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Métodos de determinação de nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S.

- (eds.) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiología agrícola.** Brasília: EMBRAPA-CNPAF/CNPSO, 1995. p.449-460 a.
- ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Analise de carbono nos estudos da matéria orgânica do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (eds.) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiología agrícola.** Brasília: EMBRAPA-CNPAF/CNPSO, 1995. p.513-525 b.
- AMARGER, N.; MARIOTTI, A.; MARIOTTI, F.; DURR, J.C.; BOURGUIGNON, C.; LAGACHERIE, B. Estimate of symbiotically fixed nitrogen in field grown soybeans using variations in ^{15}N natural abundance. **Plant and Soil**, v.52, p.269-280, 1979.
- ANCHIETA MONTEIRO, J. de. O milho no Brasil: considerações econômicas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n.164, p.5-8, 1990.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.** Oxon: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1989. 171p.
- ARAÚJO, A.P.; ALMEIDA, D.L.de. Adubação verde associada a fosfato de rocha na cultura de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.9, p.245-251, 1993.
- ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. **Microorganismos de importância agrícola.** Brasília, EMBRAPA, 1994. 235p.
- AZAM, F.; LODHI, A.; ASHRAF, M. Interaction of ^{15}N -labelled ammonium nitrogen with native soil nitrogen during incubation and growth of maize (*Zea mays* L.). **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.5, p.473-477, 1991.
- AZAM, F.; SIMMONS, F.W.; MULVANEY, R.L. Mineralization of N from plant residues and its interaction with native soil N. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, n.12, p.1787-1792, 1993.

- BAREA, J.M. Cuantificación de la fijación biológica de N mediante el uso de ^{15}N . In: **Fijación y movilización biológica de nutrientes**. Vol. II. Madrid: CSIC, 1991. 259p.
- BARRETO, H.J.; PEREZ, C.; FUENTES, M.; QUEMÉ, J.L. Efecto de dosis de urea-N, insecticida y genotipo en el comportamiento de maíz (*Zea mays* L.) bajo un sistema de labranza mínima en rotación con dos leguminosas de cobertura. In: BOLAÑOS, J. A. (Ed.). **Síntesis de Resultados Experimentales, Vol. 3. Programa Regional de Maíz para Centroamérica y El Caribe**. Guatemala: CIMMYT, 1992. p.175-192.
- BERGERSEN, F.J.; TURNER, G.L. An evaluation of ^{15}N methods for estimating nitrogen fixation in a subterranean clover-perennial ryegrass sward. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.34, p.391-401, 1983.
- BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio associada a plantas utilizando o isótopos ^{15}N . In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (eds.) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-CNPAF/CNPSO, 1995. p.471-494.
- BOLGER, T.P.; PATE, J.S.; UNKOVICH, M.J.; TURNER, N.C. Estimates of seasonal nitrogen fixation of annual subterranean clover-based pastures using the ^{15}N natural abundance technique. **Plant and Soil**, v.175, p.57-66, 1995.
- CACERES, N.T.; ALCARDE, J.C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana de açúcar (*Saccharum*, spp). **STAB. Açúcar, Alcool e Subproduto**, v.13, n.5, p.17-20, 1995.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L. do P.; Da COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, J.T.C. **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

- CARMI, A.; HEUER, B. The role of roots in control of bean shoot growth. **Annals of Botany**, v.48, n.4, p.519-527, 1981.
- CHALK, P.M. Estimation of N₂ fixation by isotope dilution: an appraisal of techniques involving ¹⁵N enrichment and their application. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, n.4, p.389-410, 1985.
- CHALK, P.M.; SMITH, C.J. Estimating nitrogen transfer by foliar ¹⁵N-labelling in legume – non-legume associations. **Biology and Fertility of Soils**, v.24, p.239-242, 1997.
- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, v.26, n.1, p.49-55, 1994.
- DANSO, S.K.A. Natural and artificial methods of ¹⁵N labelling of soil to estimate biological nitrogen fixation: review of symposium papers. In: **Stable isotopes in plant nutrition, soil fertility and environmental studies**. Vienna: IAEA, 1991. p. 147-152.
- DATE, R.A. Nitrogen: a major limitation in the productivity of natural communities, crops and pastures in the pacific area. **Soil Biology and Biochemistry**, v.5, p.5-18, 1973.
- 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, n.3, p.287-293, 1989.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Guia de plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1985. 96p. (Documentos IAPAR, 9).
- DERPSCH, R; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do

- solo. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn, 1991. 272p.
- DOMENACH, A.M.; CORMAN, A. Dinitrogen fixation by field grown soybeans: statistical analysis of variations in $\delta^{15}\text{N}$ and proposed sampling procedure. **Plant and Soil**, v.78, p.301-313, 1984.
- DOBEREINER, J. Evaluation of nitrogen fixation in legumes by the regression of total plant nitrogen with nodule weight. *Nature*, v. 210, n.5038, p.850-852, 1966.
- ERIKSEN, J.; HØGH-JENSEN, H. Variations in the natural abundance of ^{15}N in ryegrass/white clover shoot material as influenced by cattle grazing. **Plant and Soil**, v.205, p.67-76, 1998.
- FILSER, J. The effect of green manure on the distribution of collembola in a permanent row crop. **Biology and Fertility of Soils**, v.19, p.303-308, 1995.
- FRANKENBERGER, W.T.; ABDELMAGID, H.M. Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil. **Plant and Soil**, v.87, n.2, p.257-271, 1985.
- FNP CONSULTORIA & COMERCIO. **Agrianual 97. Anuário estatístico da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Argos Comunicação, 1997. p.301-317.
- FOX, R.H.; MYER, R.J.K.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. **Plant and Soil**, v.129, n.2, p.251-259, 1990.
- GARCIA ESPINOZA, R.; QUIROGA MADRIGAL, R.; GRANADOS ALVAREZ, N. Agroecosistemas de productividad sostenida de maíz en las regiones cálidas húmedas

- de México. In: THURSTON, H. D.; SMITH, M.; ABAWI, G.; KEARL, S. **Tapado. Los sistemas de siembra con cobertura**. New York: CIIFAD, 1994. p.65-80.
- GILLER, K.E.; ORMESHER, J.; AWAH, F.M. Nitrogen transfer from *Phaseolus* bean to intercropped maize measured using ^{15}N enrichment and ^{15}N isotope dilution methods. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.4, p.339-346, 1991.
- GLASENER, K.M.; WAGGER, M.G.; MacKOWN, C.T.; VOLK, R.J. Nitrogen-15 labelling effectiveness of two tropical legumes. **Plant and Soil**, v.200, p.149-156, 1998.
- GORDON, R.; FRANCO, J.; DE GARCIA, N.; GONZALES A. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con mucuna bajo dos tipos de labranza, Rio Hato, Panamá, 1993-94. In: BOLAÑOS, J.A. **Programa Regional de Maíz para Centro América y El Caribe. Síntesis de Resultados Experimentales, 1993-1995**. Guatemala: CIMMYT. 1997. p 126-132.
- GULDAN, S.J.; MARTIN, C.A.; LINDEMANN, W.C.; CUETO-WONG, J.; STEINER, R.L. Yield and green manure benefits of interseeded legumes in a high desert environment. **Agronomy Journal**, v.89, p.757-762, 1997.
- HARDY, R.W.F.; HOLSTEN, R.D.; JACKSON, E.K.; BURNS, R.C. The acetylene-ethylene assay for N_2 fixation: Laboratory and field evaluation. **Plant Physiology**, v.43, p.1185-1207, 1968.
- HENZELL, E.F.; VALLIS, I. Transfer of nitrogen between legumes and other crops. In: AYANABA A.; DART, P.J. (Ed.). **Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics**. New York: Jhon Wiley & Sons, 1977. 377p.

- HEICHEL, G.H.; BARNES, D.K. Opportunities for meeting crop nitrogen needs from symbiotic nitrogen fixation. In: **Organic farming**: current technology and its role in a sustainable agriculture. ASA Special Publication Number 46, 1984. 192p.
- HERRIDGE, D.F.; O'CONNELL, P.; DONELLY, K. The xylem ureide assay of nitrogen fixation: sampling procedures and sources of error. **Journal of Experimental Botany**, v.39, p.12-22, 1988.
- HØGH-JENSEN, H.; SCHJOERRING, J.K. Measurement of biological dinitrogen fixation in grassland: Comparison of the enriched ^{15}N dilution and the natural ^{15}N abundance methods at different nitrogen application rates and defoliation frequencies. **Plant and Soil**, v.166, p.153-163, 1994.
- HORST, W.J.; HÄRDTER, R. Rotation of maize with cowpea improves yield and nutrient use of maize compared to maize monocropping in an alfisol in the northern Guinea Savanna of Ghana. **Plant and Soil**, v.160, p.171-183, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário estatístico do Brasil, 1996**. Rio de Janeiro, v.56, seção 3, p.48-49, 1997.
- JANZEN, H.H.; BRUINSMA, Y. Methodology for the quantification of root and rhizosphere nitrogen dynamics by exposure of shoots to ^{15}N labelled ammonia. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, n.2. p.189-196, 1989.
- JENSEN, E.S. Rhizodeposition of N by pea and barley and its effects on soil dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, v.28, n.1, p.65-71, 1996.
- JENKINSON, D.S.; FOX, R.H.; RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called ‘priming’ effect. **Journal of Soil Science**, v.36, p.425-444, 1985.

- JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. SIARCS 3.0: Novo aplicativo para análise de imagens digitais aplicado a ciência do solo. In: XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, CD-Rom. Aguas de Lindóia, São Paulo, Brasil, 1996.
- KIRCHNER, M.J.; WOLLUM, A.G.; KING, L.D. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.1289-1295, 1993.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- KOHL, D.H.; SHEARER, G. Isotopic fractionation associated with symbiotic N₂ fixation and uptake of NO₃ by plants. **Plant Physiology**, v.66, p.51-56, 1980.
- KOHL, D.H.; SHEARER, G.; HARPER, J.E. Estimates of N₂ fixation based on differences in the natural abundance of ¹⁵N in nodulating and nonnodulating isolines of soybeans. **Plant Physiology**, v.66, p.61-65, 1980.
- LEDGARD, S.F.; SIMPSON, J.R.; FRENEY, J.R.; BERGERSEN, F.J. Field evaluation of ¹⁵N techniques for estimating nitrogen fixation in legume-grass associations. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.36, p.247-258, 1985.
- LORENZI, H. Inibição alelopática de plantas daninhas. In: **Adubação verde no Brasil**. Fundação Cargill. Campinas, 1984. 363p.
- LUPWAYI, N.Z.; HAQUE, I. Mineralization of N, P, K, Ca, and Mg from Sesbania and Leucaena leaves varying in chemical composition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, n.3, p.337-343, 1998.
- LUNA-OREA, P.; WAGGER, M.G. Management of tropical legume cover crops in the Bolivian Amazon to sustain crop yields and soil productivity. **Agronomy Journal**, v.88, p.765-776, 1996.

- LYNCH, J.M. **Biotecnologia do solo**. São Paulo: Manole, 1986. 206p.
- MacCOLL, D. Studies on maize (*Zea mayz*) at Bunda, Malawi III. Yield in rotations with pasture legumes. **Experimental Agriculture**, v.26, n.3, p.263-271, 1990.
- MacRAE, R.J.; MEHUYS, G.R. The effect of green manuring on the physical properties of temperate area soils. **Advances in Soil Science**, v.3, p.71-94, 1985.
- McNEILL, A.M.; ZHU, C.; FILLERY, R.P. Use of *in situ* ^{15}N labelling to estimate the total below-ground nitrogen of pasture legumes in intact soil-plant systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.48, p.295-304, 1997.
- MARTIN, J.K. In situ decomposition of root derived carbon. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, p.973-974, 1989.
- MEELU, O.P., YADVINDER-SINGH, BIJAY SINGH. **Green Manuring for Soil Productivity Improvement**. Rome: FAO, 1994. 126p.
- MIYASAKA, S.; CAMARGO, O.A.; CAVALERI, P.A. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo**. Fundação Cargill, Campinas, 1984. 138p.
- MONDARDO, E.; MORAES, O. de; MOREL, D.A. ; MIURA, L.; SCHMITT, A.T. **Leguminosas para adubação verde em solos arenosos do sul de Santa Catarina**. Florianópolis: EMPASC, 1981. 13p. (Comunicado Técnico, 43).
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó: Ed. Do autor, 1991. 337p.
- MÜLLER, M.M.; SUNDMAN, O.; SOININVAARA, O.; MERILÄINEN, A. Effect of chemical composition on the release of nitrogen from agricultural plant materials

- decomposing in soil under field conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v.6, n.1, p.78-83, 1988.
- NAVES SILVA, M.L.; CURI, N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J.M. de; MOREIRA DE CARVALHO, A. Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.6, p.649-654, 1997.
- OGLESBY, K.A.; FOWNES, J.H. Effects os chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. **Plant and Soil**, n.143, p.127-132, 1992.
- PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A.. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.1, p.83-88, 1991.
- PALTA, J.A.; FILLERY, I.R.; MATHEWS, E.L.; TURNER, N.C. Leaf feeding of (¹⁵N) urea for labelling weath with nitrogen. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.18, p627-636, 1991.
- PEOPLES, M.B.; FAIZAH, A.W.; RERKASEM, B.; HERRIDGE, D.F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Canberra: ACIAR, 1989. 72p.
- PERUCCI, P.; BONCIARELLI, U.; SANTILOCCHI, R.; BIANCHI, A.A. Effect of rotation, nitrogen fertilization and management of crop residues on some chemical, microbiological and biochemical properties of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.24, p.311-316, 1997.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. A agricultura nas regiões tropicais. 9ª. Ed., São Paulo: Nobel, 1988. 549p.

- RAMOS, D.P.; CASTRO, A.F. de; NUNES CAMARGO, M. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Série Agronomia, v.8, p.1-27, 1973.
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PAPENDICK, R.I.; PARR, J.F. Influence of added nitrogen interactions in recovery efficiency of labeled nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, v.55, p.1616-1621, 1991.
- REEVES, M.; LAL, R.; LOGAN, T.; SIGARAN, J. Soil nitrogen and carbon response to maize cropping system, nitrogen source and tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1387-1392, 1997.
- REDDY, K.C.; SOFFES, A.R.; PRINE, G.M.; DUNN, R.A. Tropical legumes for green manure. II. Nemátode population and their effects on succeeding crop yields. **Agronomy Journal**, v.78, p.5-10, 1986.
- RUSSELL, C.A.; FILLERY, I.R.P. Estimates of lupin below-ground biomass nitrogen, dry matter, and nitrogen turnover to wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, p.1047-59, 1996a.
- RUSSELL, C.A.; FILLERY, I.R.P. In situ ¹⁵N labelling below ground biomass. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, p.1035-46, 1996b.
- SÁ, J.M.C. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 24p.
- SANGINGA, N.; IBEWIRO, B.; HOUNGNANDAN, P.; VANLAUWE, B., OKOGUN, J.A.; AKOBUNDU, I.O.; VERSTEEG, M. Evaluation of symbiotic properties and nitrogen contribution of mucuna to maize grown in the derived savanna of West Africa. **Plant and Soil**, v.179, p.119-129, 1996.

- SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; SZOTT, L.T.; CUEVAS, E.; LAL, R. **Organic input management in tropical agroecosystems**. In: Coleman, D.C.; Oades, J.M.; Uehara, G. (Ed.). Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. Hawaii: Niftal, 1989. p.125-152.
- SAWATSKY, N.; SOPER, R.J. A quantitative measurement of the nitrogen loss from the root system of field peas (*Pisum sativum* L.) grown in the soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.3, p.255-259, 1991.
- SHARMA, R.D.; PEREIRA, J.; RESCK, D.V.S. Eficiência de adubos verdes no controle de nematóides associados à soja nos cerrados. In: **Adubação verde no Brasil**. Fundação Cargill. Campinas, 1984. 363p.
- SHEARER, G.B.; KOHL, D.H.; COMMONER, B. The precision of determinations of the natural abundance of nitrogen-15 in soils, fertilizer and shelf chemicals. **Soil Science**, v.118, p.308-316, 1974.
- SHEARER, G.; KOHL, D.H. Natural ^{15}N abundance as a method of estimating the contribution of biologically fixed nitrogen to N_2 -fixing systems: Potential for non-legumes. **Plant and Soil**, v.110, p.317-327, 1988.
- 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.
- SOULE, M.J. **Farmer assessment of velvetbean as a green manure in Veracruz, México**: Experimentation and expected profits. México: CIMMYT, 1997. 21p.
- SOUTO, C.M.; ROMANO, M.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Acumulação de matéria seca, N, P e K por cana de açúcar (cv SP 70-1143). In: XXIV CONGRESSO

- BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2 Goiânia, Goiás. 1993. Anais, Goiânia, Goiás, SBCS, 1993. p.239-240.
- SUBBA RAO, N.S. **Biofertilizers in agriculture and forestry**. New York: International Science, 1993. 242p.
- SUMMERFIELD, R.J.; WIEN, H.C. Effects of photoperiod and air temperature on growth and yield of economic legumes. In: SUMMERFIELD, R.J.; BUNTING, A.H. (eds.) **Advances in legume science**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1980. p.17-36.
- THORNLEY, J.H.M. A balanced quantitative model for root:shoot ratios in vegetative plants. **Annals of Botany**, v. 36, n.4, p.431-441, 1972.
- TIANG, G.; KANG, B.T. Effects of soil fertility and fertilizer application on biomass and chemical compositions of leguminous cover crops. **Nutrient Cycling en Agroecosystems**, v.51, p.231-238, 1998.
- TIANG, G.; KANG, B.T.; BRUSSAARD, L. Mulching effects of plant residues with chemically contrasting compositions on maize growth and nutrient accumulation. **Plant and Soil**, v.153, p.179-187, 1993.
- URQUIAGA, S.S.; BODDEY, R.M. Theoretical considerations in the comparison of total nitrogen difference and ^{15}N isotope dilution estimates of the contribution of nitrogen fixation to plant nutrition. **Plant and Soil**, v.102, p.291-294, 1987.
- VALLIS, I.; JONES, R.J. Net mineralization of nitrogen in leaves and leaf litter of *Desmodium intortum* and *Phaseolus atropurpureus* mixed with soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.5, p.391-398, 1973.
- VITTI, G.C.; DONADIO, L.C.; SILVA, J.A.A . da. Avaliação de adubos verdes plantados intercalar à cultura de citros. I. primeiro plantio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE

- FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba. **Anais**, Piracicaba: SCBS, 1992. p.332-333.
- WATTS, S.; RODRIGUEZ, J.L.; EVANS, S.E.; DAVIS, W.J. Root and shoot growth of plants treated with abscisic acid. **Annals of Botany**, v.47, n.5, p.595-602, 1981.
- WADE, M.K.; SANCHEZ, P.A. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon Basin. **Agronomy Journal**, v.75, p.39-45, 1983.
- WILSON, J.B. A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models. **Annals of Botany**, v.61, n.4, p.433-449, 1988.
- WITTY, J.F. Estimating N₂ fixation in the field using ¹⁵N labelled fertilizer: some problems and solutions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.15. p.631-632, 1983.
- ZOTARELLI, L.; TORRES, E.; HUNGRIA, M.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Efeito dos resíduos de colheita da cultura de soja sobre a produtividade de trigo e sobre o balanço de N do sistema conduzido sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1., 1999, Londrina. **Anais**, Londrina. EMBRAPA, Soja, 1999, 345p.

7. APÊNDICE

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo Séries Ecologia, de 0 a 90 cm de profundidade.

Solo séries Ecologia: Planosol Hidromórfico Cinzento Distrófico, A moderado, textura média														
Propriedades físicas														
Horizonte	Prof. (cm)	Na amostra Secada ao ar		Composição granulométrica (dispersão com NaOH)				Constantes de umidade			Densida- de Aparente (g cm ⁻³)			
		Cascalho (%)	Terra fina (%)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Equiv umidade (%)	15 atm (%)	1/3 atm (%)				
A1	0-20	0,4	99,6	65,1	25,8	6,6	2,5	3,2	2,6	3,8	1,35			
A2	20-40	1,3	98,7	63,8	27,2	7,2	1,8	2,2	1,2	3,0	1,41			
A3	40-90	2,5	97,5	58,7	31,3	6,7	3,3	2,7	1,2	4,6	1,42			
Propriedades químicas														
Horizonte	Prof. (cm)	Complexo sortivo Cmol _c . dm ³								V% (100 Sy)T	C%	N%	C:N	PH (Água)
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	Al ⁺⁺⁺	T					
A1	0-20	0,3	0,3	0,02	0,02	0,64	0,2	0,3	0,8	28	0,33	0,03	11	4,9
A2	20-40	0,2	0,2	0,01	0,02	0,43	-	0,2	0,4	50	0,08	0,01	8	5,4
A3	40-90	0,5	0,5	0,02	0,02	0,54	0,3	0,1	0,9	56	0,10	0,02	5	5,7

Fonte: Ramos, et al., 1973

Tabela 2. Proporção da fixação biológica de nitrogênio (%), nas leguminosas utilizando a técnica de $\delta^{15}\text{N}$, com diferentes plantas de referência.

Data	06/11/98	13/11/98	20/11/98	27/11/98	04/12/98	11/12/98	22/12/98	05/01/98
DAP	15	21	28	35	42	49	60	75
<u>Crotalaria juncea</u>								
Milho	48,67	60,68	67,54	71,15	77,88	82,10	82,43	79,58
Sorgo	30,89	47,05	56,29	61,16	70,22	75,89	76,34	72,50
Bermuda	36,24	51,15	59,68	64,17	72,53	77,76	78,17	74,63
Tiririca	33,28	48,88	57,80	62,50	71,25	76,72	77,16	73,45
Malva	42,75	56,14	63,79	67,80	75,33	80,03	80,40	77,22
<u>Mucuna cinza</u>								
Milho	70,23	70,66	68,87	67,84	76,86	81,56	83,59	76,06
Sorgo	59,91	60,49	57,81	56,70	68,84	75,18	77,90	67,77
Bermuda	63,01	63,55	61,08	60,05	71,25	77,10	79,61	70,26
Tiririca	61,29	61,85	59,27	58,19	69,91	76,03	78,66	68,88
Malva	66,79	67,27	65,05	64,13	74,19	79,44	81,69	73,30
<u>Soja</u>								
Milho	75,40	50,63	53,61	52,45	42,31	40,52	43,80	45,03
Sorgo	66,88	33,53	37,54	35,98	22,32	19,91	24,33	25,98
Bermuda	69,44	38,67	42,38	40,94	28,34	26,11	30,19	31,71
Tiririca	68,02	35,82	39,70	38,19	25,00	22,67	26,94	28,53
Malva	72,56	44,93	48,26	46,97	35,65	33,65	37,37	38,68

Tabela 3. Quantidade de nitrogênio fixado pelas leguminosas utilizando a técnica de $\delta^{15}\text{N}$, com diferentes plantas de referência (kg ha^{-1}).

Data	06/11/98	13/11/98	20/11/98	27/11/98	04/12/98	11/12/98	22/12/98	05/01/98
DAP	15	21	28	35	42	49	60	75
<u>Crotalaria juncea</u>								
Milho	0,82	2,45	3,88	12,55	28,34	51,27	92,61	95,72
Sorgo	0,52	1,88	3,14	10,86	25,29	47,38	85,63	87,34
Bermuda	0,61	2,05	3,36	11,37	26,21	48,55	87,73	89,86
Tiririca	0,56	1,96	3,24	11,08	25,70	47,90	86,57	88,46
Malva	0,72	2,26	3,63	11,98	27,33	49,98	90,28	92,93
<u>Mucuna cinza</u>								
Milho	1,30	2,54	2,91	7,25	17,83	43,87	60,48	66,02
Sorgo	1,11	2,18	2,46	6,05	16,16	40,44	56,22	59,45
Bermuda	1,16	2,29	2,59	6,41	16,66	41,47	57,50	61,43
Tiririca	1,13	2,23	2,52	6,21	16,39	40,90	56,79	60,33
Malva	1,23	2,42	2,76	6,85	17,27	42,72	59,06	63,83
<u>Soja</u>								
Milho	0,44	0,31	0,49	1,23	1,31	3,02	8,18	8,68
Sorgo	0,39	0,19	0,33	0,85	0,73	1,22	4,32	4,54
Bermuda	0,40	0,23	0,38	0,97	0,91	1,76	5,48	5,79
Tiririca	0,39	0,21	0,35	0,91	0,81	1,47	4,83	5,10
Malva	0,42	0,27	0,44	1,11	1,12	2,42	6,89	7,30

Tabela 4. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância para produção de matéria seca, teor de N, N total, C e relação C:N dos resíduos de aveia preta.

Fonte de variação	Valor F				
	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Teor de N (%)	N total (kg ha ⁻¹)	C (%)	C:N
Blocos	11,69**	10,15**	14,03 **	0,76 n.s.	5,59 n.s.
Tratamentos	9,94 **	28,5 **	23,61 **	0,08 n.s.	12,70 n.s.
C.V. (%)	10,86	5,16	12,10	4,52	8,40

** Significância (p < 0.01)

Tabela 5. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância para produção de matéria seca, teor de N, N total, C e relação C:N dos resíduos de leguminosas aplicados antes do plantio de milho.

Fonte de variação	Valor F					
	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Teor de N (%)	N total (kg ha ⁻¹)	C (%)	C:N	Polifenóis (%)
Blocos	3,32	0,45	1,67	0,84	0,31	2,26
Tratamentos	15,47 **	41,55	23,66	2,12	51,25**	26,26**
C.V. (%)	22,56	12,92	27,83	9,14	16,23	20,91

** Significância (p < 0.01)

Tabela 6. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância para produção de matéria seca, teor de N, N total, C e relação C:N dos resíduos de leguminosas aos 55 dias após o plantio do milho.

Fonte de variação	Valor F				
	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Teor de N (%)	N total (kg ha ⁻¹)	C (%)	C:N
Blocos	1,25	0,21	1,61	2,33	0,97
Tratamentos	8,56 **	23,66 **	7,90 **	9,05 **	23,09 **
C.V. (%)	43,28	15,80	27,60	3,56	1,39

** Significância (p < 0.01)

Tabela 7. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância para produção de matéria seca, teor de N, N total da espiga do milho.

Fonte de variação	Valor F		
	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Teor de N (%)	N total (kg ha ⁻¹)
Blocos	0,36	0,43	1,43
Tratamentos	1,52	2,44	1,73
C.V. (%)	58,54	11,97	50,38

Tabela 8. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância para produção de matéria seca, teor de N, N total das partes vegetativas do milho.

Fonte de variação	Valor F		
	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Teor de N (%)	N total (kg ha ⁻¹)
Blocos	2,23	2,41	2,89
Tratamentos	2.41	0,60	1,58
C.V. (%)	23,96	14,69	21,52

Tabela 9. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância para produção de matéria seca, teor de N, N total do sorgo e ¹⁵N (% a.e.) (Experimento 2).

Fonte de variação	Valor F			
	Massa seca (g vaso ⁻¹)	Teor de N (%)	N total (mg vaso)	¹⁵ N (% a.e.)
Blocos	1,20	0,98	0,85	1,30
Tratamentos	4,35 *	50,48 **	15,99**	94,67 **
C.V. (%)	31,53	10,73	24,51	26,89

* Significância (p < 0.05)

** Significância (p < 0.01)

Tabela 10. Valor F e coeficiente de variação da análise de variância para nitrogênio derivado da leguminosa e recuperação de nitrogênio (Experimento 2).

Fonte de variação	Valor F		
	Nddleg		Recuperação de N
	(%)	mg vaso ⁻¹	(%)
Blocos	1,33	0,59	0,63
Tratamentos	94,51 **	19,18 **	22,92 **
C.V. (%)	19,70	54,54	54,44

** Significância ($p < 0.01$)