

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**TESE**

**Fertilizantes de Leguminosas: Autossuficiência de Nitrogênio em Sistemas Orgânicos de Produção**

**Maxwell Merçon Tezolin Barros Almeida**

**2012**



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

**FERTILIZANTES DE LEGUMINOSAS: AUTOSSUFICIÊNCIA DE  
NITROGÊNIO EM SISTEMAS ORGÂNICOS DE PRODUÇÃO**

**MAXWELL MERÇON TEZOLIN BARROS ALMEIDA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Helvécio De-Polli**

*e Co-orientação do Professor*  
**José Guilherme Marinho Guerra**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Agroecologia.

Seropédica, RJ  
Março de 2012

631.874

A447f

T

Almeida, Maxwell Merçon Tezolin Barros, 1978-  
Fertilizantes de leguminosas:  
autossuficiência de nitrogênio em sistemas  
orgânicos de produção / Maxwell Merçon  
Tezolin Barros Almeida - 2012.  
145 f.: il.

Orientador: Helvécio De-Polli.

Tese(doutorado) - Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-  
Graduação em Fitotecnia.

Bibliografia: f. 129-145.

1. Adubação verde - Teses. 2.  
Agricultura orgânica - Teses. 3.  
Leguminosa - Teses. 4. Fertilizantes  
nitrogenados - Teses. 5. Nitrogênio -  
Fixação - Teses. I. De-Polli, Helvécio,  
1947-. II. Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em  
Fitotecnia. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FITOTECNIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**MAXWELL MERÇON TEZOLIN BARROS ALMEIDA**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Agroecologia.

TESE APROVADA EM 30/03/2012

---

Helvécio De-Polli. Ph.D. Embrapa Agrobiologia  
(Orientador)

---

Raul de Lucena Duarte Ribeiro. Ph.D. UFRRJ

---

Avílio Antônio Franco. Ph.D. Embrapa Agrobiologia

---

Ricardo Henrique Silva Santos. D.Sc. UFV

---

Dejair Lopes de Almeida. D.Sc. Embrapa Agrobiologia

## DEDICATÓRIA

*A agricultura é uma prática humana que transforma os ecossistemas sobre os quais incide promovendo os mais diversificados tipos de impactos social, econômico e ambiental. Entender a natureza desses impactos para que a ação consciente do ser humano permita valorizar e ampliar aqueles que parecem positivos e substituir e minimizar os negativos assume fundamental relevância para que a agricultura possa promover melhores condições de vida às gerações atuais sem comprometer a possibilidade de sua prática pelas gerações futuras.*

Este trabalho é dedicado a todas e a todos que de alguma forma buscam por um modelo agrícola realmente sustentável.

O autor.

## AGRADECIMENTOS

À DEUS simplesmente por tudo...

Dizem que as coisas um dia foram pensamentos na mente de alguém... Se existe alguém que possibilitou o desenvolvimento dos fertilizantes de leguminosas, esse alguém é Helvécio De-Polli. Muito obrigado pela confiança, amizade e orientação.

Ao professor emérito Raul de Lucena Duarte Ribeiro, por sempre ter acreditado e apoiado o desenvolvimento da tecnologia.

Ao pesquisador José Guilherme Marinho Guerra, pelas discussões construtivas e meu acolhimento como orientado.

A todos os membros da banca, pela participação e valiosas contribuições.

À Embrapa Agrobiologia e seus pesquisadores, pelo aprendizado e apoio técnico e estrutural. Especial agradecimento à Norma Gouvêa Rumjanek, ao Eduardo Francia Carneiro Campello e ao grupo de agricultura orgânica, pela oportunidade oferecida. Agradecimento especial também ao pesquisador Ednaldo da Silva Araujo, pelo auxílio no término deste trabalho.

Aos funcionários e funcionárias de laboratório, do Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia e do Sistema Integrado de Produção Agroecológica, pelo fundamental apoio na realização deste trabalho. Especial agradecimento ao supervisor de campo da Embrapa Agrobiologia, Ernani, pelo exemplo de competência e respeito ao serviço público.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e seus maestros pela minha formação.

À CAPES e à FAPERJ, pelas concessões das bolsas de estudo, indispensáveis para que eu pudesse me dedicar à pesquisa. E novamente, à CAPES e à FAPERJ, e também ao CNPq e a UFRRJ, pelo suporte financeiro.

Ao amigo Pedro Henrique Sabadin de Azevedo pelo aprendizado em química.

Ao INMET e ao professor Daniel Carvalho pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Ao Dr. Wong do MARDI pelas importantes dicas para implantação dos bancos de gliricídia.

Ao professor Elson Viegas pelos ensinamentos em plantas medicinais.

Ao pesquisador Humberto R. Bizzo e equipe pelas excelentes análises do óleo essencial.

Aos vigilantes da Embrapa e campos experimentais, pela amizade e providenciais cafês. Especial agradecimento ao Marcão, pelo imensurável auxílio nos experimentos de campo.

Ao IBGE, sobretudo ao Octávio e ao Flávio, por possibilitarem a conclusão deste estudo.

À minha mãe, Olganir, e ao meu pai, Othon, por terem investido em minha educação.

Agradecimento mais que especial à minha querida esposa, Alice Teodorio Lixa, pelo auxílio nos experimentos, companhia, paciência e dedicação nessa jornada.

## RESUMO GERAL

ALMEIDA, Maxwell Merçon Tezolin Barros. **Fertilizantes de leguminosas: autossuficiência de nitrogênio em sistemas orgânicos de produção**. 2012. 145 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

O aumento das preocupações da sociedade com o meio ambiente e com a qualidade de vida tem aumentado as demandas por sistemas agrícolas mais sustentáveis, como os praticados pela agricultura orgânica. Entretanto, não é possível exponenciar a agricultura orgânica mundial frente à finita disponibilidade de fertilizantes orgânicos. Fertilizantes de leguminosas – produtos derivados do corte, desidratação e moagem da biomassa aérea de leguminosas (Fabaceae) com elevado potencial de fixação biológica de N<sub>2</sub>, acúmulo de N e facilidade de manejo – são fontes promissoras de N para agricultura orgânica e, possivelmente, alternativas eficazes para substituição de fontes sintéticas de N. Esta tese está organizada em três capítulos. No primeiro deles, foi avaliada a produção de mudas das leguminosas arbóreas mais cultivadas no mundo, gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*), inoculadas e não-inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs – *Scutellospora heterogama* e *Glomus clarum*), em bandejas de isopor, com substrato não-esterilizado. Parte dessas mudas foi utilizada em experimento de campo, instituindo bancos de leguminosas (25.000 plantas ha<sup>-1</sup>) destinados à produção de fertilizantes. Ao longo de 30 meses, foi avaliado o desempenho dos bancos de leguminosas, a importância do uso de mudas inoculadas com FMAs e o efeito de duas doses de fosfato de rocha, sobre a produtividade de biomassa aérea e o acúmulo de madeira nos troncos remanescentes no campo, abaixo da altura de corte (1,2 m de altura). Nos capítulos subsequentes, adubações com fertilizantes de gliricídia foram comparadas a adubações com ureia na produção de milho (*Zea mays*) e capim-citronela (*Cymbopogon nardus*). O objetivo foi avaliar o potencial desses fertilizantes em prover N às culturas, assim como os impactos das adubações sobre atributos de qualidade do solo. As mudas de gliricídia e leucena inoculadas com os FMAs apresentaram maior produção de matéria seca e acúmulos de N, P, Ca e Mg na parte aérea, comparativamente àquelas não-inoculadas, mostrando efetivo benefício da inoculação com os FMAs. A produtividade média dos bancos de gliricídia (20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca) foi significativamente superior ( $P < 0,05$ ) a dos bancos de leucena (9 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), não havendo efeito das doses de fósforo nem do uso das mudas inoculadas com os FMAs sobre a média anual das variáveis. Os bancos de gliricídia e leucena possibilitam produção concentrada de biomassa aérea a cada corte sem necessidade de replantio. Além disso, os troncos remanescentes no campo acumulam quantidade considerável de madeira, representando efetiva remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera e matéria-prima potencial para diversos usos. Como fontes de N, os fertilizantes de gliricídia são capazes de substituir a ureia na provisão de N às culturas, com vantagens ambientais sobre a fonte sintética. Enquanto adubações com ureia acidificam e não promovem aumentos dos teores de C-total e N-total no solo, adubações com fertilizantes de gliricídia possibilitam aumentos significativos do pH e dos teores de C-total e N-total do solo. Além disso, as perdas de N por volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>) das adubações com ureia são mais que o dobro das proporcionadas pelas adubações com fertilizante de gliricídia. Como recomendação prática, em uma primeira aplicação, o fertilizante de gliricídia pode ser dosado com o dobro da dose de N-ureia para que os mesmos níveis de produtividade sejam alcançados. Entretanto, em aplicações subsequentes as doses do fertilizante de leguminosa poderão ser reduzidas, em virtude da melhoria dos atributos de qualidade do solo.

**Palavras-chave:** adubação verde, agricultura orgânica, fertilizantes nitrogenados.

## GENERAL ABSTRACT

ALMEIDA, Maxwell Merçon Tezolin Barros. **Legume fertilizers: nitrogen self-sufficiency in organic farming systems**. 2012. 145 p. Thesis (Doctorate in Crop Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

The growing concerns of society with the environment and quality of life have increased the demand for more sustainable agricultural systems, as practiced by organic agriculture. However, it is not possible to spread exponentially organic agriculture worldwide due to the limit availability of organic fertilizers. Legume fertilizers – products derived from cutting, dehydration and milling of leguminous (Fabaceae) biomass with high potential for biological N<sub>2</sub> fixation, N accumulation and easiness of management – are promising sources of N to organic agriculture, and possibly effective alternative for replacement of synthetic sources of N. This thesis is organized into three chapters. In the first study, we evaluated the production of seedlings of tree legumes most cultivated worldwide, gliricidia (*Gliricidia sepium*) and leucaena (*Leucaena leucocephala*), non-inoculated and inoculated with mycorrhizal fungi (AMF - *Glomus clarum* and *Scutellospora heterogama*) in styrofoam trays with non-sterilized substrate. Some of these seedlings were used in a field experiment, establishing bank of legume (25 000 plants ha<sup>-1</sup>) for the production of fertilizers. Over 30 months, we evaluated the performance of the legume banks, the importance of using seedlings inoculated with mycorrhizal fungi and the effect of two doses of rock phosphate on yield of biomass and accumulation of wood in the trunks remaining in the field below cutting height (1.2 m high). In subsequent chapters, application of gliricidia fertilizers were compared to urea fertilization in maize (*Zea mays*) and citronella grass (*Cymbopogon nardus*). The objective was to evaluate the potential of these fertilizers in the provision of N to crops, as well as the impacts of nutrients on soil quality attributes. The gliricidia and leucaena seedlings inoculated with AMF had higher dry matter production and accumulation of N, P, Ca and Mg in shoots compared to those non-inoculated, showing the benefit of effective inoculation with AMF. The average productivity of gliricidia bank (20 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> dry matter) was significantly higher (P < 0.05) than leucaena bank (9 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>), no effect of phosphorus levels or the use of seedlings inoculated with the AMF on the annual average of the variables occurred. Gliricidia and leucaena banks enable concentrated biomass production for each cutting without replanting. Furthermore, the trunks remaining in the field accumulate considerable amount of wood, representing effective removal of atmospheric CO<sub>2</sub> and potential raw material production for various uses. As nitrogen source, gliricidia fertilizer is capable of replacing the urea in the provision of N to crops, with environmental advantages over the synthetic source. While urea fertilizer acidify the soil and does not increase the soil levels of total-C and total-N, the application of gliricidia fertilizer enable significant increase (P < 0.05) of pH, total-C and total-N. Furthermore, the N losses through volatilization of ammonia (NH<sub>3</sub>) from urea fertilizer are more than twice the losses from gliricidia fertilizer. As practical recommendation, in the first application, the dose of gliricidia fertilizer can be twice the dose of urea-N to achieve the same productivity levels. However, in subsequent application the dose of the legume fertilizer may be reduced due to the improvement of the soil quality attributes.

**Key words:** green manuring, organic agriculture, nitrogen fertilizers.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1.** Esquema do experimento em blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 2, com estrutura de observações múltiplas hierárquica de três fatores: observação, parcela e bloco, respectivamente com 64, 16 e 4 níveis. .... 32
- Figura 2.** Esquema do delineamento em blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 2, com quatro repetições. .... 33
- Figura 3.** Área de amostragem das bandejas de poliestireno expandido de 72 células. .... 33
- Figura 4.** Representação esquemática do experimento de campo. .... 34
- Figura 5.** Foto aeroespacial de parte do Sistema Integrado de Produção Agroecológica, com destaque em amarelo das parcelas do experimento – Seropédica, RJ, Brasil – jan. 2010. .... 35
- Figura 6.** Detalhes da parcela, subparcelas e áreas amostrais. .... 36
- Figura 7.** Interação entre tecnologias de mudas e doses de fósforo sobre o teor de potássio na matéria seca da parte aérea retirada no primeiro corte dos bancos de gliricídia e leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009. .... 44
- Figura 8.** Participação de folhas e galhos na matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e quantidade acumulada de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no primeiro corte da gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009. .... 46
- Figura 9.** Participação de folhas e galhos e de vagens na biomassa seca do primeiro corte da leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – setembro de 2009. .... 47
- Figura 10.** Interação entre tecnologias de mudas e doses de fósforo sobre a quantidade de potássio (a) e enxofre (b) acumulados na matéria seca da parte aérea retirada no terceiro corte dos bancos de gliricídia e no segundo corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – março de 2010. .... 51
- Figura 11.** Interação entre tecnologias de mudas e doses de fósforo sobre a produção de matéria seca (a) e acúmulos de potássio (b), fósforo (c) e enxofre (d) na matéria seca da parte aérea removida no quarto corte dos bancos de gliricídia e no terceiro corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – julho de 2010. .... 54
- Figura 12.** Interação entre espécies de leguminosas e doses de fósforo sobre o teor de enxofre na matéria seca da parte aérea retirada no quarto corte dos bancos de gliricídia e no terceiro corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – julho de 2010. .... 55
- Figura 13.** Interação entre tecnologias de mudas e doses de fósforo sobre o teor de enxofre na matéria seca da parte aérea retirada no quinto corte dos bancos de gliricídia e no quarto corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – janeiro de 2011. .... 56

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 14.</b> Participação de folhas e galhos na matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e quantidade acumulada de nutrientes na parte aérea retirada no quinto corte da gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – janeiro de 2011. ....                               | 58 |
| <b>Figura 15.</b> Precipitação semanal acumulada e temperaturas semanais máximas e mínimas (a) e matéria seca da parte aérea (b) do transplântio das mudas ao sexto corte dos bancos de gliricídia e quinto corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – dezembro de 2008 a maio de 2011..... | 65 |
| <b>Figura 16.</b> Densidade aparente dos segmentos do tronco remanescente no campo no sentido ápice (A) - base (D) – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – jun. 2011. ....   | 68 |

## CAPÍTULO II

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 17.</b> Dados diários de precipitação e temperatura (máxima e mínima) e ocasiões das principais atividades realizadas durante a condução do experimento – Seropédica, RJ – 19 de abril a 11 de setembro de 2010. ....     | 76 |
| <b>Figura 18.</b> Esquema das áreas de amostragem nas parcelas.....   | 78 |
| <b>Figura 19.</b> Evolução da altura média das plantas dos 29 aos 97 dias após a semeadura, segundo as fontes (a) e doses de nitrogênio (b). ....   | 82 |
| <b>Figura 20.</b> Médias de matéria seca (a), teor de nitrogênio na matéria seca (b) e acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas de milho e produtividade de grãos de milho em função das fontes e doses de nitrogênio. .... | 85 |
| <b>Figura 21.</b> Percentual de nitrogênio derivado dos fertilizantes recuperado pela cultura do milho em função das fontes e doses de nitrogênio. ....   | 87 |
| <b>Figura 22.</b> Impacto das adubações sobre o pH (a), C-total (b) e N-total (c) do solo (0-10 cm), um mês após a colheita do milho. ....  | 90 |

## CAPÍTULO III

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 23.</b> Câmaras coletoras de amônia (NH <sub>3</sub> ) instaladas no experimento de capim-citronela. ....   | 102 |
| <b>Figura 24.</b> Detalhe do acoplamento da câmara coletora de amônia sobre base de garrafa PET e do ríficio destinado à entrada da agulha da seringa (cículo vermelho). ....   | 104 |
| <b>Figura 25.</b> Correlações entre o percentual de matéria seca na massa fresca em função do teor de nitrogênio (a) e do acúmulo de nitrogênio (b) na matéria seca da folhagem do primeiro corte do capim-citronela. ....  | 108 |
| <b>Figura 26.</b> Matéria fresca (a), matéria seca (b) e percentual de matéria seca na massa fresca da folhagem (c), quantidade de perfilhos (d), teor de nitrogênio na matéria seca (e) e acúmulo de nitrogênio na folhagem (f) do primeiro corte do capim-citronela, em função das fontes e doses de nitrogênio. .... | 109 |
| <b>Figura 27.</b> Produtividade de óleo essencial na folhagem do primeiro corte do capim-citronela em função das fontes e doses de nitrogênio. ....   | 110 |
| <b>Figura 28.</b> Quantidade de amônia volatilizada (N-NH <sub>3</sub> ) durante três períodos consecutivos das adubações com ureia e fertilizante de gliricídia (primeiras 48 h, 48-96 h e 96-168 h)....   | 113 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 29.</b> Quantidade acumulada (a) e percentual acumulado (b) de amônia volatilizada do primeiro parcelamento das adubações com ureia e fertilizante de gliricídia – Seropédica – março de 2008. ....   | 116 |
| <b>Figura 30.</b> Efeito residual das adubações sobre matéria fresca (a), matéria seca (b) e acúmulo de nitrogênio (c) na matéria seca da folhagem do segundo corte do capim-citronela, em função das fontes e doses de nitrogênio. ....                          | 119 |
| <b>Figura 31.</b> Matéria seca (a), teor de nitrogênio (b) e acúmulo de nitrogênio (c) na matéria seca dos colmos de capim-citronela em funças das fontes e doses de nitrogênio. ....   | 120 |
| <b>Figura 32.</b> Matéria seca total (matéria seca da folhagem do primeiro e do segundo corte mais a matéria seca dos colmos) (a) e quantidade total de N acumulado na matéria seca total (b) do capim-citronela em função das fontes e doses de nitrogênio. .... | 121 |
| <b>Figura 33.</b> Recuperação aparente do nitrogênio derivado dos fertilizantes em função das fontes de N, nas folhas do primeiro e do segundo corte e nos colmos. ....   | 122 |
| <b>Figura 34.</b> Impacto das adubações sobre o pH (a) e teores de C-total (a) e N-total (a) do solo (0-10 cm). ....  | 124 |
| <b>Figura 35.</b> Perda acumulada de massa fresca (a) e umidade das folhagens do capim-citronela (b) ao longo do tempo em sala com desumidificador de ar. ....  | 125 |

## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO DE LITERATURA

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1.</b> Classificação científica da <i>Gliricidia sepium</i> . .....   | 11 |
| <b>Tabela 2.</b> Influência da altura e frequência de corte na produtividade anual de bancos de gliricídia destinado à produção de forragem. .... | 15 |
| <b>Tabela 3.</b> Teores de macronutrientes contidos na folhagem seca de <i>G. sepium</i> .....  | 16 |
| <b>Tabela 4.</b> Classificação científica da <i>Leucaena leucocephala</i> .....   | 18 |
| <b>Tabela 5.</b> Influência do intervalo de corte na qualidade da biomassa aérea da leucena.....  | 22 |
| <b>Tabela 6.</b> Teores de macronutrientes contidos na folhagem seca de <i>L. leucocephala</i> . ....   | 24 |

### CAPÍTULO I

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 7.</b> Volume, quantidade e características dos materiais que constituíram o substrato <sup>1</sup> . 30  | 30 |
| <b>Tabela 8.</b> Composição química do substrato. ....  | 30 |
| <b>Tabela 9.</b> Resultados da análise do solo por bloco antes da implantação do experimento – Sistema Integrado de Produção Agroecológica – outubro de 2008.....   | 35 |
| <b>Tabela 10.</b> Cronograma e altura dos cortes dos bancos de gliricídia e leucena.....  | 37 |
| <b>Tabela 11.</b> Cronograma das medições dos troncos das leguminosas. ....   | 39 |
| <b>Tabela 12.</b> Média e resultados da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA) e dos teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea das mudas de gliricídia e leucena – Seropédica, RJ – dezembro de 2008. ....   | 42 |
| <b>Tabela 13.</b> Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no primeiro corte dos bancos de gliricídia e de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009.....                            | 45 |
| <b>Tabela 14.</b> Média ( $\pm$ erro padrão da média de 12 repetições) da proporção de matéria seca na massa fresca (PMS) e teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no primeiro corte da gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009. ....   | 46 |
| <b>Tabela 15.</b> Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no segundo corte dos bancos de gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – novembro de 2009. ....                                       | 48 |
| <b>Tabela 16.</b> Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no terceiro corte dos bancos de gliricídia e no segundo corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – março de 2010..... | 50 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 17.</b> Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na biomassa aérea removida no quarto corte dos bancos de gliricídia e no terceiro corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – julho de 2010. ....  | 53 |
| <b>Tabela 18.</b> Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na biomassa aérea retirada no quinto corte dos bancos de gliricídia e no quarto corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – janeiro de 2011. ....  | 57 |
| <b>Tabela 19.</b> Média ( $\pm$ erro padrão da média de 12 repetições) da proporção de matéria seca na massa fresca (PMS) e teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no quinto corte da gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – janeiro de 2011. ....  | 58 |
| <b>Tabela 20.</b> Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na biomassa aérea retirada no sexto corte dos bancos de gliricídia e no quinto corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – maio de 2011. ....  | 60 |
| <b>Tabela 21.</b> Média dos blocos das variáveis que apresentaram efeito de bloco nas análises de variância ao longo dos seis cortes da gliricídia e dos cinco cortes da leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009 a maio de 2011.....   | 62 |
| <b>Tabela 22.</b> Médias e resultados da análise de variância da produtividade anual de matéria seca da parte aérea e da quantidade anual de nutrientes exportados na parte aérea cortada e removida dos bancos de gliricídia e leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009 a maio de 2011. ....   | 63 |
| <b>Tabela 23.</b> Teor médio anual dos nutrientes na matéria seca da parte aérea cortada e removida dos bancos de gliricídia e leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009 a maio de 2011. ....  | 64 |
| <b>Tabela 24.</b> Média ( $\pm$ erro padrão da média de 12 repetições) das variáveis: volume de madeira, diâmetro da base, diâmetro do ápice, quantidade de bifurcações, densidade aparente da madeira, matéria seca da madeira e quantidade equivalente de CO <sub>2</sub> removido da atmosfera nos troncos remanescentes no campo dos bancos de gliricídia e leucena abaixo da altura de corte – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – outubro de 2009 a junho de 2011. .... | 67 |
| <b>Tabela 25.</b> Média ( $\pm$ erro padrão da média de seis repetições) do volume, matéria seca, densidade aparente da madeira e quantidade equivalente de CO <sub>2</sub> removido da atmosfera na calosidade apical provocada pelos cortes (cabeça) em função da espécie de leguminosa arbórea utilizada no banco – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – jun. 2011. ....  | 68 |

## CAPÍTULO II

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 26.</b> Resultado da análise da terra na profundidade de 0-20 cm – Seropédica – 2010..  | 75 |
| <b>Tabela 27.</b> Composição química dos fertilizantes de gliricídia (média ± erro padrão das análises em triplicata).  | 77 |
| <b>Tabela 28.</b> Análise de variância da variável altura do milho.....   | 81 |
| <b>Tabela 29.</b> Altura média das plantas de milho em cada avaliação segundo o tratamento.....   | 82 |
| <b>Tabela 30.</b> Médias, erros padrão, análises de variância e contrastes ortogonais dos dados de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de N na matéria seca da parte aérea (TNMSPA), N acumulado na parte aérea (NAPA), produtividade de grãos (PG). | 83 |
| <b>Tabela 31.</b> Médias, análises de variância e contrastes ortogonais dos dados de pH, C-total e N-total do solo.   | 88 |

## CAPÍTULO III

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabela 32.</b> Resultados da análise química da terra antes e depois da adubação inicial.....  | 99  |
| <b>Tabela 33.</b> Atributos biológicos do solo, antes do plantio da citronela.....  | 100 |
| <b>Tabela 34.</b> Médias, erro padrão e resultados da análise de variância das avaliações fitotécnicas na folhagem do primeiro corte do capim-citronela em função dos níveis dos fatores e do tratamento adicional..... | 107 |
| <b>Tabela 35.</b> Teor e qualidade do óleo essencial de citronela ( <i>Cymbopogon nardus</i> ) na folhagem do primeiro corte, em função das fontes e doses de nitrogênio.....   | 111 |
| <b>Tabela 36.</b> Quantidade de amônia volatilizada durante do 7º ao 23º dia após as adubações com ureia e fertilizante de gliricídia.....  | 114 |
| <b>Tabela 37.</b> Percentual relativo de amônia volatilizada das adubações, por período de avaliação após a adubação e no total dos períodos avaliados.....   | 115 |
| <b>Tabela 38.</b> Equações de regressão da quantidade e do percentual acumulado de amônia volatilizada das adubações com Ureia e Fertilizante de gliricídia.....  | 117 |
| <b>Tabela 39.</b> Resultados da análise de variância referentes aos dados das variáveis derivadas das folhas do segundo corte do capim-citronela.....   | 118 |
| <b>Tabela 40.</b> Médias, análises de variância e contrastes ortogonais dos dados de pH, C-total e N-total do solo um ano após o segundo parcelamento da adubação.....  | 123 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>   | <b>4</b>  |
| 1 Nutrientes Essenciais para as Plantas e Fixação de N <sub>2</sub> .....   | 4         |
| 2 Fontes de Nitrogênio na Agricultura Orgânica.....   | 4         |
| 2.1 Fertilizantes de leguminosas .....  | 7         |
| 3 A Família Botânica Fabaceae .....   | 9         |
| 3.1 Características gerais.....   | 9         |
| 3.2 Relevância ecológica.....   | 9         |
| 3.3 Relevância econômica.....   | 10        |
| 4 Gliricídia ( <i>Gliricidia sepium</i> ) com Ênfase na Produção de Forragem .....                                  | 10        |
| 4.1 Características gerais.....   | 10        |
| 4.2 Descrição botânica e características da espécie .....   | 11        |
| 4.3 Histórico e distribuição geográfica .....   | 12        |
| 4.4 Adaptação ambiental.....  | 12        |
| 4.5 Genótipo .....  | 13        |
| 4.6. Propagação .....   | 13        |
| 4.7 Uso da gliricídia como forragem para animais .....  | 14        |
| 4.8. Espaçamento de plantio e manejo de corte .....   | 14        |
| 4.9 Produtividade, teores de macronutrientes e fixação biológica de nitrogênio .....                                | 15        |
| 4.10 Pragas e doenças .....   | 16        |
| 5 Leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> ) com Ênfase na Produção de Forragem .....                                 | 17        |
| 5.1 Características gerais.....   | 17        |
| 5.2 Descrição botânica e características da espécie .....   | 18        |
| 5.3 Distribuição geográfica e adaptação ambiental .....   | 19        |
| 5.4 Genótipo .....  | 20        |
| 5.4.1 Tipo havaiano .....   | 20        |
| 5.4.2 Tipo salvadoreño .....  | 20        |
| 5.4.3 Tipo peruano .....  | 21        |
| 5.5 Propagação .....  | 21        |
| 5.6 Espaçamento de plantio e manejo de corte .....  | 22        |
| 5.7 Uso da leucena como forragem para animais .....   | 24        |
| 5.8 Pragas e doenças .....  | 25        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO I - BANCOS DE GLIRICÍDIA E LEUCENA DESTINADOS À<br/>PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES DE LEGUMINOSAS .....</b>  | <b>26</b> |
| <b>RESUMO.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>29</b> |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>30</b> |
| 2.1 Produção e Experimentação com Mudanças de Gliricídia e Leucena .....  | 30        |
| 2.1.1 Produção das mudas de gliricídia e leucena .....  | 30        |
| 2.1.2 Experimento com mudas de gliricídia e leucena .....   | 32        |
| 2.2 Experimento de Campo: Bancos de Gliricídia e Leucena Destinados à Produção de Fertilizantes de Leguminosas..... | 34        |
| 2.2.1 Delineamento experimental do experimento de campo.....  | 34        |
| 2.2.2 Caracterização da área experimental e implantação do experimento.....   | 34        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.3 Manejo dos bancos de leguminosas.....   | 36        |
| 2.2.4 Atributos fitotécnicos avaliados nos bancos de leguminosas.....   | 37        |
| 2.3 Análises Estatísticas.....  | 40        |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>41</b> |
| 3.1 Experimento com Mudanças de Gliricídia e Leucena.....   | 41        |
| 3.2 Experimento de Campo: Bancos de Gliricídia e Leucena Destinados à Produção de Fertilizantes de Leguminosas.....   | 43        |
| 3.2.1 Primeiro corte dos bancos de gliricídia e de leucena.....   | 43        |
| 3.2.2 Segundo corte dos bancos de gliricídia.....   | 47        |
| 3.2.3 Terceiro corte dos bancos de gliricídia e segundo dos bancos de leucena.....  | 49        |
| 3.2.4 Quarto corte dos bancos de gliricídia e terceiro dos bancos de leucena.....   | 52        |
| 3.2.5 Quinto corte dos bancos de gliricídia e quarto dos bancos de leucena.....   | 56        |
| 3.2.6 Sexto corte dos bancos de gliricídia e quinto dos bancos de leucena.....  | 59        |
| 3.2.7 Comparação entre blocos.....  | 61        |
| 3.2.8 Produtividade de biomassa seca da parte aérea e exportação anual de nutrientes.....   | 63        |
| 3.2.9 Teores médios anuais de nutrientes.....   | 64        |
| 3.2.10 Influência da precipitação e temperatura sobre produtividade, percentual de matéria seca e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea dos bancos de gliricídia e de leucena..... | 65        |
| 3.2.11 Evolução do volume e densidade da madeira nos troncos remanescentes no campo.....  | 66        |
| <b>4 CONCLUSÕES.....</b>  | <b>70</b> |

## **CAPÍTULO II - FERTILIZANTES DE GLIRICÍDIA COMO FONTES ALTERNATIVAS À UREIA PARA PROVISÃO DE NITROGÊNIO À CULTURA DO MILHO..... 71**

### **RESUMO..... 72**

### **ABSTRACT..... 73**

## **1 INTRODUÇÃO..... 74**

## **2 MATERIAL E MÉTODOS..... 75**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Características da Área Experimental.....   | 75 |
| 2.2 Delineamento Experimental.....  | 76 |
| 2.3 Preparo das Amostras dos Fertilizantes de Gliricídia e Análises Laboratoriais.....                                      | 77 |
| 2.4 Variáveis Avaliadas nas Plantas de Milho e no Solo.....   | 78 |
| 2.4.1 Área amostral.....  | 78 |
| 2.4.2 Altura das plantas.....   | 79 |
| 2.4.3 Matéria seca da parte aérea.....  | 79 |
| 2.4.4 Teor e acúmulo de N na parte aérea.....   | 79 |
| 2.4.5 Eficiência das adubações (N derivado do fertilizante).....  | 79 |
| 2.4.6 Produtividade de grãos, matéria seca de 1.000 grãos e percentual da matéria seca de grãos na espiga desempalhada..... | 79 |
| 2.4.7 Atributos de qualidade do solo: pH, C-total e N-total.....  | 80 |
| 2.5 Análises Estatísticas.....  | 80 |

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 81**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Avaliações nas Plantas de Milho.....  | 81 |
| 3.1.1 Altura das plantas.....   | 81 |
| 3.1.2 Matéria seca da parte aérea, teor e acúmulo de N na matéria seca da parte aérea, produtividade de grãos, matéria seca de 1.000 grãos, percentual de matéria seca de grãos na espiga desempalhada..... | 83 |
| 3.1.3 N recuperado das adubações pela cultura do milho.....   | 87 |
| 3.2 Impacto das adubações sobre o pH e os teores de N-total e C-total do solo.....  | 88 |

## **4 CONCLUSÕES..... 93**



|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO III - IMPACTOS FITOTÉCNICOS, EDÁFICOS E TECNOLÓGICOS DE ADUBAÇÕES COM FERTILIZANTE DE GLIRICÍDIA E UREIA NA PRODUÇÃO DE CAPIM-CITRONELA .....</b> | <b>94</b>  |
| <b>RESUMO.....</b>  | <b>95</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>96</b>  |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>97</b>  |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>98</b>  |
| 2.1 Informações Gerais dos Experimentos .....   | 98         |
| 2.2 Delineamento Experimental.....  | 98         |
| 2.3 Obtenção do Fertilizante de Gliricídia e suas Características Químicas .....  | 98         |
| 2.4 Implantação e Condução do Experimento nos Vasos com Capim-citronela .....   | 98         |
| 2.4.1 Características do local do experimento .....   | 98         |
| 2.4.2 Preparo da terra e enchimento dos vasos .....   | 99         |
| 2.4.3 Do plantio ao primeiro corte .....  | 100        |
| 2.4.4 Primeiro corte das folhas do capim-citronela e avaliações.....  | 100        |
| 2.4.5 Entre o primeiro e segundo corte do capim-citronela.....  | 101        |
| 2.4.6 Segundo corte das folhas do capim-citronela e avaliações.....   | 101        |
| 2.4.7 Corte dos colmos do capim-citronela e avaliações.....   | 101        |
| 2.5 Experimento para Avaliação da Dinâmica de Secagem das Folhas do Primeiro Corte.....   | 101        |
| 2.6 Análise do Óleo Essencial das Folhas do Primeiro Corte do Capim-citronela .....   | 102        |
| 2.7 Determinação da Quantidade de Amônia Volatilizada do Solo .....   | 102        |
| 2.7.1 Determinação da eficiência de captura da amônia volatilizada.....   | 104        |
| 2.8 Análise da Terra ao Final do Experimento .....  | 105        |
| 2.9 Preparo das Amostras de Tecido Vegetal e Análises de Macronutrientes .....  | 105        |
| 2.10 Determinação da Eficiência das Adubações (N derivado do fertilizante).....   | 106        |
| 2.11 Análises Estatísticas .....  | 106        |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>107</b> |
| 3.1 Primeiro Corte das Folhas do Capim-citronela.....   | 107        |
| 3.1.1 Análises de regressão .....   | 108        |
| 3.1.2 Qualidade do óleo essencial.....  | 110        |
| 3.2 Volatilização de Amônia (NH <sub>3</sub> ) das Adubações.....   | 112        |
| 3.2.1 Quantidade de N-NH <sub>3</sub> volatilizado das adubações .....  | 112        |
| 3.2.2 Percentual relativo de N-NH <sub>3</sub> volatilizado das adubações .....   | 114        |
| 3.2.3 Perda acumulada, absoluta e relativa de N-NH <sub>3</sub> das adubações.....  | 115        |
| 3.3 Segundo Corte das Folhas de Capim-citronela.....  | 118        |
| 3.4 Colmos do Capim-citronela .....   | 120        |
| 3.5 Matéria Seca Total do Capim-citronela .....   | 121        |
| 3.5.1 Nitrogênio recuperado das adubações na matéria seca total .....   | 121        |
| 3.6 Impacto das Adubações sobre o pH e os Teores de C-total e N-total do Solo.....  | 123        |
| 3.7 Dinâmica de Secagem das Folhas de Capim-citronela.....  | 125        |
| <b>4 CONCLUSÕES.....</b>  | <b>126</b> |
| <b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>  | <b>127</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>128</b> |

## INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da consciência ecológica por parte da sociedade tem aumentado as demandas por sistemas agrícolas mais limpos e sustentáveis, como os preconizados pela agricultura orgânica. Sistemas orgânicos, além de garantirem produção de alimento seguro, sem a utilização de agrotóxicos, incorporam questões relacionadas à preservação do meio ambiente, utilização responsável dos recursos naturais, responsabilidade social e sustentabilidade, conforme expressa a Lei 10.831 de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências:

“Considera-se sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não-renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente.” (BRASIL, 2003).

Estima-se que de 1999 a 2010 a área agrícola mundial manejada organicamente (certificada) tenha aumentado de 11 para 37 milhões de hectares (WILLER & KILCHER, 2012), representando crescimento médio anual da ordem de 21,5%. A agricultura orgânica deixou de ser um movimento isolado, passando a ser praticada comercialmente em 160 países, envolvendo 1,6 milhões de produtores, 37 milhões de hectares cultivados e um mercado de US\$ 59,1 bilhões em 2010 (WILLER & KILCHER, 2012).

Entretanto, a área cultivada sob manejo orgânico é ainda muito pequena, representa menos de 1% da área agrícola mundial (FAO, 2009). Isso significa que existe muito espaço para agricultura orgânica crescer, mas significa também baixo nível de adoção desse tipo de sistema.

O desafio da humanidade é assegurar alimentos a uma população cada vez maior, em quantidade e qualidade adequadas, a um preço acessível e sem interrupção, conciliando segurança alimentar, rentabilidade econômica, bem estar social e conservação do meio ambiente (TILMAN et al., 2002).

É evidente que a agricultura orgânica após décadas de evolução acumulou um arcabouço de conhecimentos capaz de colaborar para o enfrentamento desse desafio. Contudo, existe a necessidade de melhoria de vários processos e, provavelmente, o mais importante deles seja à provisão de nitrogênio às culturas (LIEBHARDT et al., 1989; TREWAVAS, 2001; BERRY et al., 2002; SEUFERT et al., 2012).

O acesso a fontes de nitrogênio próprias tem se tornado cada vez mais necessário frente à finita disponibilidade de fertilizantes orgânicos admitidos pelas normas técnicas vigentes (FAO, 2010b; BRASIL, 2011). A solução de produção de fertilizantes a partir de leguminosas caminha nesse sentido, destacando-se como estratégia promissora para melhoria da autonomia do produtor orgânico quanto ao uso de N, aumento da produtividade das culturas, geração de renda e redução dos riscos de produção.

Esta tese trata da produção e do uso de fertilizantes de leguminosas, produtos derivados do corte/picagem, desidratação e moagem da biomassa aérea de determinadas leguminosas (Fabaceae) (ALMEIDA, 2007). A tecnologia possibilita o armazenamento de grandes quantidades de biomassa em espaços relativamente pequenos e seu uso em

quantidades e épocas adequadas, favorecendo a sincronia da provisão de N e outros elementos. É especialmente interessante para sistemas orgânicos de produção por agregar a funcionalidade da adubação verde com leguminosas com a praticidade de uso de um fertilizante orgânico.

Acredita-se que a tecnologia possa garantir à autossuficiência de N em sistemas orgânicos de produção e possibilite a transição de sistemas convencionais para orgânicos sem reduções drásticas da produtividade das culturas.

Neste sentido, estudos comparativos com fertilizantes nitrogenados de uso bastante conhecidos na agricultura (*e.g.* ureia) podem fornecer subsídios relevantes sobre o potencial dos fertilizantes de leguminosas como fontes de N e os impactos das adubações sobre o meio ambiente.

Esta tese esta centrada em responder a quatro hipóteses:

- 1) é possível alcançar a autossuficiência em nitrogênio em sistemas orgânicos com a produção e o uso de fertilizantes de leguminosas;
- 2) existem doses de fertilizantes de leguminosas que são capazes substituir a ureia na provisão de N às culturas;
- 3) adubações com fertilizantes de leguminosas possuem menor perda de nitrogênio por volatilização de amônia que adubações com ureia; e
- 4) solos adubados com fertilizantes de leguminosas são impactados positivamente, enquanto solos adubados com ureia são impactados negativamente.

A tese esta organizada em Revisão de Literatura, Capítulos I, II e III, Conclusões Gerais e Considerações Finais.

Na Revisão de Literatura foram abordados os seguintes temas: 1) Nutrientes Essenciais para as Plantas e Fixação de N<sub>2</sub>; 2) Fontes de Nitrogênio na Agricultura Orgânica; 3) A Família Botânica Fabaceae; 4) Gliricídia (*Gliricidia sepium*) com Ênfase na Produção de Forragem e 5) Leucena (*Leucaena leucocephala*) com Ênfase na Produção de Forragem.

No Capítulo I, intitulado: “Bancos de gliricídia e leucena destinados à produção de fertilizantes de leguminosas”, foi avaliado o efeito da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na produção de mudas das leguminosas arbóreas gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*), em bandejas de isopor com substrato não-esterilizado. Em seguida, foi conduzido um experimento de campo ao longo de 2,5 anos, sendo avaliado o desempenho de bancos constituídos pelas mudas dessas duas leguminosas, inoculadas e não-inoculadas com FMAs, sob dois níveis de adubação com fosfato de rocha, sob manejo orgânico da produção.

No Capítulo II, intitulado: “Fertilizantes de gliricídia como fontes alternativas à ureia para provisão de nitrogênio à cultura do milho”, adubações com dois fertilizantes de gliricídia, um derivado de folhas e galhos e outro apenas de folhas de gliricídia (derivadas dos bancos do Capítulo I), foram comparadas a adubações com doses crescentes de ureia, em experimento de campo com milho (*Zea mays*). O objetivo foi avaliar o potencial dos fertilizantes de gliricídia, comparativamente à ureia, em prover N à cultura do milho, assim como os impactos das adubações sobre atributos de qualidade do solo.

No Capítulo III, intitulado: “Impactos fitotécnicos, edáficos e tecnológicos de adubações com fertilizante de gliricídia e ureia na produção de capim-citronela”, adubações com doses crescentes de fertilizante de folhas de gliricídia foram comparadas a adubações com doses crescentes de ureia, em experimento com capim-citronela (*Cymbopogon nardus*), sob condições semicontroladas. O objetivo foi avaliar o potencial das adubações sobre a provisão de N à planta, a influência sobre a quantidade e qualidade do óleo essencial, a dinâmica de secagem das folhas de capim-citronela em sala com desumidificador de ar, assim

como os impactos das adubações sobre a volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e atributos de qualidade do solo.

Nas Conclusões Gerais, procurou-se estabelecer uma conexão entre os resultados apurados nos três capítulos e responder às quatro hipóteses centrais.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 1 Nutrientes Essenciais para as Plantas e Fixação de N<sub>2</sub>

Atualmente, a ciência reconhece a essencialidade de 17 elementos para as plantas. Entre eles, aqueles exigidos em grandes quantidades, os macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S), e aqueles exigidos em pequenas quantidades, os micronutrientes\* (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) (FURLANI, 2004; KIRKBY, 2012).

Por ser praticamente inexistente nas rochas que formam o solo (RAIJ, 1991) e um dos elementos minerais mais requeridos pelas plantas, o nitrogênio (N) é com frequência o nutriente que mais limita a produtividade das culturas (KIRKBY, 2012).

Embora 78% da atmosfera seja composta de nitrogênio diatômico (N<sub>2</sub>), a maioria dos organismos não têm capacidade de utilizá-lo para composição de suas moléculas. O N<sub>2</sub> possui uma forte ligação triplíce (N≡N) que mantém os dois átomos de N juntos, tornando quase impossível sua ligação a outros elementos. Contudo, existem processos, naturais e industriais, capazes de converter o N<sub>2</sub> a formas mais reativas de nitrogênio (NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-orgânico, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, HNO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), denominados de fixação de N<sub>2</sub> (GALLOWAY et al., 2004).

Na ausência de seres humanos, a fixação de N<sub>2</sub> ocorre por dois processos naturais: por intermédio de descargas elétricas atmosféricas e pela fixação biológica de N<sub>2</sub> realizada por micro-organismos detentores do complexo enzimático nitrogenase (GALLOWAY et al., 2004). Contudo, as maiores alterações do ciclo biogeoquímico do nitrogênio ocorreram depois da descoberta da síntese amônia (NH<sub>3</sub>) por Fritz Haber, em 1908, e sua rápida industrialização e comercialização, liderada por Carl Bosch, por volta de 1913 (SMIL, 2001).

O processo Haber-Bosch é considerado a mais importante invenção do Século XX (SMIL, 1999), responsável por viabilizar o incremento populacional de 2,6 bilhões, em 1950, para os atuais 7 bilhões. Estima-se que mais de 40% (SMIL, 1999) ou mais de 80% (HOWARTH, 2008) do N-proteico do corpo humano, na atualidade, sejam oriundos de fertilizantes nitrogenados sintéticos, evidenciando a forte dependência da humanidade à indústria do nitrogênio.

### 2 Fontes de Nitrogênio na Agricultura Orgânica

Em agricultura orgânica o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos é proibido (FAO, 2010b; BRASIL, 2011). Essa proibição deve-se, principalmente, à insustentabilidade da síntese industrial amônia (processo Haber-Bosch) e dos impactos negativos relacionados ao uso intensivo de N-sintético. O processo Haber-Bosch é sustentado pelo elevado consumo de combustíveis fósseis, que além de serem recursos não-renováveis, contribuem efetivamente para poluição do ar, acidificação da biosfera e aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (IPCC, 2007; GALLOWAY et al., 2008; RICE & HERMAN, 2012). Já o uso intensivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos tem causado danos ao meio ambiente e ameaçado a saúde humana (VITOUSEK et al., 1997; TOWNSEND et al., 2003; GALLOWAY et al., 2008).

---

\*O cobalto (Co), apesar de não ser reconhecido como nutriente essencial para as plantas, é de fundamental relevância para o processo de fixação biológica de N<sub>2</sub> nos nódulos das leguminosas (HALLSWORTH et al., 1960; REISENAUER, 1960; DELWICHE et al., 1961; DILWORTH et al., 1979).

As principais fontes de N na agricultura orgânica são:

- 1) leguminosas fixadoras de N<sub>2</sub>: a fixação biológica de N<sub>2</sub> em algumas leguminosas, como a soja (*Glycine max*), é tão eficiente que adubações nitrogenadas são dispensáveis para se alcançar alta produtividade de grãos e balanço positivo de N para o sistema (ALVES et al., 2006);
- 2) adubação verde, sobretudo com leguminosas; e
- 3) fertilizantes orgânicos (compostos, húmus, esterco de animais e resíduos agroindustriais).

Na prática, o ideal da autossuficiência em N é raramente alcançado. A maioria das produções orgânicas depende da compra de fertilizantes orgânicos para compensar os desequilíbrios e as perdas ocorridos ao longo do processo de produção (MCCOY, 2006).

Os fertilizantes orgânicos disponíveis no mercado têm se tornado cada vez mais escassos e caros, além de serem recursos finitos e insuficientes para alicerçar e exponenciar a orgânica mundial.

O custo do insumo tende a aumentar com o aumento da distância percorrida para sua aquisição, além da dependência ao recurso externo poder resultar em estabelecimentos mais suscetíveis economicamente, pois se por algum motivo não for possível adquirir o insumo, a produção fica inviabilizada.

Complementando a problemática, não basta um fertilizante ser orgânico para que possa ser usado em agricultura orgânica. Normativas técnicas que regulamentam esses sistemas estão sendo cada vez mais rigorosas quanto à permissão de uso de determinados fertilizantes orgânicos, sobretudo, se oriundos de sistema de produção convencional. A cama-de-aviário industrial, por exemplo, antes de uso permitido, foi terminantemente proibida pela legislação internacional (FAO, 2010b), mesmo se compostada; e está a caminho da proibição pela legislação nacional (BRASIL, 2011).

A fim de mitigar essa problemática, a Agroecologia, definida por Gliessman (2001) como a aplicação de conceitos e princípios ecológicos no desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis, tem buscado desenvolver tecnologias, no âmbito da agricultura orgânica, capazes de melhorar a autonomia/eficiência do sistema produtivo, minimizando sua dependência a insumos externos.

O desenvolvimento de sistemas agroecológicos, com ênfase na adubação verde com leguminosas (Fabaceae), tem se destacado como uma das principais tecnologias no meio rural para fertilização do solo. Muitas leguminosas possuem elevada capacidade de fixação biológica de N<sub>2</sub> graças a associações simbiótico-mutualísticas com bactérias diazotróficas, que possibilitam acúmulo de grandes quantidades de N na biomassa vegetal. Além disso, graças as suas raízes profundas e associações micorrízicas, conseguem recuperar nutrientes de camadas profundas do solo, onde raízes das principais culturas não conseguem alcançar. Quando cortadas e deixadas sobre o solo (ou incorporadas), são capazes de promover melhorias de atributos físicos, químicos e biológicos do solo (ESPINDOLA et al., 2005).

De modo geral, existem duas tecnologias principais de adubação verde, rotação (ou pré-cultivo) e consórcio. Na primeira a leguminosa é cultivada previamente à cultura de interesse econômico e, em determinada ocasião – geralmente quando o estande da leguminosa ultrapassa 50% de florescimento –, é incorporada ou mantida em superfície, sendo realizado o plantio da cultura comercial. Na segunda a leguminosa é cultivada junto à cultura comercial, podendo estar na entrelinha da cultura, em aleias, ou faixas intercalares, sendo manejada (podada ou cortada) em momento oportuno (ESPINDOLA et al., 2005). Existe também uma prática, na qual a mucuna (cinza ou preta), de crescimento volúvel trepador, é semeada na linha do milho em determinado momento após seu estabelecimento (ARF et al., 2000; SILVA

et al., 2011). Essa técnica possibilita a colheita do milho e adubação verde para cultura subsequente, sendo praticamente um híbrido das práticas anteriores. Também existe o chamado “cut-and-carry system” (sistema corta-e-carrega), no qual a biomassa aérea das leguminosas é retirada de um local e levada para adubar outro. Este tipo de sistema é caracterizado pelo cultivo de bancos de leguminosas arbóreas, que são submetidos a cortes frequentes, geralmente entre 0,5 e 1,5 m para facilitar o rebrote das leguminosas.

Apesar de a adubação verde com leguminosas ser capaz de melhorar a qualidade do solo, aumentar a biodiversidade funcional do agroecossistema, reduzir a necessidade da importação de insumos e contribuir para autossuficiência em N no sistema de produção, as práticas de adubação verde nem sempre tem sido adotadas.

Algumas razões podem explicar esse fato, como: falta de conhecimento da melhor forma de empregá-las, pouca disponibilidade de área para o cultivo das leguminosas, dificuldade de sincronizar a provisão de N com as demandas da cultura, descredibilidade da tecnologia, preferência do agricultor ou vantagem competitiva pelo emprego de fertilizantes orgânicos.

Em geral, as técnicas de adubação verde, nem sempre conseguem garantir as exigências de N das culturas, que acabam por necessitar de adubação com outras fontes de N, para que a qualidade e/ou o nível de produtividade desejados sejam alcançados. Geralmente, apenas uma pequena fração do N proveniente do adubo verde, menos de 30%, é recuperada pela cultura (FILLERY, 2001; BALASUBRAMANIAN et al., 2004; CREWS & PEOPLES, 2005). Mas também existem alguns problemas de ordem prática.

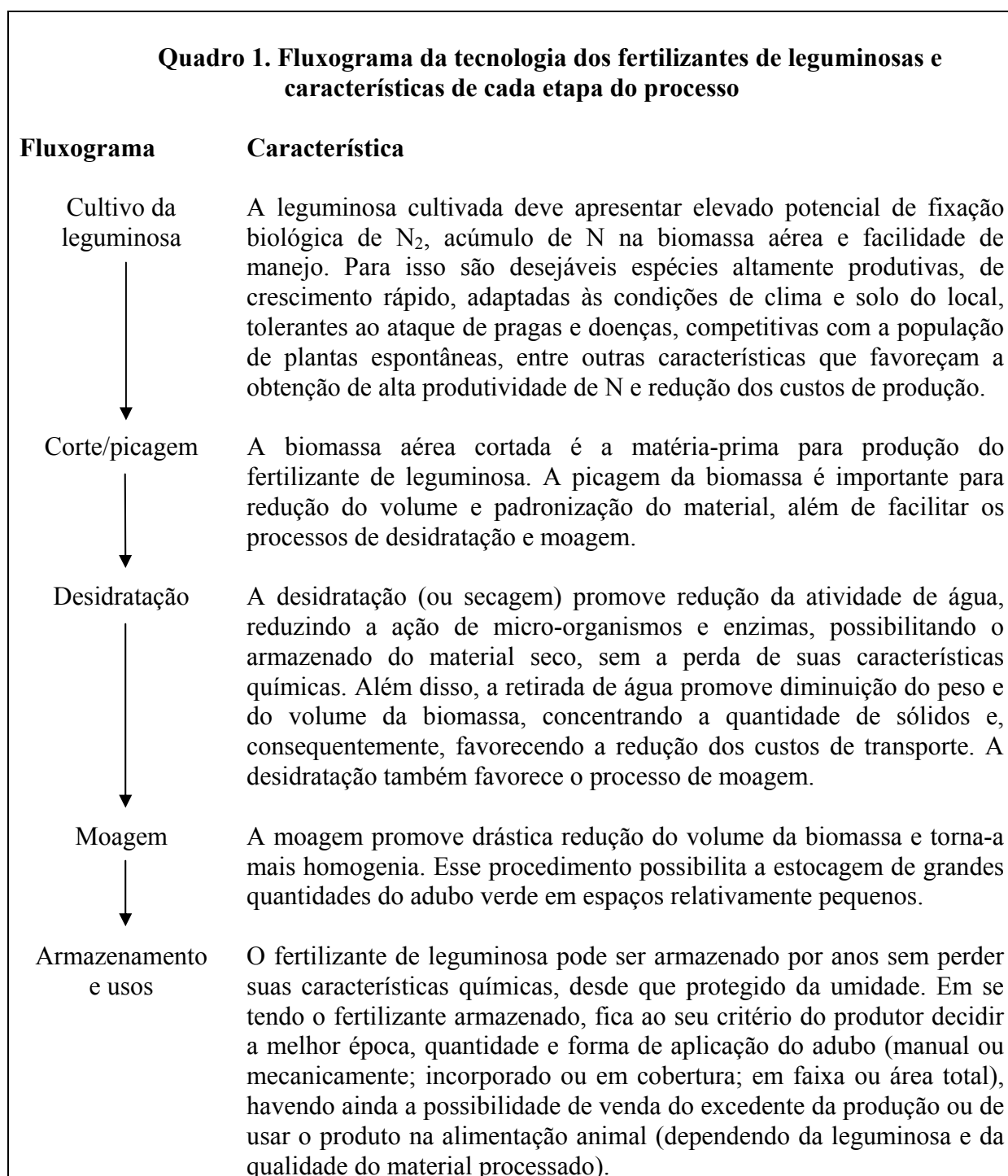
Na rotação, a leguminosa ocupa área que poderia estar sendo ocupada por uma cultura comercial e, após seu corte, oferece dificuldades ao preparo do solo e ao plantio da cultura subsequente, principalmente, àquelas cultivadas em espaçamentos reduzidos como alface, salsa, cebolinha, cenoura, rúcula e beterraba. Além disso, pelo fato de a adubação ser realizada, com toda a biomassa, pouco antes da semeadura ou transplântio da cultura comercial, grande parte do N estará disponível quando a cultura menos necessita. Nesse sentido, se as taxas de absorção da cultura são baixas e a quantidade de N-mineral é grande, mais suscetível o N estará às diversas vias-de-perda de N [erosão de solo, escoamento superficial de água, lixiviação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ou por emissões gasosas para a atmosfera na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ou o próprio gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) (GOULDING, 2004)]. Todas estas vias-de-perda, com exceção a do  $\text{N}_2$ , são potencialmente danosas ao meio ambiente, e/ou possuem importantes implicações para a saúde humana (CREWS & PEOPLES, 2004). Porém, o conceito central que define a relação entre o N que é utilizado pelas culturas e o N que prejudica o ambiente é a “sincronia” (CREWS & PEOPLES, 2005), ou seja, até que ponto as taxas de provisão de N se aproximam às taxas de N demandada pela cultura (CAMPBELL et al., 1995).

No consórcio, apesar de o problema da sincronia ser minimizado, existe o problema da competição da leguminosa com a cultura comercial (por água, luz e nutrientes), além de aumentar a complexidade do manejo do agroecossistema.

Buscando conciliar a funcionalidade da adubação verde com leguminosas com a praticidade de uso de um fertilizante orgânico foi desenvolvida a tecnologia dos fertilizantes de leguminosas (ALMEIDA, 2007).

## 2.1 Fertilizantes de leguminosas

Fertilizantes de leguminosas são produtos derivados do corte, desidratação e moagem de determinadas leguminosas (Fabaceae), com elevado potencial de fixação biológica de  $N_2$ , acúmulo de N e facilidade de manejo. A tecnologia possibilita o armazenamento de grandes quantidades de adubo verde em espaços relativamente pequenos e seu uso de forma parcelada, em quantidades e modos mais apropriados, favorecendo a sincronia da provisão de N e outros elementos às culturas (ALMEIDA, 2007). O Quadro 1 resume o fluxograma da tecnologia, destacando as principais características de cada etapa do processo.





Para Almeida (2007) não existe uma leguminosa ideal para produção dos fertilizantes de leguminosas, mas existem características desejáveis, como: rápido crescimento inicial; elevado potencial de fixação biológica de N<sub>2</sub>, produção de biomassa e acúmulo de N na parte aérea; sistema radicular profundo; associações micorrízicas; adaptação local; eficiência no uso de água; facilidade de propagação, competitividade com espécies espontâneas, tolerância a pragas, doenças e adversidades climáticas; e possibilidade de uso para alimentação animal. Esse autor avaliou a produção e características físicas e químicas, de cinco espécies de leguminosas, três herbáceas *Crotalaria juncea*, *Mucuna pruriens*, *Arachis pintoi*, e duas arbóreas, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala*. Em termos de produção do fertilizante, destacou o de crotalária pela cultura possuir rápido estabelecimento inicial, elevada competitividade com plantas espontâneas, elevado acúmulo de N na biomassa aérea e imediata possibilidade de mecanização de todo o processo de produção do fertilizante. Quanto às características físicas e químicas, destacou os fertilizantes oriundos de folhas gliricídia e leucena, por apresentarem conteúdos de N e densidades mais altos que os das demais espécies avaliadas.

A **Figura 1** mostra a importância do processo de picagem na padronização e redução do volume da biomassa aérea da *Crotalaria juncea*.



**Figura 1.** Importância da picagem na padronização e redução do volume da biomassa aérea da crotalária (*Crotalaria juncea*) (ALMEIDA, 2007).

A desidratação e a moagem reduzem ainda mais o volume da biomassa, possibilitando o armazenamento de muitas toneladas do material em espaços relativamente pequenos. Por exemplo, em um espaço útil de 4 x 4 x 3 m é possível armazenar 10,7 toneladas de fertilizante de crotalária ou 19,3 toneladas de fertilizante de folhas de gliricídia, em base seca (ALMEIDA, 2007).

Almeida et al. (2008) em experimento de campo avaliaram a adubação em cobertura com os fertilizantes de gliricídia e mucuna-cinza (*Gliricidia sepium* e *Mucuna pruriens*, respectivamente), comparativamente à cama-de-aviário industrial, e concluíram que ambos os fertilizantes de leguminosas são capazes de substituir a cama-de-aviário, em dosagem equivalente de N-total, na provisão de N à cultura da alface (*Lactuca sativa*) conduzida sob manejo orgânico. Em experimento com rúcula (*Eruca sativa*), sob condições semicontroladas e duas formas de aplicação dos fertilizantes orgânicos (em cobertura e incorporado), foi concluído que o fertilizante de gliricídia é mais eficiente que o fertilizante de mucuna-cinza, que por sua vez é mais eficiente que a cama-de-aviário industrial na provisão de N à rúcula (ALMEIDA et al., 2007b). Em outro experimento com rúcula, também sob condições semicontroladas, avaliando fertilizantes de cinco espécies de leguminosas (*Crotalaria juncea*, *Mucuna pruriens*, *Arachis pintoi*, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala*),

comparativamente à cama-de-aviário industrial, sob duas doses de N-total, concluiu-se que os fertilizantes de leguminosas apresentam eficiência comparável à cama-de-aviário na provisão de N à rúcula (ALMEIDA et al., 2007a). Esses resultados consubstanciam o potencial dos fertilizantes de leguminosas como fontes de N, haja vista que a cama-de-aviário industrial é uma das fontes orgânicas de N mais eficazes para provisão de N às culturas (KIEHL, 1985) e, para agricultura orgânica, assumem forte relevância por serem fontes de N produzíveis localmente e totalmente admitidas pelas normas técnicas vigentes de agricultura orgânica (FAO, 2010b; BRASIL, 2011).

Apesar de não ser o foco dessa tese, os fertilizantes de leguminosas são fontes de todos os nutrientes requeridos pelas plantas, em especial o potássio ( $K^+$ ), que pode ser prontamente disponibilizado para as plantas por não estar ligado covalentemente a nenhuma molécula orgânica. Nesse sentido, pode-se considerar que a eficiência dos fertilizantes de leguminosas em prover K ao solo é próxima a 100%.

Adubações com fertilizantes de leguminosas também aumentam de forma significativa os teores de C-total, N-total, Ca e K e a população de micro-organismos do solo (ALMEIDA, 2007), características relevantes para manutenção da fertilidade do solo e sustentabilidade dos agroecossistemas.

### 3 A Família Botânica Fabaceae

#### 3.1 Características gerais

Fabaceae (ou Leguminosae<sup>†</sup>), família de plantas terrestres comumente conhecidas como leguminosas, é a terceira maior família das angiospermas (plantas com flores e sementes protegidas por frutos), atrás apenas da *Asteraceae* e da *Orchidaceae*. Uma característica típica das leguminosas é a ocorrência do fruto do tipo legume, também conhecido como vagem, exclusivo da família. Fabaceae é subdividida em três subfamílias com características morfológicas distintas: *Faboideae* (ou *Papilionoideae*), *Caesalpinioideae* e *Mimosoideae* (WIKIPÉDIA, 2011).

A família das leguminosas compreende cerca de 727 gêneros e 19.325 espécies, dentre elas, espécies herbáceas e arbóreas, distribuídas em quase todas as regiões do mundo. No Brasil ocorrem cerca de 220 gêneros e 2.736 espécies (WIKIPÉDIA, 2011).

#### 3.2 Relevância ecológica

Uma das características ecológicas mais relevantes de grande parte das leguminosas é a associação mutualística com bactérias do gênero *Rhizobium* e semelhantes, formando estruturas denominadas nódulos (geralmente radiculares). Essas estruturas tornam o processo de fixação biológica de  $N_2$  mais eficiente, comparativamente às bactérias de vida-livre, possibilitando o aporte de grandes quantidades de N ao ecossistema ou agroecossistema (REIS et al., 2006). Outra característica relevante é que grande parte das leguminosas formam associações mutualísticas com fungos micorrízicos arbusculares, organismos capazes de aumentar a eficiência de absorção de nutrientes das plantas (BERBARA et al., 2006).

A utilização de mudas de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas é uma tecnologia extremamente útil para recolonização e recuperação de áreas degradadas (FRANCO et al., 1995).

---

<sup>†</sup>A variação no nome se deve à possibilidade de uso de nomes alternativos consagrados em algumas famílias botânicas, regra prevista no Código Internacional de Nomenclatura Botânica (WIKIPÉDIA, 2011).

### 3.3 Relevância econômica

As leguminosas têm grande relevância econômica, sejam elas herbáceas ou arbóreas, sendo muito comum a multiplicidade de usos de uma única espécie. A seguir são apontados alguns usos comuns relacionados a determinadas espécies (adaptado de WIKIPÉDIA, 2011):

- produção de grãos: soja (*Glycine max*), ervilha (*Pisum sativum*), feijão (*Phaseolus* spp.), amendoim (*Arachis hypogaea*), grão-de-bico (*Cicer arietinum*);
- produção de forragem para animais: alfafa (*Medicago sativa*), gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*);
- pastagem: *Desmodium* spp., *Stylosanthes* spp. e siratro (*Macroptilium atropurpureum*);
- ornamentação: flamboyant (*Delonix regia*), pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*), sombreiro (*Clitoria fairchildiana*);
- madeira: jacarandá (*Dalbergia nigra*), cerejeira (*Amburana cearensis*), jatobá (*Hymenaea* spp), angelim (*Hymenolobium* spp) e sucupira (*Pterodon emarginatus*).
- extração de tanino (utilizado principalmente em curtumes): acácia-negra (*Acacia decurrens*);
- adubação verde: *Crotalaria* spp., *Mucuna* spp., *Canavalia* spp., *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Flemingia macrophylla*;
- recuperação de áreas degradadas: *Mimosa* spp., *Acacia* spp., *Albizia* spp., *Clitoria* spp., *Enterolobium contortisiliquum*, etc. (FRANCO et al., 1995).

As leguminosas também são usadas para produção de lenha, carvão, biogás, escoras, gomas, corantes, espessantes, medicamentos, resinas, pesticidas, cercas-vivas, moirão-vivo, sombreamento de culturas, abrigo de animais, fonte de néctar e pólen para inimigos naturais de pragas e abelhas, e conservação do solo. Enfim, as leguminosas são recursos biológicos de múltiplos usos e serviços, capazes de aumentar a biodiversidade funcional e o nível de autossuficiência em N do agroecossistema.

## 4 Gliricídia (*Gliricidia sepium*) com Ênfase na Produção de Forragem

### 4.1 Características gerais

A *Gliricidia sepium* (gliricídia) é uma leguminosa arbórea de crescimento rápido, rústica, com elevada produtividade e fixação biológica de N<sub>2</sub>, possuindo ampla adaptabilidade às diferentes zonas ecológicas do mundo (NAS, 1980). É também reconhecida pelos seus múltiplos usos e serviços, entre eles: alimento para animais, adubação verde, cerca-viva, moirão-vivo, quebra-ventos, forrageamento de abelhas, sombreamento, lenha, carvão, escora para construções, suporte para plantas, recuperação de áreas degradadas, artesanato, cabos de ferramentas, produção de inseticida, raticida e medicamentos (ELEVITCH & FRANCIS, 2006).

Vários centros de pesquisa têm desenvolvido estudos com essa espécie, que foi considerada por Batish et al. (2007) como a segunda leguminosa arbórea de múltiplos usos de maior importância no mundo, superada apenas pela *Leucaena leucocephala*.

## 4.2 Descrição botânica e características da espécie

A gliricídia é uma árvore da família Fabaceae (antiga Leguminosae), subfamília Faboideae (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classificação científica da *Gliricidia sepium*.

| Classificação científica                        |                   |
|---|-------------------|
| Reino:  | Plantae           |
| Sub-reino                                       | Tracheobionta     |
| Divisão:  | Magnoliophyta     |
| Classe:   | Magnoliopsida     |
| Subclasse:                                      | Rosidae           |
| Ordem:  | Fabales           |
| Família:  | Fabaceae          |
| Subfamília:                                     | Faboideae         |
| Tribo:  | Robinieae         |
| Gênero:   | <i>Gliricidia</i> |
| Espécie:  | <i>G. sepium</i>  |
| Binômio científico                              |                   |
| <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. |                   |
| Fonte: USDA, 2011; Wikipedia (2011).            |                   |

O nome do gênero, *Gliricidia*, em latim significa mata-ratos e o nome específico, *sepium*, significa cercas-vivas, indicando um dos usos mais populares dado à espécie (PARROTTA, 1992).

A *G. sepium* é uma árvore caducifolia com folhagem sobre galhos grossos e irregulares que com frequência se curvam para baixo. A árvore não apresenta espinhos e quando adulta possui tronco curto, frequentemente retorcido com diâmetro na altura do peito de até 30 cm, altura entre 5 e 15 m, apresentando copa irregular e aberta (PARROTTA, 1992).

*G. sepium* apresenta flores reunidas em inflorescências axilares, do tipo racemo, com desenvolvimento centripeto, apresentando 27 a 58 botões por inflorescência, com antese de 5 a 45 flores por dia (KILL & DRUMOND, 2001). As flores são zigomorfas, apresentando cores vistosas (com coloração magenta predominante), guias de néctar, antese diurna, plataforma de pouso e néctar abrigado na base da corola, características que permitem classificá-la como melitófila (KILL & DRUMOND, 2001). A antese ocorre por volta das 6 h, e a duração das flores é de aproximadamente 10 horas. Abelhas (Insecta: Hymenoptera: Apidae e Anthophoridae) e lepidópteros (Insecta: Lepidoptera: Hesperidae) são os principais visitantes florais (KILL & DRUMOND, 2001).

A floração ocorre na região de Petrolina, PE (09° 09' S; 40° 22' W, 350m.), no período de julho a outubro, atingindo seu pico no início de agosto (KILL & DRUMOND, 2001). Em Seropédica, RJ, as árvores que não recebem manejo de poda geralmente começam a florescer no final de junho, persistindo flores até setembro. Neste mesmo período, ocorre queda generalizada das folhas, coincidindo também com o período seco do ano (observações do autor). Na Nigéria (7° 43' N; 30° 91' E) é comum o florescimento da gliricídia na estação seca, mesmo sob podas frequentes (LIASU et al., 2006).

O período entre a inflorescência e a maturação dos frutos é curto, ocorrendo geralmente entre 40 e 55 dias (HUGHES, 1987). Quanto ao sistema de reprodução, *G. sepium* é xenógama obrigatória, produzindo frutos e sementes somente após polinização cruzada (KILL & DRUMOND, 2001). Os frutos são vagens chatas, geralmente de cor verde pálido, podendo apresentar tonalidades róseo-arroxeadas em função da exposição solar (DRUMOND

et al., 1999). A vagem é uma glabra com comprimento de 10 a 17 cm e largura de 1,5 cm, contendo de 3 a 8 sementes. As sementes são elípticas, achatadas, brilhantes, de coloração pardo-clara a escura e 10 mm de largura (LITTLE, 1983). A coleta de sementes desta espécie na região Sudeste do Brasil é feita do início de novembro até meados de dezembro (MATOS et al., 2005). As sementes são arremessadas com a explosão das vagens a distâncias de até 40 m. A produção de sementes varia entre os diferentes genótipos na faixa de 75 kg ha<sup>-1</sup> (procedência Belén Rivas, Nicarágua) até 180 kg ha<sup>-1</sup> (procedência Monterrico, Guatemala), com base em 7 sementes/vagem e 8.000 sementes/kg (COOK et al., 2005).

A folhagem apresenta odor adocicado devido à ocorrência de cumarina, substância aromática encontrada em alguns condimentos. As folhas, normalmente são imparipinadas (com um folíolo terminal ímpar), apresentam de 15 a 25 cm de comprimento e têm de 3 a 17 folíolos opostos. Os folíolos são oblongo-ovalados, coniformes na base, agudos no ápice e de comprimento médio de 4 a 6 cm (LITTLE, 1983).

### 4.3 Histórico e distribuição geográfica

A *G. sepium* é conhecida comumente como gliricídia (Brasil), madre-de-cacao (Honduras, Porto Rico, Costa Rica), mata-ratón (Colômbia), cocoite (México), quick-stick (Jamaica), entre outros nomes. Desses, os mais pitorescos são madre-de-cacao, devido a sua utilização para sombreamento em plantações de cacau, e mata-ratón por suas raízes serem utilizadas como veneno para roedores (NAS, 1980; HUGHES, 1987; PARROTTA, 1992).

Nativa desde o México até o norte da América do Sul, foi introduzida no trópico da África, Sudeste da Ásia, América do Sul e Caribe (STANDLEY & STEYERMARK, 1945; NAS, 1980; PARROTTA, 1992). Apesar da ampla ocorrência natural da gliricídia em toda a América Central e México, acredita-se que seja nativa somente de áreas sazonalmente seca (SUTTIE, 1988).

### 4.4 Adaptação ambiental

*G. sepium* não é tão exigente com relação à temperatura, tendo em vista que as temperaturas médias mensais dos locais onde ocorre naturalmente variam entre 20,7 e 29,2°C. No entanto, apresenta melhor desempenho em regiões de clima tropical, com altitude de até 700 m. O melhor crescimento ocorre em áreas que recebem entre 1.500 a 2.300 mm de precipitação ao ano (LITTLE, 1983). A espécie tolera a seca, mas não resiste a geadas (LITTLE, 1983; HUGHES, 1987; FRANCO, 1988), o que explica a falta de ocorrência natural da espécie acima de 1.600 m. Whiteman et al. (1986) constatou que as árvores perdem as folhas quando as temperaturas noturnas ficam abaixo de 15°C. Cook et al. (2005) concorda que a planta é tolerante a seca, adaptando-se a regimes de chuvas entre 650 e 3.500 mm. Perde folhas facilmente quando a época seca é moderada ou severa, mas mantêm-se sempre verdes quando se tem umidade no solo durante todo ano.

Nos 30 locais amostrados por Hughes (1987) em seu amplo levantamento das populações naturais de *G. sepium*, verificou-se sua distribuição por uma grande diversidade de solos, desde solos arenosos e pedregosos até Vertissolos profundos de cores escuras. A maioria dos solos apresentavam pH entre 4,5 e 6,2, mas também foram encontradas em solos com pH levemente alcalino.

No Peru, foi sugerido que a planta é adequada para solos ácidos e inférteis (SZOTT et al., 1991). Whiteman et al. (1986) corrobora ao afirmar que a planta se adapta bem a solos da Austrália com pouco teor de cálcio. No entanto, em solo indonésio solos com alta saturação de alumínio, as plantas apresentaram má adaptação (DIEROLF & YOST, 1989). Desenvolve-

se em áreas de declives acentuados e compete bem com ervas daninhas (HUGHES, 1987; NEVES et al., 2004). A espécie é intolerante às condições pantanosas (solos de má drenagem), assim como Vertissolos compactados. Toleram solos ácidos (pH 4,3 a 5,0), não suportando solos muito alcalinos (BAGGIO & HEUVELDOP, 1982; HUGHES, 1987).

Uma característica comum nas regiões sazonalmente secas da América Central e do México são os incêndios que acabam queimando áreas em pousio e florestas secundárias. A gliricídia tolera bem incêndios e rebrotam rapidamente com início das chuvas e, provavelmente, por isso, adquiriram alta frequência nesses locais.

#### 4.5 Genótipo

Coleções de diversas procedências de gliricídia foram iniciadas no início dos anos 80 (HUGHES, 1987), sendo distribuídas por mais de 100 instituições de pesquisa espalhadas pelo mundo, que realizaram ensaios que avaliaram, sobretudo, formas de propagação, sobrevivência, crescimento e produção (STEWART, 1998). Resultados de 34 ensaios foram compilados por Dunsdon & Simons (1996), incluindo dados de produção de biomassa foliar de 16 localidades. Esses resultados apontam claramente que a procedência Retalhuleu (Guatemala) é superior a todas as demais, quanto à produção de folhagem. Seu desempenho médio é 30% superior à média das outras procedências em todos os sítios avaliados. Outras procedências que também se destacaram da média foram Belén Rivas e Monterrico.

Wong (1998), em experimento realizado na Malásia, comprova a elevada produtividade da procedência de Retalhuleu, que alcançou produtividade de matéria seca de forragem de 39 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Ngulube (1994), também na Malásia, em experimento com nove procedências, concluiu que Retalhuleu, Pontezuela Bolívar, Volcan Suchitam e Francisco são as procedências mais produtivas em sistema de aléias. Kwesiga (1994) em experimento realizado na Zâmbia, com 15 procedências constatou que Retalhuleu e Pontezuela (Colômbia) são as mais produtivas.

#### 4.6. Propagação

A espécie é facilmente propagável por estacas ou sementes (FACT SHET, 1998). Estacas grandes, com 1 a 2,5 m de comprimento e 6 cm em diâmetro, são obtidas quando as matrizes possuem ramos de 1,5 a 2 anos de idade. Estacas pequenas, de 0,3 a 0,5 m de comprimento, quando os ramos estão com 6 a 12 meses de idade. Os ramos para produção de estacas devem ser saudáveis e não apresentar brotações laterais. Deve ser realizado corte em bisel na parte superior estaca para prevenir acúmulo de água e posterior apodrecimento. Para incentivar o enraizamento, a casca na porção inferior da estaca deve ser marcada até ao câmbio com uma faca afiada. Um terço das estacas pequenas pode ser enterrado. Para estacas grandes, basta 50 cm. Árvores estabelecidas por estacas têm um sistema radicular mais raso e porte pequeno, sendo mais suscetíveis a tombamento por ventos fortes. Estacas grandes usualmente são usadas como moirões-vivos e as pequenas em bancos de proteína. Rey & Ibrahim (1995) indicam alternativa para a formação de bancos de proteína. Utilizam-se estacas com 8 a 12 cm de diâmetro e de 1,5 a 2 m de comprimento. Para facilitar o enraizamento faz-se uma incisão de 1 cm de largura, até o câmbio, ao longo do comprimento da estaca. Depois de preparar o terreno são feitos sulcos com 10 cm de profundidade e distanciados por 1 m. As estacas são plantadas à semelhança da cana-de-açúcar inteira. São colocadas no fundo do sulco, com a incisão voltada para baixo, cruzando-se as pontas das estacas. Não é recomendável usar o banco de proteínas antes de oito meses.

As sementes de gliricídia não precisam de pré-tratamento, como escarificação, podendo ser semeadas diretamente em campo ou por mudas com dois a três meses de idade. A semeadura direta é realizada com 2 ou 3 sementes por cova, na profundidade de 1 a 2 cm. Em geral, 1 kg de sementes contém 4.500 a 11.000 sementes e a taxa de germinação é superior a 90%. Em ótimas condições de armazenamento, umidade relativa do ar de 6 a 10% e temperatura de 4°C, as sementes permanecem viáveis por mais de 10 anos (ALLISON & SIMONS, 1996). A 50% de umidade relativa do ar e 17°C a qualidade da semente é preservada por um ano (HENSLEIGH & HOLAWAY, 1988).

#### **4.7 Uso da gliricídia como forragem para animais**

A forragem de gliricídia é constituída de folhas e hastes tenras e possui na matéria seca com 20-30% de proteína bruta, 53% de FDN, 33% de FDA e digestibilidade *in vitro* da matéria seca entre 54 e 70 % (GALINDO et al., 1989; CAMERO, 1994; GÓMEZ et al., 1995). Apesar de seu alto valor nutritivo, é comum, ruminantes rejeitarem inicialmente suas folhas frescas, provavelmente em razão de seu odor, sugerindo que o problema esteja nos compostos voláteis liberados pela folhagem. Segundo Simmons & Stewart (1994) alguns métodos têm sido usados para melhorar sua palatabilidade, como desidratação, adição de melão ou sal, além de adaptação dos animais à nova dieta, ou seu confinamento junto com animais já adaptados ao consumo de gliricídia.

Carew (1983) sugeriu que as folhas de gliricídia poderiam ser usadas como única fonte de proteína para ruminantes. Contudo, novilhas no Sri Lanka recebendo mistura (1:1) de *Gliricidia sepium/Brachiaria milliformis* apresentaram maiores, ganhos de peso que aquelas alimentadas exclusivamente com gliricídia (LIYANAGE & WIJERATNE, 1987). Ovinos, no México, apresentaram maior consumo e digestibilidade da matéria seca, quando gliricídia foi usada como suplemento em até 30% da dieta, juntamente com feno de capim (NOCHEBUENA & O'DONOVAN, 1986).

#### **4.8. Espaçamento de plantio e manejo de corte**

Para produção de fertilizante de leguminosas é interessante que se consiga alta produtividade e acúmulo de N na biomassa aérea, com a maior parte do N derivado da fixação biológica de N<sub>2</sub>, e facilidade de manejo (ALMEIDA, 2007). O mesmo é almejado quando se quer produzir forragem, no entanto, o enfoque é produção de proteína, palatabilidade e digestibilidade do material. Essas características são alcançadas com o adensamento das plantas e podas frequentes.

A gliricídia tolera repetidos cortes. Para produção de forragem é recomendado primeiro corte com 8-12 meses após a semeadura a altura de 0,5-1,0 m e, posteriormente, de 2 a 4 meses dependendo da temperatura e precipitação (COOK et al., 2005).

Ella et al. (1989), na Indonésia, reportam que no espaçamento de 0,5 x 0,5 m (40.000 plantas ha<sup>-1</sup>) e podas a intervalos de 12 semanas a partir do primeiro corte, a gliricídia alcança maior produtividade de biomassa que nos espaçamentos 4,0 x 0,5; 2,0 x 0,5 e 1,0 x 0,5 m. Esses autores também reportam que a proporção de galhos aumenta marcadamente com aumento do intervalo entre cortes.

Gómez et al. (1990), na Colômbia, relata que no espaçamento de 0,5 x 0,5 a gliricídia é mais produtiva do que no espaçamento 1 x 1 m. Entretanto, o menor espaçamento dificulta a colheita e os tratamentos fitossanitários, não sendo, portanto, recomendável.

Wong (1998), na Malásia, avaliando duas alturas de corte (0,5 e 1,0 m) e duas frequências de corte (2 e 3 meses) de bancos de gliricídia destinados à produção de forragem obteve ao longo de um ano os resultados organizados na **Tabela 2**.

**Tabela 2.** Influência da altura e frequência de corte na produtividade anual de bancos de gliricídia destinado à produção de forragem.

| Frequência de corte                   | Altura de corte  |              | Diferença (%) <sup>†</sup> |
|---------------------------------------|--|--------------|----------------------------|
|                                       | 0,5 m  | 1,0 m        |                            |
|                                       | Produtividade de matéria seca (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) |              |                            |
| 2 meses (6 cortes ano <sup>-1</sup> ) | 11,04  | 15,50        | <b>40,4</b>                |
| 3 meses (4cortes ano <sup>-1</sup> )  | 28,97  | 39,01        | <b>34,7</b>                |
| <b>Diferença (%)<sup>‡</sup></b>      | <b>162,4</b>   | <b>151,7</b> | -                          |

<sup>†</sup>Diferença (%)= (PMS<sub>1m</sub>-PMS<sub>0,5m</sub>)\*100/PMS<sub>0,5m</sub>. <sup>‡</sup>Diferença (%)= (PMS<sub>3meses</sub>-PMS<sub>2meses</sub>)\*100/PMS<sub>2meses</sub>. PMS = produtividade de matéria seca da parte aérea.

Fonte: adaptado de Wong (1998).

A relação folhas/galhos diminui com o aumento do intervalo entre cortes (ELLA et al., 1989; WONG, 1998). No experimento de Wong (1998) essa relação caiu de 2,33 para 1,69 g g<sup>-1</sup> de matéria seca, respectivamente aos intervalos entre cortes de 2 e 3 meses. Ella et al. (1989) aponta queda nessa relação, para três espécies de leguminosas arbóreas (*Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* e *Calliandra calothyrsus*), com o aumento do intervalo entre cortes de 6 para 12 semanas.

No Sul de Bali, para produção de forragem é recomendável cortes a cada dois meses, nos quatro meses da época de chuvas, e cortes a cada quatro meses, nos oito meses da época seca (PUGER et al., 1998).

Certamente, a melhor frequência de corte para se conseguir máxima produtividade de N ao longo do ano é fortemente influenciada pelo clima do local. As plantas podem ser cortadas com maior frequência na época das chuvas em comparação com a época seca. Em geral, o rendimento anual de biomassa aumenta quando é realizado menor número de cortes, mas a proporção folhas/galhos diminui, diminuindo também o teor de N na biomassa seca. Para produção de fertilizante de leguminosa pode ser interessante existir um pouco mais de tecido suberizado na biomassa a ser processada do que os normalmente contidos em forragem, com vistas a uma decomposição mais gradual do material e aumento da permanência da matéria orgânica no solo. Por outro lado, a redução da velocidade de decomposição pode se traduzir em menor taxa de biodisponibilização líquida de N, representando menor eficiência do fertilizante na provisão de N, sobretudo, em avaliações de curto prazo. Outro enfoque, é a busca de proporções folha/galho do fertilizante objetivando a melhoria da sincronia de biodisponibilização de N do fertilizante e a demanda de N de uma determinada cultura ou sistema de produção.

Outro aspecto do manejo que pode influenciar a produtividade da cultura é a idade ao primeiro corte. Ella et al. (1991) reporta que tanto a gliricídia como a leucena respondem positivamente ao aumento da idade ao primeiro corte, produzindo mais biomassa tanto no primeiro corte como nos cortes subsequentes.

#### 4.9 Produtividade, teores de macronutrientes e fixação biológica de nitrogênio

Em plantios adensados (10.000 a 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>) e podas frequentes a produção de matéria seca (folhas e talo tenro) média, gira em torno de 12-21 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (ELLA et al., 1989; GÓMEZ & PRESTON, 1996; CATCHPOOLE & BLAIR, 1990; GÓMEZ et al., 1990; REY & IBRAHIM, 1995) e em alguns cultivos pode-se alcançar 23-25 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>



(PEOPLES et al. 1996), 27 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (CRUZ, 2001) ou até 29-39 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (WONG, 1998).

A biomassa cortada pode acumular quantidades de N apreciáveis, em kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N: 640-747 (GÓMEZ et al., 1990), 629 (GÓMEZ & PRESTON, 1996), 788 (CRUZ, 2001) e 647-738 (PEOPLES et al. 1996).

A quantidade de N acumulado na parte aérea derivado da fixação biológica de N<sub>2</sub> depende do genótipo da planta, situando-se na faixa de 56 e 74% (SANGINGA et al., 1992). Awonaike & Hardarson (1992) apontam que estirpe de *Rhizobium* utilizada influencia drasticamente na fixação biológica de N<sub>2</sub> e no desempenho da gliricídia. Jayasundara et al. (1997) afirmam que a fixação biológica de N<sub>2</sub> varia entre as diferentes épocas de rebrote, tanto para *Gliricidia sepium* como para *Leucaena leucocephala*, ficando entre 61 e 72%, aumentando para 71-83% quando em consórcio com gramíneas. Peoples et al. (1996) relatam *Calliandra calothyrsus* e *G. sepium* fixam entre 61 e 72% do N acumulado. Enquanto Liyanage et al. (1994) aponta que em média, diferentes genótipos de gliricídia, fixam 55% do N. Paulino et al. (2009) reportam que o potencial de fixação biológica de N<sub>2</sub> de árvores de gliricídia mantidas em regime de poda é da ordem de 80%. Giller & Cadisch (1995) relatam que em geral as leguminosas fixam entre 60 e 80% do N.

A **Tabela 3** resume informações sobre os teores de macronutrientes na folhagem da gliricídia. Esses teores ocorrem na seguinte ordem de magnitude: C>N>K>Ca>Mg>S>P.

**Tabela 3.** Teores de macronutrientes contidos na folhagem<sup>†</sup> seca de *G. sepium*.

| C                     | N    | P   | K    | Ca   | Mg  | S   | Referência                       | País     |
|-----------------------|------|-----|------|------|-----|-----|----------------------------------|----------|
| (g kg <sup>-1</sup> ) |      |     |      |      |     |     |                                  |          |
| 497                   | 35,2 | 1,2 | 13,5 | 15,2 | 5,2 |     | Almeida, 2007                    | Brasil   |
|                       | 25,3 | 1,7 | 14,3 | 16,6 | 7,4 |     | Lima, 2007                       | Brasil   |
|                       | 31,4 | 1,7 | 12   |      |     |     | Queiroz et al., 2007             | Brasil   |
| 473                   | 48,0 | 2,1 |      |      |     |     | Tian et al., 2007                | Nigéria  |
|                       | 37,0 | 2,1 | 24,1 |      | 7,2 |     | Hall et al., 2006                | Mali     |
|                       |      | 2,3 | 21,4 | 13,1 | 3,4 |     | Oladeji et al., 2006             | Nigéria  |
|                       | 41,4 | 2,4 | 20,0 | 17,9 | 5,2 |     | Gómez & Preston, 1996 (adaptado) | Colômbia |
|                       | 27,3 | 1,7 | 15,6 | 10,7 | 6,6 | 2,9 | Barreto & Fernandes, 2001        | Brasil   |

<sup>†</sup>A folhagem é composta apenas de folhas ou de folhas + galhos finos, dependendo da referência.

#### 4.10 Pragas e doenças

Apesar de ser amplamente cultivada em todo o trópico, *G. sepium* manteve-se relativamente livre de doenças graves. Acredita-se que a ausência de doenças esteja relacionada à tendência de perda de folhas em períodos do ano, reduzindo assim o risco de epidemias (COOK et al., 2005).

Entretanto, levantamentos na América Central indicam a ocorrência comum e grave da “doença das folhas pequenas” (provavelmente causado por micoplasma) em cercas-vivas e populações naturais (LENNÉ & BOA, 1998).

*Cercosporidium gliricidiasis*, fungo que causa os sintomas de chocolate ou mancha marrom, é amplamente registrado para *G. sepium* em toda América do Sul e Central, Caribe, África, Sudeste da Ásia e do Pacífico. Estudos confirmaram sua ocorrência comum em Honduras e na Guatemala que, sob condições de umidade, provoca desfolhamento (LENNÉ & BOA, 1998).

Na Nigéria, o fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, expresso como pequenas manchas foliares escuras e arredondadas, é mais comum do que *C. gliricidiasis* (LENNÉ & BOA, 1998).

Na Costa Rica, *G. sepium* foi desfolhada por *Cladosporium* sp., fungo também encontrado na Jamaica e Venezuela. O fungo *Sphaceloma* sp. foi encontrado pela primeira vez em Honduras, manifestando necrose marrom em pecíolos e caules da gliricídia (LENNÉ & BOA, 1998).

Outros sintomas de doenças também foram constatados em vários lugares, mas investigações estão em andamento para determinação dos agentes causais (LENNÉ & BOA, 1998).

Sintomas de vírus como, incluindo enrolamento de folha, “shoe-string leaves”, distorção foliar, mosaico e mosqueamento, foram observados em vários povoamentos naturais de *G. sepium* na América Central. Os vírus são potencialmente graves para o futuro desenvolvimento de *G. sepium*, sobretudo, se transmitidos por semente (LENNÉ & BOA, 1998).

Vários problemas com pragas foram observadas em ambientes exóticos como pulgões e cochonilhas (COOK et al., 2005).

Em algumas áreas, em Bali, Indonésia gliricídia é infestada por pulgão (*Aphis craccivora*), sobretudo no início das chuvas, o que provoca escurecimento da superfície das folhas e, em casos graves, a morte dos primórdios foliares e queda de folhas jovens. Contudo, avaliação de 16 procedências de *Gliricidia sepium* mostrou que três procedências são bastante resistentes a infestação do pulgão (SUTTIE, 1988).

Na Nigéria é comum o ataque de ácaros na época seca (LIASU et al., 2006). Nair (1993) apud Liasu et al. (2006) relata que o ataque de ácaros às folhas de gliricídia podem encorajar o ataque de cupins, causando queda de folhas. Entretanto, esses ataques são cessados sem aparentes efeitos quando se inicia a época de chuvas (LIASU, 2001, apud, LIASU et al., 2006).

## **5 Leucaena (*Leucaena leucocephala*) com Ênfase na Produção de Forragem**

### **5.1 Características gerais**

*Leucaena leucocephala* é uma leguminosa arbórea rústica, de múltiplos usos (lenha, carvão, cabo para ferramentas, escoras para construção, forragem para animais, alimentação humana, adubação verde, conservação do solo, entre outros), elevada produtividade e fixação biológica de N<sub>2</sub> e ampla adaptabilidade às diferentes zonas ecológicas do mundo (NAS, 1980; HUGHES, 1988a). Segundo Batish et al. (2007) é a leguminosa arbórea de múltiplos usos de maior importância no mundo.

No auge de sua popularidade, no final de 1970 e início de 1980 foi anunciada como a árvore milagrosa, sendo foco de vários livros, resenhas, bibliografia, workshops, vídeos e relatórios de pesquisa (HUGHES, 1998a). Entretanto, com a incidência de uma severa praga (*Heteropsylla cubana*; Insecta: Hemiptera: Sternorrhyncha), que promove desfolha, prejudicando fortemente o desenvolvimento da planta (HUGHES, 1998a), ocorreu certo desinteresse na cultura, repercutindo no aumento da busca por outras espécies de leguminosas arbóreas de múltiplo uso com capacidade de substituí-la, como a *Gliricidia sepium*.

## 5.2 Descrição botânica e características da espécie

O gênero neotropical *Leucaena* compreende 22 espécies, 6 táxons infraespecíficos e dois híbridos nomeados (HUGHES, 1998b). Estes espécimes são originários da América Central e do México e estão espalhados por todo planeta, alcançando os 40° de latitude (Norte e Sul) e 2.500 m de altitude.

Varição dentro da espécie *L. leucocephala* foi observada pela primeira vez por agrônomos que avaliaram diferentes acessos para a produção de forragem (HUTTON & GRAY, 1959; BREWBAKER, 1975; HUGHES, 1998a). Duas variantes principais, baseadas principalmente no hábito de ramificação e vigor foram classificadas. Uma de porte arbustivo, baixa, altamente ramificada, pouco vigorosa e muitas vezes invasora, denominada “Comum”. E outra de porte arbóreo, ereta, pouco ramificada, mais vigorosa, reconhecida como “Gigante” ou “Salvador” (HUTTON & GRAY, 1959; BREWBAKER, 1975; HUGHES, 1998a). Essas variantes foram formalmente reconhecidas como subespécies distintas (ZÁRATE, 1987). A “Comum”, como subespécie *leucocephala* e a “Gigante ou Salvador”, como subespécie *glabrata*. Uma terceira variante, reconhecida como “Peru”, também foi classificada como subespécie *glabrata*. Posteriormente, uma variante adicional, diferente das subespécies *leucocephala* e *glabrata*, encontrada no norte da Guatemala, foi descrita como subespécie *ixtahuacana* (HUGHES, 1998b).

**Tabela 4.** Classificação científica da *Leucaena leucocephala*.

| Classificação científica                    |  |
|---|--|
| Reino:                                      | Plantae  |
| Sub-reino:                                  | Tracheobionta  |
| Superdivisão:                               | Spermatophyta  |
| Divisão:                                    | Magnoliophyta  |
| Classe:                                     | Magnoliopsida  |
| Ordem:                                      | Fabales  |
| Família:                                    | Fabaceae   |
| Subfamília:                                 | Mimosoideae  |
| Tribo:                                      | Mimoseae   |
| Gênero:                                     | <i>Leucaena</i>  |
| Espécie:                                    | <i>L. leucocephala</i>   |
| Subespécies:                                | <i>L. leucocephala leucocephala</i><br><i>L. leucocephala glabrata</i><br><i>L. leucocephala ixtahuacana</i> |
| Binômio científico                          |  |
| <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit. |  |
| Fonte: HUGHES, 1998a; USDA, 2011.           |  |

O nome do gênero, *Leucaena*, vem do grego “leukos” que significa branco e o nome específico, *leucocephala*, tem a mesma origem grega de “leukos” e “kephalê”, que significa cabeça, fazendo referência a suas flores brancas agrupadas em uma cabeça globular (WIKIPEDIA, 2009).

As folhas são bipinadas com 15 a 20 cm de comprimento, quatro a dez pares de pinas cada uma e 5 a 20 pares de folíolos em cada pina. Cada folíolo apresenta 7 a 15 mm de comprimento e 3 a 4 mm de largura. A inflorescência é globosa e solitária sobre um pedúnculo com mais de 5 cm de comprimento. Apresenta numerosas flores brancas. Seus frutos são longas vagens, inicialmente com coloração verde-translúcido, que permite ver através de seu tecido, a presença das pequenas sementes em seu interior. Suas vagens são acuminadas, lineares, estreitas e achatadas, com 20 cm de comprimento e 2 cm de largura, portando 13 a 20 sementes (SKERMAN, 1977). Normalmente estão agrupadas e, na

maturidade tem coloração marrom-escuro (WIKIPEDIA, 2009). Quando maduras, abrem-se longitudinalmente, ejetando suas sementes.

As sementes têm 6 mm de comprimento, são elípticas, comprimidas e achatadas, com coloração marrom brilhante (SKERMAN, 1977; SEIFFERT, 1984). A leucena floresce e produz sementes continuamente ao longo do ano, desde que haja umidade, que combinada à característica de autofecundação, garante que uma única planta possa produzir até 2.000 sementes por ano (WIKIPÉDIA, 2009).

### 5.3 Distribuição geográfica e adaptação ambiental

*L. leucocephala* é uma espécie essencialmente tropical que exige temperaturas entre 25 e 30°C para seu crescimento ótimo. Possui tolerância ao frio, mas apresenta crescimento reduzido durante os meses de inverno em áreas subtropicais (BREWBAKER, 1987; WILLIAMS, 1987). Em geral, limita-se a altitudes inferiores a 1.500 m e latitudes entre 15° N e 25° S da Linha do Equador. *L. leucocephala* perde as folhas mesmo com geadas leves. Geadas fortes matam todo o crescimento acima do solo, embora com frequência possam rebrotar na época quente.

*L. leucocephala* cresce bem somente em climas subúmidos ou úmidos (650-3.000 mm) com moderadas estações secas de até 6 a 7 meses (HUGHES, 1998). Drumond et al. (1999) relata que na região semiárida do Estado de Sergipe (com precipitação média anual de 659 mm concentrada entre abril e agosto), *L. leucocephala* aos 7 meses de idade apresentava 100% de sobrevivência e aos 55 meses apenas 44% de sobrevivência. *L. diversifolia* partiu de 92% de sobrevivência aos 7 meses a 0% aos 55 meses. *Gliricidia sepium* e *Albizia guachepele* apresentaram respectivamente 100 e 98% de taxa de sobrevivência aos 55 meses, destacando-se silviculturalmente para a região.

Plantas de *L. leucocephala* tipo Peru, cultivar Cunningham, respondem à aplicação de fertilizante mineral, alcançando maior altura, área foliar e matéria seca, além de antecipar a floração (PEREZ & FANTI, 1999). Essas plantas crescidas em solo adubado resistem mais à seca do que as crescidas em solo sem adubo. Segundo esses autores, existe um ajuste osmótico que auxilia as plantas a sobreviverem sob estresse hídrico.

Em solos férteis e bem drenados a leguminosa é capaz de produzir, de forma barata, elevada quantidade de proteína, sendo bastante útil para alimentação animal. Por ser tolerante à seca, assume grande relevância em regiões onde existe um período de seca bem marcado, no qual a qualidade e a produtividade das pastagens caem drasticamente, como na Região Centro-Oeste do Brasil. Nessa região a leucena mantém-se verde, perdendo somente os folíolos em secas muito prolongadas (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

A calagem de solos ácidos, visando à elevação do pH para próximo da neutralidade e adubações pesadas com superfosfato simples melhoram bastante a camada superficial do solo. Entretanto, as raízes da leucena não conseguem se aprofundar, tornando a planta sensível à falta de água na estação seca, reduzindo a produção de forragem (SEIFFERT & THIAGO, 1983). Seiffert (1984) afirma que quando o solo é ácido, mesmo com calagem e adubação, somente serão obtidas altas produções se houver boa distribuição de chuvas ao longo do ano ou irrigação na época seca.

Franco & Souto (1986) acrescentam que, por ser uma leguminosa, adubações com fósforo, molibdênio e zinco são importantes em solos tropicais.

A leucena é descrita também como bem tolerante a alterações na luminosidade, no entanto prefere a insolação direta, perdendo as folhas em condições de intenso sombreamento. A leucena também é tolerante a inundações periódicas e ao fogo, regenerando-se rapidamente após queimadas ou corte (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

Para que a leucena possa desenvolver-se de forma satisfatória e sem necessidade de adubação nitrogenada, ela precisa estar nodulada. Os nódulos formados situam-se em pequenas raízes laterais, próximas à superfície do solo e, quando efetivos na fixação de N<sub>2</sub>, apresentam cor rosada intensa, podendo fixar mais de 500 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N (NAS, 1977). Sanginga et al. (1984) apud Franco & Souto (1986) reportam a fixação de 598 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N para a leucena. Costa (1992) relata que, em sistemas de produção de forragem, a leucena é capaz de fixar até 1.000 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Jayasundara et al. (1997) verificaram que a fixação biológica de N<sub>2</sub> (FBN) varia entre as diferentes épocas de rebrote, tanto na *Leucaena leucocephala* como na *Gliricidia sepium*, ficando entre 61 e 72%, quando em monocultivo, e entre 71 e 83%, quando em consórcio com gramíneas. Este estudo também evidencia o estímulo da FBN nas leguminosas pela associação (competição) com as gramíneas. Os percentuais de FBN reportados por Jayasundara et al. (1997) corroboram com Giller & Cadisch (1995) que as leguminosas geralmente fixam entre 60 e 80% do N acumulado em sua fitomassa.

Entretanto, para que a fixação biológica de nitrogênio seja eficaz, é necessário que as sementes da leucena (após escarificação) sejam inoculadas com estirpes específicas de rizóbios (SANGINGA et al., 1988; BALA et al., 2003; SOUZA et al., 2007).

Quanto à longevidade, há relato de cultivos em utilização com mais de 40 anos de idade (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

## 5.4 Genótipo

Porte da árvore, forma, adaptabilidade (incluindo tolerância ao frio e à seca e as preferências do solo), fenologia, qualidade do produto (folhas e madeira), resistência ao psilídeo (*Heteropsylla cubana*), taxa de crescimento e competitividade são algumas das características que determinam o potencial das espécies de *Leucaena* (HUGHES, 1998).

Existem mais de 100 variedades de *L. leucocephala* conhecidas que diferem grandemente em porte e possuem empregos diversificados. Geralmente são agrupadas em três grupos: havaiano, salvadorenho e peruano (SEIFFERT, 1984; XAVIER, 1989; LIMA & EVANGELISTA, 2009).

### 5.4.1 Tipo Havaiano

São variedades arbustivas e de plantas menores, com até 5 m de altura, que florescem jovens, com 4 a 6 meses. Este florescimento ocorre durante todo o ano, apresenta pouca produção de madeira e folhas, contudo sua produção abundante de sementes pode tornar esta planta uma invasora. É comumente encontrada na costa do México, tendo sido largamente dispersada nos trópicos.

### 5.4.2 Tipo Salvadorenho

Apresenta plantas de maior porte e de crescimento rápido, com até 20 m de altura, folhas grandes e troncos grossos. É originária do interior da América Central e geralmente produz mais do dobro de biomassa que o tipo havaiano, comumente chamado de “Havaí gigante”. Estas plantas são utilizadas principalmente na produção de madeira, carvão vegetal e celulose. Têm aptidão ao reflorestamento, enquadram-se bem em sistemas silvipastoris, em que as árvores nas pastagens geram sombra para animais, melhoram o solo, incorporam nitrogênio no sistema e permitem a extração de madeira.

### 5.4.3 Tipo Peruano

São variedades de porte médio, com plantas de até 15 m de altura, com bastante ramificação e grande quantidade de folhagem. Semelhante ao tipo salvadorenho, porém, com maior ramificação, mesmo na parte baixa do tronco. Produz pouco material lenhoso, mas grande folhosidade. Essa variedade é muito adequada para alimentação de animais, por apresentar muita ramificação e folhagem densa, é a mais encontrada no Brasil e muito empregada em pastejos, sendo necessária a adoção de um manejo que condicione a planta a estar com a massa forrageira ao alcance dos animais.

### 5.5 Propagação

A forma mais fácil e usada para propagar a leucena é por intermédio de sementes, que podem ser semeadas diretamente no campo no início da estação das chuvas. Entretanto seu estabelecimento é melhor quando realizado por mudas, sobretudo quando as condições ambientais não são favoráveis (FRANCO & SOUTO, 1986).

A planta possui crescimento inicial lento (LESLEIGHTER & SHELTON, 1986; XAVIER, 1989; SEIFFERT, 1984). Sua implantação por meio de mudas é mais recomendável para obtenção de estandes uniformes e vigorosos (NASCIMENTO, 1982).

De todo modo, antes de semear a leucena é necessário realizar a escarificação e inoculação das sementes com estirpes específicas de rizóbios (SANGINGA et al., 1988; BALA et al., 2003; SOUZA et al., 2007).

As técnicas mais utilizadas para quebrar a impermeabilidade à água das sementes de leguminosas são: tratamentos térmicos, químicos, elétricos ou de pressão, abrasão e armazenamento (NASCIMENTO, 1982).

Padma et al. (1994) reportam a imersão das sementes de leucena em ácido sulfúrico por 10-30 minutos como o melhor tratamento para quebra da dormência e crescimento das plântulas.

Franco & Souto (1986) recomendam a escarificação por imersão em água aquecida a 90°C, deixando-as submersas até o esfriamento da água.

Em Teles et al. (2000) os métodos mais eficazes de escarificação das sementes de *L. leucocephala* são: imersão em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado por 20 minutos e imersão em água a 80°C por 5 minutos.

Ferraris et al. (1979) usam em seu trabalho água a 80°C por 2 minutos.

Tadros et al. (2011) recomendam a imersão das sementes de leucena em água a 70°C por 20 minutos.

Shelton & Brewbaker (1998) recomendam a imersão em ácido sulfúrico concentrado por 5 a 10 minutos ou água fervente por 4 s.

Fagbola et al. (2001) dizem quebrar a dormência das sementes de *L. leucocephala* em água quente (100°C) por 5 minutos, permanecendo as sementes em água fria ao longo da noite. Contudo, parece ter havido um erro na publicação quanto à unidade de tempo ou à temperatura da água, pois esse procedimento mata a semente (teste realizado pelo autor).

Seiffert (1982) descreve o tratamento com água quente como o mais simples de se executar, mas apresenta resultados muito irregulares para a maioria das leguminosas.

Cook et al. (2005) relatam que a escarificação por água quente possui resultados variáveis tanto para o percentual de germinação e vigor das plântulas. Para contornar esse problema, recomendam para pequenos lotes de sementes o lixamento manual e para lotes maiores a escarificação em tambor rotativo revestido com superfície abrasiva.

Devido aos riscos inerentes ao uso de ácido sulfúrico, dificuldade de manuseio, aquisição<sup>‡</sup> e descarte, não faz o menor sentido recomendar escarificação de sementes de leucena por imersão em ácido sulfúrico, já que existem outros métodos tão eficazes quanto (lixamento e água quente). No entanto, é recomendável testar o método a ser usado antes de sua adoção, pois os resultados podem variar em função da qualidade da semente. Testes caseiros de germinação são rápidos (menos de uma semana) e eficazes. Testes de emergência em campo ou em vasos, também são interessantes, mas requerem mais de tempo.

## 5.6 Espaçamento de plantio e manejo de corte

Para produção de fertilizante de leguminosas é interessante que se consiga alta produtividade e acúmulo de N na biomassa aérea, e que as leguminosas tenham elevada fixação biológica de N<sub>2</sub> e facilidade de manejo (ALMEIDA, 2007). O mesmo é almejado quando o assunto é produção de foragem, no entanto, o enfoque é outro: produção de proteína, palatabilidade e digestibilidade do material. Essas características são alcançadas com o adensamento das plantas e podas frequentes (FERRARIS, 1979; ELLA et al., 1989).

Ella et al. (1989) avaliando populações de 5, 10, 20 e 40 mil plantas por ha e cortes a cada 6 ou 12 semanas, atestaram maior produtividade da leucena na população de 40 mil plantas por ha e cortes a cada 12 semanas. Esses autores também reportam que a proporção de galhos aumenta marcadamente com aumento do intervalo entre cortes, estando de acordo com Ferraris (1979). Segundo este autor o aumento do intervalo entre cortes de 2 para 4 meses proporciona aumento da produtividade da biomassa aérea da leucena, aumentando também a quantidade de N acumulado e a proporção de galhos na biomassa total. No entanto, ocorre redução do teor de N da biomassa total, sobretudo, pelos galhos terem menor teor de N que as folhas (**Tabela 5**).

**Tabela 5.** Influência do intervalo de corte na qualidade da biomassa aérea da leucena.

| Intervalo de corte        | Folhas  | Galhos | Total | Folhas | Teor de N |     |  | N acumulado |
|---------------------------|---|--------|-------|--------|-----------|-----|--|-------------|
|                           | (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> de matéria seca) |        |       | (% )   |           |     | (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) |             |
| 2 meses (1º ano de corte) | 9,2   | 7,8    | 17,0  | 54,1   | 4,3       | 1,1 | 2,8                                      | 472         |
| 4 meses (1º ano de corte) | 10,3  | 18,6   | 28,9  | 35,6   | 4,0       | 1,0 | 2,1                                      | 613         |
| 2 meses (2º ano de corte) | 8,0   | 5,7    | 13,7  | 58,4   | 3,8       | 0,9 | 2,6                                      | 363         |
| 4 meses (2º ano de corte) | 12,9  | 19,1   | 32,0  | 40,3   | 3,4       | 0,8 | 1,9                                      | 581         |

Fonte: Ferraris (1979).

O espaçamento entre fileiras de leucena depende exclusivamente do tipo de exploração desejado. Assim sendo, para implantação de campo de produção de forragem, a distância entre fileiras deve ser pequena, com finalidade de proporcionar máximo rendimento por área. Recomenda-se espaçamento de 1 a 2 m entre fileiras e de 5 a 10 cm entre plantas. É importante salientar que quanto mais curto for o espaçamento, mais tenra será a forragem (KLUTHCOUSKI, 1982).

A frequência de corte será determinada pela necessidade de obtenção de máxima produção de forragem por corte (hastes finas + folhas + vagens), também deve possibilitar que a planta se recupere adequadamente durante o intervalo entre cortes (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

Alta frequência de corte (<6 semanas) diminui drasticamente a produção de biomassa seca de leucena e glicíndia. Esse decréscimo está intimamente relacionado com a diminuição dos níveis de reserva de carboidratos nos galhos e raízes (LATT et al., 2000).

<sup>‡</sup>Para se comprar ácido sulfúrico é necessária prévia autorização da Polícia Federal.

Colheita a cada 90 dias, normalmente, garante a manutenção contínua da produtividade. Nos meses de crescimento rápido (primavera e verão), no entanto, os cortes podem ser mais frequentes (a cada 75 dias) e, no outono e inverno, o intervalo entre cortes poderá chegar até quatro meses (PCARR, 1977).

Quando a legumineira de leucena for utilizada em sistema de corte, sua utilização poderá ser iniciada 6 a 8 meses após o plantio, com altura de corte a 15-20 cm acima do nível do solo, se utilizada colheita mecanizada. No entanto, cortes a 75 cm de altura, possuem maior capacidade de rebrote e a produção de biomassa (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

A maior altura de corte origina maiores rendimentos (KRISHNA & MUNEGOWDA, 1982). Isarasenee et al. (1984) relatam maior crescimento da leucena quando cortada aos 1,20 m, em comparação com 0,60 ou 0,30 m. Afirmam que o início do rebrotamento é sustentado em maior parte pelas reservas de carboidratos no caule do que pela fotossíntese atual, logo troncos maiores apresentam maiores reservas que troncos mais curtos. O elegante trabalho de Latt et al. (2000) corrobora e complementa o trabalho de Isarasenee et al. (1984), ao relatar que as brotações são inicialmente sustentadas por reservas de carboidratos no caule e, posteriormente, por reservas existentes nas raízes da leucena.

Costa et al. (2000) realizaram cortes das plantas a 0,5 e 0,8 m em três regimes de podas 40, 60 e 80 dias, verificando interação entre os fatores. Concluíram que cortes realizados a cada 80 dias, a 0,5 ou 0,8 m acima do solo proporcionam maior rendimento de forragem e maior teor de cálcio, além de assegurarem maior vigor de rebrota e persistência das plantas. Relatam ainda que os cortes com frequência menor e a 0,5 m de altura são inviáveis para o manejo da leucena, por afetarem o rendimento de forragem e prejudicarem a persistência das plantas.

Por outro lado, Ferraris (1979) não encontra diferença na produção da leucena cortada a 0,10 ou 0,30 m de altura. Pathak et al. (1980) encontra pouca diferença de rendimento entre os cortes a 0,20 ou 0,30 m. Jama & Nair (1989) não verificam diferenças de rendimento entre cortes a 0,30; 0,60 e 0,90 m.

Catchpoole & Blair (1990), em experimento na Indonésia, cortaram plantas de leucena, gliricídia, caliandra e sesbania a 1 m de altura, sendo realizados cortes ao longo de 14 meses assim que os rebrotes atingiam 1,5; 2,0 e 2,5 m. Esses autores concluíram que não há diferenças na produção de folhas com o aumento da altura de corte, mas a produção de galhos aumenta substancialmente. Ella et al. (1989) reporta resultado semelhante com aumento do período entre cortes de 6 para 12 semanas.

Produtividade de matéria seca da leucena varia principalmente em função da fertilidade do solo e do volume de precipitação. O rendimento de forragem comestível varia de 3 a 30 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca. Solos férteis e profundos que recebem mais de 1.500 mm de chuvas bem distribuídas produzem grande quantidade de forragem de alta qualidade (SHELTON & BREWBAKER, 1998).

As melhores variedades forrageiras, em boas condições de solo e chuva produzem de 15 a 20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de massa seca na forma de folhas e hastes finas. No entanto, nas regiões onde ocorre estação seca, a produção de matéria seca pode ser menor: 8 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (SEIFFERT, 1984).

A leucena concentra quantidades apreciáveis de macronutrientes na folhagem, com a seguinte ordem de magnitude: C>N>K>Ca>Mg>P>S (**Tabela 6**).



**Tabela 6.** Teores de macronutrientes contidos na folhagem<sup>†</sup> seca de *L. leucocephala*.

| C   | N    | P   | K    | Ca   | Mg  | S   | Referência                | País           |
|-----|------|-----|------|------|-----|-----|---------------------------|----------------|
|     |      |     |      |      |     |     |                           |                |
| 491 | 36,9 | 1,4 | 21,0 | 15,3 | 4,6 |     | Almeida, 2007             | Brasil         |
|     | 38,0 | 2,0 | 18,0 | 14,0 | 4,0 |     | Mucheru-Muna et al., 2007 | Kenya          |
|     | 32,0 | 2,1 | 12,0 |      |     |     | Queiroz et al., 2007      | Brasil         |
|     |      | 2,0 | 18,2 | 17,7 | 3,6 |     | Oladeji et al., 2006      | Nigéria        |
|     | 42,3 | 1,8 |      |      |     |     | Pamo et al., 2006         | África Central |
| 473 | 40,1 | 3,2 | 21,0 | 15,9 | 4,3 |     | Lupwayi & Hanque, 1999    | Etiópia        |
|     | 41,1 | 2,0 | 19,3 | 5,8  | 3,4 |     | Costa et al., 2000        | Brasil         |
|     | 26,9 | 1,7 | 10,9 | 3,2  | 3,5 | 1,4 | Barreto & Fernandes, 2001 | Brasil         |

<sup>†</sup>A folhagem é composta apenas de folhas ou de folhas + galhos finos, dependendo da referência.

### 5.7 Uso da leucena como forragem para animais

O nitrogênio fixado biologicamente a partir de N<sub>2</sub> pode ser devolvido ao solo pela adubação verde ou consumido por animais para satisfazer as suas necessidades proteicas, sendo o excesso de proteínas devolvido ao solo pelos resíduos destes animais (GUTTERIDGE & SHELTON, 1998).

Seu uso na alimentação animal pode elevar a produtividade dos rebanhos, onde as pastagens predominantes não são capazes de atender às demandas de energia, proteína e minerais, especialmente onde a estação seca é prolongada (TELES et al., 2000). As pastagens com muita frequência apresentam menos de 5% de proteína bruta, e para que o rúmen mantenha suas atividades normais é necessária uma dieta com pelo menos 7% de proteína bruta.

A necessidade de suplementar animais durante a estação seca com forragem rica em proteína faz com que a leucena seja de grande valor para a formação de bancos de proteína (legumineira) ou mesmo para a produção de silagem (SEIFFERT, 1984).

O valor nutritivo das leguminosas é medido em termos de potencial de digestibilidade do consumo da forragem seca e, em geral, têm maior digestibilidade e valor nutritivo do que as gramíneas (GUTTERIDGE & SHELTON, 1998). Assim a suplementação proteica, com leguminosas aparece como uma alternativa efetiva e economicamente viável, principalmente porque podem ser produzidas na própria fazenda.

A digestibilidade da matéria seca varia de 65 a 87% e o conteúdo de vitamina A é superior ao da alfafa (*Medicago sativa*), sendo também considerada uma forrageira altamente palatável (SEIFFERT, 1984). Geralmente, o teor de proteína bruta na fração “folhas mais vagens” situa-se entre 21% e 23% e nas hastes finas varia de 8% a 10%. Sendo a fração utilizável para forragem uma mistura de 50% de “folhas mais vagens” e 50% de hastes finas, assim, a forragem consumida apresenta teores médios de proteína bruta entre 14% e 17%. As partes mais lenhosas também são consumidas, porém, em menores quantidades (LIMA & EVANGELISTA, 2009).

A leucena apresenta, entretanto uma limitação, que é uma toxina chamada mimosina. Este aminoácido não-proteico apresenta-se na proporção de 3% a 5% da proteína total e seu efeito manifesta-se por disfunções metabólicas como perda de pelos, salivação e perda de peso. Também pode induzir a disfunção da atividade de reprodução em vacas. Estes efeitos ocorrem somente quando a leucena é consumida em mais de 50% da dieta, por um período que exceda 6 meses. Entretanto, são efeitos irregulares e reversíveis, basta retirar a leucena da dieta desses animais (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

Embora os suínos sejam sensíveis à mimosina, a farinha de leucena tem sido usada satisfatoriamente para suplementar rações (10% da ração) de suínos em crescimento. Para a criação de aves tem sido usada na proporção de 5% da ração. Embora cause atraso na maturidade sexual, a farinha de leucena tornou-se um ingrediente comum na ração de aves nas Filipinas (NAS, 1977).

### **5.8 Pragas e doenças**

A leucena é uma espécie bastante perseguida por formigas, cupins, lagartas e herbívoros silvestres, a fase que decorre entre a semeadura e os primeiros noventa dias é bastante delicada, exigindo frequentes replantios (LIMA & EVANGELISTA, 2009). Quando o plantio é realizado utilizando-se mudas maiores previamente desenvolvidas em sacos plásticos com 1 a 2 kg de solo, estas têm maiores condições de resistirem ao ataque das pragas, diminuindo assim a necessidade de replantios, devendo ser evitado o plantio direto destas plantas em regiões muito atingidas por pragas (SEIFFERT & THIAGO, 1983).

É sensível ao psilídeo (*Heteropsylla cubana*) que é um pequeno inseto picador-sugador, verde-amarelo, com cerca de 1-2 mm de comprimento (BRAY, 1998). É nativo da América Central e no Caribe, onde presumivelmente coexiste com a leucena durante milhares de anos. Embora tenha sido relatado que este inseto ocorra em outros arbustos e árvores leguminosas, eles não são danificados em grande escala e é provável que o psilídeo só possa completar o seu ciclo de vida em plantas do gênero *Leucaena*. A leucena também é sensível aos fungos *Araecerus levipennis*, *Pythium* e *Rhizoctonia* (VILELA, 2009).

## **CAPÍTULO I**

### **BANCOS DE GLIRICÍDIA E LEUCENA DESTINADOS À PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES DE LEGUMINOSAS**

## RESUMO

Gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*) são as leguminosas arbóreas mais cultivadas do mundo. Versatilidade de uso, rusticidade, rebrote vigoroso, elevada capacidade de fixação biológica de N<sub>2</sub> (FBN), competitividade com plantas espontâneas, tolerância à seca, associações com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e ampla adaptabilidade ecológica são características que favoreceram a disseminação dessas espécies pelo planeta. Sob cultivo adensado (bancos) e cortes frequentes são capazes de produzir grande quantidade de biomassa aérea, rica em nitrogênio, sendo bastante apreciada para alimentação animal (forragem) e/ou adubação verde, seja *in natura* ou na forma de fertilizantes de leguminosas – produtos derivados do corte, desidratação e moagem da biomassa aérea de leguminosas (Fabaceae) com elevado potencial de FBN, acúmulo de N e facilidade de manejo. Neste Capítulo, constam dois experimentos. O primeiro teve por objetivo avaliar a resposta de mudas de gliricídia e leucena à inoculação com FMAs (inóculo-solo composto por duas espécies de fungos: *Scutellospora heterogama* e *Glomus clarum*), em bandeja de isopor de 72 células e substrato não-esterilizado. Esse experimento foi conduzido em 64 bandejas dispostas no delineamento de blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 2 (duas espécies de leguminosas arbóreas: gliricídia e leucena; e duas tecnologias de produção de mudas: inoculadas e não-inoculadas com FMAs). O segundo experimento teve por objetivo avaliar, ao longo de 30 meses, o desempenho de bancos constituídos por essas mudas, sob duas doses de fosfato de rocha. Constou de oito tratamentos dispostos no delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas no espaço, com três repetições. Nas parcelas, constaram duas tecnologias de mudas (inoculadas e não-inoculadas com FMAs). Nas subparcelas constaram a combinação 2 x 2 dos fatores espécie de leguminosa arbórea (gliricídia e leucena) e dose de fosfato de rocha reativo da Argélia (25 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P-solúvel em ácido cítrico a 2%). As mudas foram plantadas em sulcos no espaçamento de 1,0 x 0,4 m (25.000 plantas ha<sup>-1</sup>). Foi avaliada a taxa de sobrevivência das mudas, a produção e os teores e acúmulos de nutrientes na biomassa aérea destinada à produção de fertilizantes, sendo também avaliados o volume e a quantidade de madeira remanescente no campo, abaixo da altura de corte (1,2 m). As mudas de gliricídia e leucena inoculadas com os FMAs apresentaram maior produção de matéria seca e acúmulos de N, P, Ca e Mg na parte aérea, comparativamente àquelas não-inoculadas, demonstrando efetivo benefício da inoculação com os FMAs. A matéria seca da parte aérea das mudas de gliricídia foi cerca de três vezes maior que a das mudas de leucena, acumulando também maior quantidade de nutrientes. No campo, o percentual de sobrevivência das mudas de ambas as espécies foi 100%, independentemente do tratamento. Os bancos de gliricídia foram muito mais produtivos que os de leucena, tanto na produção de biomassa aérea como no volume e quantidade de madeira remanescente no campo. A gliricídia produziu em média 20,1 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca da parte aérea (contendo 436 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N) e em 2,5 anos acumulou no tronco 31,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de madeira contendo 14,8 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca, enquanto a leucena produziu cerca de 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca da parte aérea (contendo 194 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N) e acumulou 15,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de madeira contendo 8,6 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca. Não houve efeito das doses de fósforo nem do uso das mudas inoculadas com os FMAs sobre a média anual de nenhuma das variáveis fitotécnicas avaliadas. A produtividade dos bancos de leguminosas é influenciada pela disponibilidade hídrica e pela temperatura, afetando marcadamente o regime de podas e qualidade da biomassa aérea produzida.

**Palavras-chave:** fertilizantes orgânicos, fungos micorrízicos arbusculares, Fabaceae.

## ABSTRACT

*Gliricidia* (*Gliricidia sepium*) and *leucaena* (*Leucaena leucocephala*) are the most cultivated legume trees in the world. Versatility of use, hardiness, vigorous regrowth, high capacity of biological N<sub>2</sub> fixation (BNF), competitiveness with weeds, drought tolerance, mycorrhizal fungi associations (AMF) and wide ecological adaptability are characteristics that favor the spread of these species through the planet. Under dense stand cultivation (banks) and frequent cuts are capable of producing large quantities of biomass, rich in nitrogen, being well appreciated for animal feed (fodder) and/or for green manuring, either raw or in the form of legume fertilizers - products derived from cutting, grinding and drying of biomass of legumes (Fabaceae) with high potential for BNF, N accumulation and management facility. In this Chapter it was included two experiments. The first one was conducted to evaluate the response of *gliricidia* and *leucaena* seedlings to mycorrhizal inoculation (soil-inoculum containing two fungus species: *Scutellospora heterogama* and *Glomus clarum*) in styrofoam tray with 72 cells and non-sterilized substrate. This experiment was conducted in 64 trays arranged in a randomized complete block design in a factorial 2 x 2 (two species of leguminous trees: *gliricidia* and *leucaena*, and two technologies of production: inoculated and non-inoculated with AMF). The objective of the second experiment was to evaluate, over 30 months, the performance of the seedling banks under two doses of rock phosphate. It consisted of eight treatments arranged in a randomized complete block design with split plot in space, with three replications. The plots consisted of two technologies for seedlings (inoculated and non-inoculated with AMF). Subplots were set up in a 2 x 2 factor as following: leguminous tree species (*gliricidia* and *leucaena*) and dose of reactive phosphate rock from Algeria (25 and 100 kg ha<sup>-1</sup> P-soluble in 2% citric acid). The seedlings were planted in furrows at a spacing of 1.0 x 0.4 m (25,000 plants ha<sup>-1</sup>). We evaluated the survival rate of seedlings, and production levels and accumulation of nutrients in above ground biomass for the production of fertilizers as well as assessed the volume and amount of remaining wood in the field below the cutting height (1.2 m). The *gliricidia* and *leucaena* seedlings inoculated with AMF had higher dry matter production and accumulation of N, P, Ca and Mg in shoots compared to those non-inoculated, demonstrating effective benefit from inoculation with mycorrhizal fungi. The dry matter production of the *gliricidia* seedlings was about three times that of *leucaena* seedlings, accumulating higher amount of nutrient. In the field, the survival percentage of seedlings of both species was 100% regardless of treatment. Banks of *gliricidia* were much more productive than *leucaena* banks, both in the production of aerial biomass as well as for volume and amount of wood remaining in the field. *Gliricidia* produced an average of 20.1 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> of shoot dry matter (containing 436 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> N) and in 2.5 years accumulated 31.0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of wood containing 14.8 Mg ha<sup>-1</sup> dry matter, while *leucaena* produced about 9.0 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> of shoot dry matter (containing 194 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> of N), accumulating the volume of 15.4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of wood containing 8.6 Mg ha<sup>-1</sup> dry matter. There was no effect of phosphorus levels or seedlings inoculating with the AMF on the annual average of any variable plant parameters evaluated. The productivity of the legume banks is influenced by water availability and temperature, markedly affecting its regime of pruning and quality of biomass produced.

**Keywords:** organic fertilizers, arbuscular mycorrhizal fungi, Fabaceae.

## 1 INTRODUÇÃO

As leguminosas arbóreas gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*) são mundialmente conhecidas por apresentarem crescimento rápido, rebrote vigoroso, tolerância à seca, rusticidade, elevada qualidade como forragem para animais e adubo verde, elevado potencial de fixação biológica de N<sub>2</sub> e ciclagem de nutrientes, além de ampla adaptabilidade a diferentes zonas ecológicas do mundo (SHELTON & BREWBAKER, 1998; SIMONS & STEWART, 1998).

Sob plantio adensado e cortes frequentes, os bancos dessas leguminosas são capazes de produzir matéria-prima de alta qualidade para forragem (ou fertilizantes de leguminosas), diminuindo ou até mesmo eliminando a necessidade de controle de plantas espontâneas. Nesse sistema, as leguminosas ficam menos lenhosas, facilitando o corte e dispensando a necessidade de desfolha para obtenção de forragem/fertilizante de alta qualidade (alto teor de N e baixo teor de fibras). A produção concentrada da biomassa também facilita a sistematização dos esforços (corte/picagem, desidratação e moagem) para produção dos fertilizantes. Comparativamente às leguminosas anuais, bancos de gliricídia e leucena destacam-se por dispensar o replantio, possibilitarem a produção de lenha e a exploração de áreas menos interessantes para cultivo de espécies anuais, como áreas acidentadas ou pedregosas.

O uso de mudas de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas com estirpes de micro-organismos selecionados é uma tecnologia bastante consagrada para recuperação de áreas degradadas (FRANCO et al., 1995), porém pouco avaliada em solos produtivos, sobretudo, com respeito aos benefícios do uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). A interação simbiótica entre plantas e FMAs é reconhecida como benéfica, sobretudo por melhorar a absorção de nutrientes (BERBARA et al., 2006; SMITH & SMITH, 2011). Entretanto, os benefícios das micorrizas geralmente têm sido comprovados em ambientes com volumes restritos de substrato, muitas das vezes empregando-se substrato/solo esterilizado, que além de não conter FMAs não possui outros organismos potencialmente benéficos ao desenvolvimento das plantas.

Neste Capítulo constam dois experimentos, um com mudas de gliricídia e leucena em bandeja de poliestireno expandido (isopor) de 72 células e outro em campo com bancos constituídos por essas mudas, destinados à produção de fertilizantes de leguminosas. O primeiro teve por objetivo avaliar a resposta das mudas à inoculação com FMAs, em substrato não-esterilizado. O segundo teve por objetivo avaliar se o desempenho dos bancos de leguminosas é influenciado pela inoculação das mudas com FMAs, em dois níveis de adubação no sulco de plantio com fosfato de rocha e sob manejo orgânico de produção.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Produção e Experimentação com Mudanças de Gliricídia e Leucena

#### 2.1.1 Produção das mudas de gliricídia e leucena

Mudas de gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala* cv. Peru) foram produzidas em 64 bandejas de poliestireno expandido de 72 células, em área da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ. Nos dois primeiros meses, as bandejas foram mantidas sob condições de viveiro telado com sombrite (50%) e, posteriormente, a pleno sol, para o endurecimento (ou aclimação) das mudas.

O substrato utilizado foi produzido no próprio local com horizonte C de um Argissolo, composto orgânico e fosfato de rocha reativo na proporção aproximada (v/v) de 20:20:1, respectivamente. A **Tabela 7** traz informações mais detalhadas sobre volume, quantidade e características dos materiais utilizados. A **Tabela 8** apresenta a análise química do substrato utilizado.

**Tabela 7.** Volume, quantidade e características dos materiais que constituíram o substrato<sup>1</sup>.

| Materiais                             | Volume       |              |           | Massa      |              |           |
|---------------------------------------|--------------|--------------|-----------|------------|--------------|-----------|
|                                       | (L)          | (%)          | (v/v)     | (kg)       | (%)          | (m/m)     |
| Argila <sup>2</sup>                   | 342          | 48,8         | 20        | 562        | 94,9         | 19        |
| Composto <sup>3</sup>                 | 342          | 48,8         | 20        |            |              |           |
| Fosfato de rocha reativo <sup>4</sup> | 17,3         | 2,5          | 1         | 30         | 5,1          | 1         |
| <b>Total</b>                          | <b>701,3</b> | <b>100,0</b> | <b>41</b> | <b>592</b> | <b>100,0</b> | <b>20</b> |

<sup>1</sup>O substrato utilizado foi produzido em excesso, para o enchimento de cerca de 80 bandejas. <sup>2</sup>Horizonte C de um Argissolo Vermelho-Amarelo. <sup>3</sup>Composto peneirado derivado da compostagem de folhas, galhos, grama e outros materiais orgânicos disponíveis no local. <sup>4</sup>Fosfato natural reativo da Argélia, com 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, sendo 9% solúvel em ácido cítrico e 35% de Ca.

**Tabela 8.** Composição química do substrato.

| Amostra   | pH* | Al                                    | Ca  | Mg  | P                      | K     |
|-----------|-----|---------------------------------------|-----|-----|------------------------|-------|
|           |     | (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) |     |     | (mg dm <sup>-3</sup> ) |       |
| Substrato | 5,8 | 0,0                                   | 8,9 | 6,2 | 1339,9                 | 615,0 |

\*Análise de solo de rotina: determinação de pH em H<sub>2</sub>O; Al, Ca e Mg em KCl (1 mol L<sup>-1</sup>); P e K em solução Mehlich-1 (SILVA et al., 1998).

As bandejas foram previamente molhadas para melhorar a aderência do substrato. Durante o enchimento das bandejas, foi realizado batimento delas para leve compactação do substrato. Em seguida, as bandejas foram levadas para o viveiro telado e irrigadas com microaspersores.

A semeadura foi realizada, em 29 de agosto de 2008, quatro dias após o enchimento das bandejas, após abertura das covas e inoculação ou não com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Os fungos foram procedentes da Coleção de Fungos Micorrízicos Arbusculares da Embrapa Agrobiologia, sendo eles: *Scutellospora heterogama* (Nicolson & Gerd.) Walker & Sanders (CNPAB 002) e *Glomus clarum* Nicolson & Schenck (CNPAB 005). O inoculante consistiu da mistura 2:1 (v/v) de inóculos-solos de *Scutellospora*

*heterogama* e *Glomus clarum*, respectivamente, produzidos pela Embrapa Agrobiologia, por intermédio da propagação dos fungos em vasos com terra esterilizada, sob o cultivo de braquiária. Foi utilizado  $1,11 \pm 0,06$  g (média  $\pm$  desvio padrão de 35 repetições) do inoculante por cova.

A quebra da impermeabilidade de tegumento (escarificação) das sementes de leucena foi realizada após testes preliminares de emergência das plântulas. O método escolhido foi a submersão das sementes em água fervente, com auxílio de uma peneira, por exatos 8 segundos, seguido pelo imediato resfriamento em água sob temperatura ambiente. As sementes de gliricídia não necessitam de escarificação.

As sementes foram inoculadas com inoculantes a base de turfa (DE-POLLI & FRANCO, 1985), também produzidos pela Embrapa Agrobiologia, contendo estirpes de bactérias diazotróficas selecionadas para cada leguminosa: BR8801 e BR8803, para gliricídia, e BR825 e BR827, para leucena.

A semeadura foi realizada no mesmo dia das inoculações com FMAs e rizóbios, sendo utilizadas duas sementes de gliricídia por célula e de quatro a cinco sementes de leucena. Para cobrir as sementes foi utilizado substrato na proporção 1:1 (v/v) de areia lavada e composto orgânico. Após efetivo estabelecimento das plântulas, foi realizado desbaste deixando-se uma planta por célula. As bandejas foram mantidas livres de plantas espontâneas, não sendo observado ataque significativo de pragas<sup>§</sup>, doenças ou anomalias nutricionais nas mudas.

---

<sup>§</sup>Verificou-se ataque de pulgão preto em algumas plantas isoladas de gliricídia, sobretudo na fase inicial, sendo logo controlados por joaninhas predadoras (Coleoptera: Coccinellidae) e pela substituição da irrigação por microaspersão por jato de mangueira.



## 2.1.2 Experimento com mudas de gliricídia e leucena

No experimento de mudas foram avaliados a matéria seca da parte aérea, seguindo o delineamento estatístico descrito no **Título 2.1.2.1**, e o teor e acúmulo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na matéria seca da parte aérea, seguindo o delineamento estatístico descrito no **Título 2.1.2.2**. As 64 bandejas utilizadas foram organizadas conforme o delineamento estatístico no **Título 2.1.2.1 (Figura 1)**.

### 2.1.2.1 Delineamento estatístico para avaliação da matéria seca da parte aérea das mudas

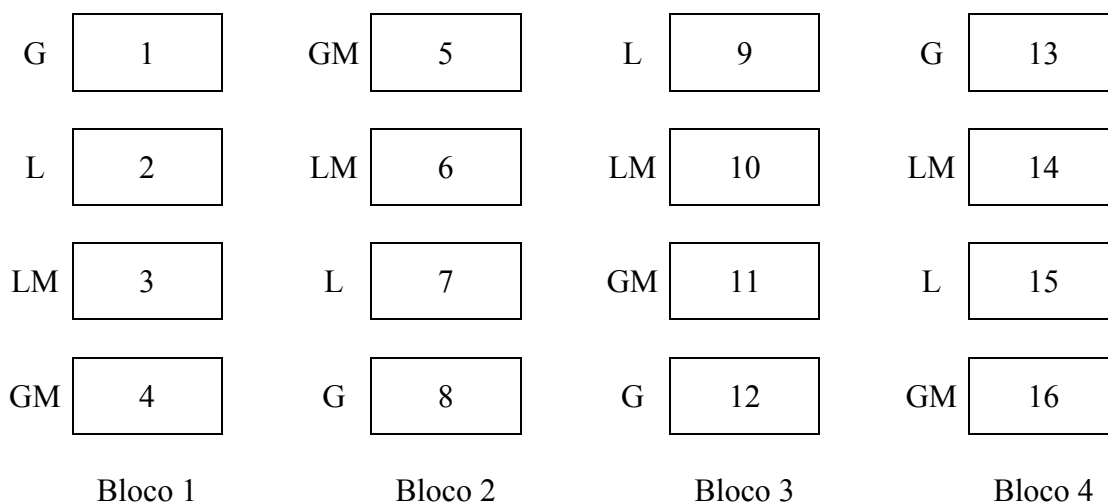
Para avaliação da massa de matéria seca das mudas foi considerado o delineamento estatístico de blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 2 com estrutura de observações múltiplas hierárquica de três fatores: observação, parcela e bloco, respectivamente com 64, 16 e 4 níveis. A **Figura 1** representa a disposição das bandejas nesse delineamento.

|         |  |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
|---------|--|---------|----|---------|----|---------|--|----|----|----|----|----|--|----|----|----|----|----|--|----|----|----|----|
| G       | <table border="1"><tr><td>1</td><td>16</td></tr><tr><td>2</td><td>15</td></tr></table> | 1       | 16 | 2       | 15 | GM      | <table border="1"><tr><td>17</td><td>32</td></tr><tr><td>18</td><td>31</td></tr></table> | 17 | 32 | 18 | 31 | L  | <table border="1"><tr><td>33</td><td>41</td></tr><tr><td>34</td><td>42</td></tr></table> | 33 | 41 | 34 | 42 | G  | <table border="1"><tr><td>49</td><td>64</td></tr><tr><td>50</td><td>63</td></tr></table> | 49 | 64 | 50 | 63 |
| 1       | 16   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 2       | 15   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 17      | 32   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 18      | 31   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 33      | 41   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 34      | 42   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 49      | 64   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 50      | 63   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| L       | <table border="1"><tr><td>3</td><td>14</td></tr><tr><td>4</td><td>13</td></tr></table> | 3       | 14 | 4       | 13 | LM      | <table border="1"><tr><td>19</td><td>30</td></tr><tr><td>20</td><td>29</td></tr></table> | 19 | 30 | 20 | 29 | LM | <table border="1"><tr><td>35</td><td>43</td></tr><tr><td>36</td><td>44</td></tr></table> | 35 | 43 | 36 | 44 | LM | <table border="1"><tr><td>51</td><td>62</td></tr><tr><td>52</td><td>61</td></tr></table> | 51 | 62 | 52 | 61 |
| 3       | 14   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 4       | 13   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 19      | 30   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 20      | 29   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 35      | 43   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 36      | 44   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 51      | 62   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 52      | 61   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| LM      | <table border="1"><tr><td>5</td><td>12</td></tr><tr><td>6</td><td>11</td></tr></table> | 5       | 12 | 6       | 11 | L       | <table border="1"><tr><td>21</td><td>28</td></tr><tr><td>22</td><td>27</td></tr></table> | 21 | 28 | 22 | 27 | GM | <table border="1"><tr><td>37</td><td>45</td></tr><tr><td>38</td><td>46</td></tr></table> | 37 | 45 | 38 | 46 | L  | <table border="1"><tr><td>53</td><td>60</td></tr><tr><td>54</td><td>59</td></tr></table> | 53 | 60 | 54 | 59 |
| 5       | 12   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 6       | 11   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 21      | 28   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 22      | 27   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 37      | 45   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 38      | 46   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 53      | 60   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 54      | 59   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| GM      | <table border="1"><tr><td>7</td><td>10</td></tr><tr><td>8</td><td>9</td></tr></table>  | 7       | 10 | 8       | 9  | G       | <table border="1"><tr><td>23</td><td>26</td></tr><tr><td>24</td><td>25</td></tr></table> | 23 | 26 | 24 | 25 | G  | <table border="1"><tr><td>39</td><td>47</td></tr><tr><td>40</td><td>48</td></tr></table> | 39 | 47 | 40 | 48 | GM | <table border="1"><tr><td>55</td><td>58</td></tr><tr><td>56</td><td>57</td></tr></table> | 55 | 58 | 56 | 57 |
| 7       | 10   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 8       | 9  |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 23      | 26   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 24      | 25   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 39      | 47   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 40      | 48   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 55      | 58   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| 56      | 57   |         |    |         |    |         |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |
| Bloco 1 |  | Bloco 2 |    | Bloco 3 |    | Bloco 4 |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |    |  |    |    |    |    |

**Figura 1.** Esquema do experimento em blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 2, com estrutura de observações múltiplas hierárquica de três fatores: observação, parcela e bloco, respectivamente com 64, 16 e 4 níveis. Onde: G = mudas de gliricídia não-inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), GM = mudas de gliricídia inoculadas com FMAs, L = mudas de leucena não-inoculadas com FMAs, LM = mudas de leucena inoculadas com FMAs.

### 2.1.2.2 Delineamento estatístico para avaliação dos teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea das mudas

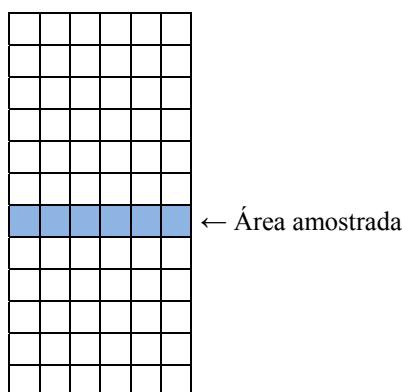
Para avaliação dos teores e acúmulos de nutrientes na parte aérea das mudas foi considerado o delineamento estatístico em blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 2 com quatro repetições. Neste caso, as quatro amostras de cada tratamento por bloco foram misturadas e homogeneizadas, constituindo uma única amostra do tratamento por bloco (**Figura 2**).



**Figura 2.** Esquema do delineamento em blocos casualizados em arranjo fatorial 2 x 2, com quatro repetições. Onde: G = mudas de gliricídia não-inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), GM = mudas de gliricídia inoculadas com FMAs, L = mudas de leucena não-inoculadas com FMAs, LM = mudas de leucena inoculadas com FMAs.

### 2.1.2.3 Área amostral, processamento das amostras e análises laboratoriais

Aos 89 dias após a semeadura, foi coletada a parte aérea das seis mudas situadas na 6ª linha transversal ao sentido longitudinal de cada bandeja (**Figura 3**).



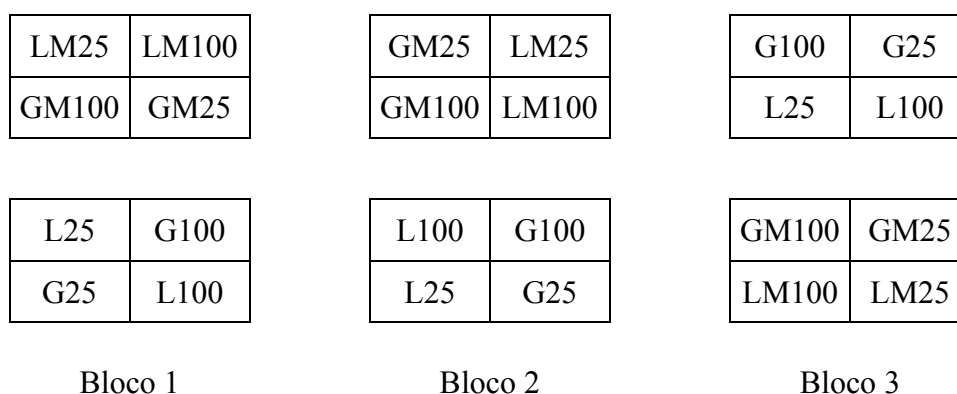
**Figura 3.** Área de amostragem das bandejas de poliestireno expandido de 72 células.

As amostras foram secadas em estufa com ventilação forçada de ar e regulada a 65°C, pesadas, finamente moídas, acondicionadas em frascos de acrílico e enviadas para o Instituto Agrônomo de Campinas, onde foram realizadas análises dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S. O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl, após digestão sulfúrica. Os teores de P, K, Ca, Mg e S foram determinados após digestão nítrico-perclórica, sendo o teor de P determinado em espectrofotômetro, após formação do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico; o teor de K, em espectrofotômetro de chama; e os teores de Ca, Mg e S foram determinados em plasma.

## 2.2 Experimento de Campo: Bancos de Gliricídia e Leucena Destinados à Produção de Fertilizantes de Leguminosas

### 2.2.1 Delineamento experimental do experimento de campo

O experimento constou de oito tratamentos dispostos no delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas no espaço, com três repetições. Nas parcelas, constaram duas tecnologias de mudas (inoculadas e não-inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares). Nas subparcelas constaram a combinação 2 x 2 dos fatores espécie de leguminosa arbórea (gliricídia e leucena) e dose de fosfato de rocha (25 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P-solúvel em ácido cítrico a 2%). A **Figura 4** traz a representação esquemática do experimento de campo.



**Figura 4.** Representação esquemática do experimento de campo. Onde: G = subparcela constituída por mudas de gliricídia não-inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs); GM = subparcela constituída por mudas de gliricídia inoculadas com FMAs; L = subparcela constituída por mudas de leucena não-inoculadas com FMAs; L = subparcela constituída por mudas de leucena inoculadas com FMAs; 25 e 100: doses de fosfato de rocha, em kg ha<sup>-1</sup> de P-solúvel em ácido cítrico a 2%.

As subdivisões dentro dos blocos foram realizadas para garantir separação espacial das parcelas constituídas por mudas inoculadas com os FMAs daquelas não-inoculadas, a fim de reduzir as chances de transferência dos FMAs inoculados para as subparcelas com as mudas não-inoculadas.

### 2.2.2 Caracterização da área experimental e implantação do experimento

O experimento foi implantado em área do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), em Seropédica, RJ, em Argissolo Vermelho-Amarelo. A parte central do experimento encontra-se à 22° 45' 13,78" S e 43° 40' 20,56" W a 34 m de altitude (GOOGLE EARTH PRO, 2013). Essa área foi escolhida por ser uma área pouco valorizada no SIPA, devido à presença de pedregosidade e ao histórico de baixa produtividade das culturas.



**Figura 5.** Foto aeroespacial de parte do Sistema Integrado de Produção Agroecológica, com destaque em amarelo das parcelas do experimento – Seropédica, RJ, Brasil – jan. 2010. Fonte: Google Earth Pro, 2013.

Antes da implantação do experimento foi realizada análise do solo de cada bloco nas profundidades 0-20 e 20-40 cm. Cada amostra foi constituída por 12 subamostras simples, em cada profundidade. Os resultados das análises foram apresentados na **Tabela 9**.

**Tabela 9.** Resultados da análise do solo por bloco antes da implantação do experimento – Sistema Integrado de Produção Agroecológica – outubro de 2008.

| Bloco | Profundidade<br>(cm) | pH* | Al                                    | H+Al | Ca  | Mg  | P                      | K     | CTC                                   | V    |
|-------|----------------------|-----|---------------------------------------|------|-----|-----|------------------------|-------|---------------------------------------|------|
|       |                      |     | (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) |      |     |     | (mg dm <sup>-3</sup> ) |       | (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | (%)  |
| 1     | 0-20                 | 6,5 | 0,0                                   | 2,2  | 3,2 | 1,9 | 25,2                   | 119,0 | 7,6                                   | 71,2 |
|       | 20-40                | 6,3 | 0,0                                   | 2,0  | 4,2 | 0,5 | 10,0                   | 80,0  | 6,9                                   | 71,0 |
| 2     | 0-20                 | 5,7 | 0,0                                   | 2,9  | 2,1 | 1,9 | 10,7                   | 62,0  | 7,1                                   | 59,3 |
|       | 20-40                | 5,5 | 0,0                                   | 2,2  | 1,6 | 1,4 | 3,9                    | 27,0  | 5,2                                   | 58,1 |
| 3     | 0-20                 | 5,5 | 0,0                                   | 3,0  | 1,7 | 1,2 | 6,7                    | 44,0  | 6,1                                   | 49,7 |
|       | 20-40                | 5,3 | 0,0                                   | 2,3  | 1,2 | 1,0 | 2,4                    | 16,0  | 4,5                                   | 49,1 |

\*Determinação de pH em H<sub>2</sub>O; extração de Al, Ca e Mg em KCl (1 mol L<sup>-1</sup>); extração de P e K em solução Mehlich-1; extração de H+Al em solução de acetato de cálcio (SILVA et al., 1998).

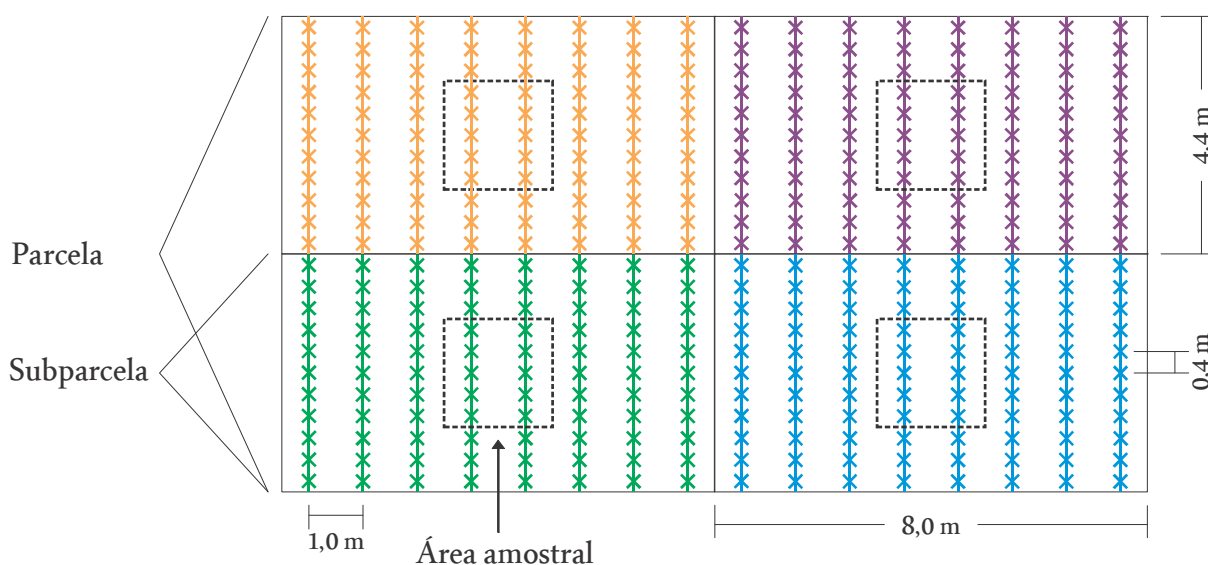
No início de novembro de 2008 foi aplicado calcário dolomítico (75,1% de PRNT), com doses estipuladas para se elevar o valor ‘V’ de cada bloco a 80%, na profundidade de 0-30 cm. Ainda em novembro, o solo foi arado uma vez (a cerca de 30 cm de profundidade) e gradeado duas vezes.

O experimento foi demarcado, sulcado e adubado. A adubação foi realizada nos sulcos de plantio (±0,20 m de profundidade), um dia antes do transplante das mudas, com fosfato de rocha reativo da Argélia\*\* (nas doses de 25 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P solúvel em ácido cítrico a 2%,

\*\*Fosfato natural reativo da Argélia: 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, sendo 9% solúvel em ácido cítrico e 35% de Ca.

segundo o tratamento), sulfato de potássio<sup>††</sup> (50 kg ha<sup>-1</sup> de K) e micronutrientes (60 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR12<sup>‡‡</sup>). Esses fertilizantes foram dosados e misturados em betoneira um dia antes da adubação.

O transplântio das mudas foi realizado em 11 de dezembro de 2008, no espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,4 m entre plantas, referente à população de 25.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Cada subparcela foi constituída por 88 plantas dispostas em oito linhas de onze plantas. A área amostral foi representada pelas dez plantas centrais de cada subparcela (região mediana da 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> linha). Portanto, como bordadura, existiram três linhas (1, 2, 3 e 6, 7, 8), com três plantas nas extremidades de cada linha. Detalhes das parcelas, subparcelas e áreas amostrais são apresentados na **Figura 6**.



**Figura 6.** Detalhes da parcela, subparcelas e áreas amostrais.

### 2.2.3 Manejo dos bancos de leguminosas

Do transplântio ao primeiro corte foram realizadas duas capinas tanto nas parcelas com gliricídia como nas de leucena. Depois foi adotado manejo seletivo de plantas espontâneas, no qual apenas o capim-colonião (*Panicum maximum*) foi retirado, por ser a espécie com maior potencial de competição com os bancos de leguminosas. Entretanto, nas parcelas de leucena, ainda foram necessárias mais duas capinas, até que os bancos estivessem suficientemente vigorosos, de modo a se sobreporem à comunidade de plantas espontâneas.

O primeiro corte dos bancos de leguminosas foi realizado aos oito meses após o transplântio e os cortes subsequentes, que estavam previstos a intervalos de 90-120 dias, foram realizados conforme cronograma apresentado na **Tabela 10**.

<sup>††</sup>Sulfato de potássio: 50% de K<sub>2</sub>O e 17% de S.

<sup>‡‡</sup>FTE BR12: Zn = 9%; Mn = 2%; Fe = 2%; B = 1,8%; Cu = 0,8%; Mo = 0,10%.

**Tabela 10.** Cronograma e altura dos cortes dos bancos de gliricídia e leucena.

| Corte | Espécie    | Data do corte | Altura do corte (m) | Meses após o transplântio | Intervalo entre cortes (dias) |
|-------|------------|---------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1°    | Gliricídia | 7/8/2009      | 1,2                 | 8,0                       | -                             |
|       | Leucena    | 30/8/2009     | 0,8                 | 8,7                       | -                             |
| 2°    | Gliricídia | 23/11/2009    | 1,2                 | 11,6                      | 107                           |
| -     | Leucena    | -             | -                   | -                         | -                             |
| 3°    | Gliricídia | 24/3/2010     | 1,2                 | 15,6                      | 121                           |
| 2°    | Leucena    | -             | -                   | -                         | 206                           |
| 4°    | Gliricídia | 3/7/2010      | 1,2                 | 19,0                      | 101                           |
| 3°    | Leucena    | -             | -                   | -                         | -                             |
| 5°    | Gliricídia | 21/1/2011     | 1,2                 | 25,7                      | 202                           |
| 4°    | Leucena    | -             | -                   | -                         | -                             |
| 6°    | Gliricídia | 13/5/2011     | 1,2                 | 29,4                      | 112                           |
| 5°    | Leucena    | -             | -                   | -                         | -                             |

Esse cronograma diferenciado foi realizado em virtude de, nas datas previstas para os cortes, os bancos de leguminosas estarem pouco desenvolvidos, sobretudo os de leucena, ou pela ocorrência de chuvas nas datas programadas para corte, o que prejudicaria a amostragem e a secagem da fitomassa no campo.

O primeiro corte da leucena foi realizado a 0,8 m de altura, pois as plantas não estavam com altura suficiente para serem cortadas a 1,2 m, mesmo 23 dias após o primeiro corte da gliricídia. O segundo corte da leucena foi adiado, pois na data do 2° corte da gliricídia os estandes de leucena não tinham altura suficiente para seu fechamento e efetivo controle da população de plantas espontâneas.

Os cortes foram realizados com tesoura de poda, sendo a biomassa removida do local. Foi testado corte com catana e facão, mas foi preferido o corte com tesoura de poda por este não promover rachadura no tronco abaixo da altura de corte.

Adubações em cobertura com sulfato de potássio foram realizadas cerca de três meses antes do 1° corte (80 kg ha<sup>-1</sup> de K) e dois meses antes do 3°, 4° e 6° corte (120 kg ha<sup>-1</sup> de K).

Só foi realizada irrigação em duas ocasiões, antes e depois do transplântio das mudas.

#### 2.2.4 Atributos fitotécnicos avaliados nos bancos de leguminosas

Ao longo do período de condução do experimento foram avaliados: altura das plantas antes do primeiro corte; matéria fresca, matéria seca e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da biomassa aérea cortada e removida; evolução do diâmetro, volume, densidade aparente e matéria seca dos troncos remanescentes no campo abaixo da altura de corte.

##### 2.2.4.1 Determinação da altura das plantas antes do primeiro corte

A altura das plantas foi determinada pela média aritmética das dez plantas de cada área amostral tomadas com auxílio de uma fita métrica acoplada a uma vara de bambu, considerando-se a distância da superfície do solo à gema apical mais alta de cada planta. Essas medidas foram realizadas em 5 de agosto de 2008, ou seja, dois dias antes do primeiro corte da gliricídia ou 25 dias antes do primeiro corte da leucena.

#### 2.2.4.2 Determinação da matéria fresca e seca da biomassa aérea cortada e removida

Foram realizados seis cortes da gliricídia e cinco cortes da leucena (**Tabela 10**). No 1º e no 5º corte da gliricídia, as amostras foram separadas em folhas e galhos. No 1º corte da leucena as vagens foram separadas das demais partes da biomassa cortada, mas depois de secadas e pesadas foram misturadas, antes de serem processadas no moinho. Nessas ocasiões, imediatamente após o corte, a matéria fresca total pesada, sendo em seguida realizada a separação de folhas, galhos e vagens, que foram pesadas separadamente. Subamostras de aproximadamente 1.000 g de cada parte separada foram acondicionadas em saco de plástico grosso, sendo mantidos à sombra até serem levadas para o laboratório.

As amostras do 2º, 3º, 4º e 6º corte da gliricídia e do 2º ao 5º corte da leucena foram avaliadas de forma integral. Nessas ocasiões, logo após a pesagem da matéria fresca total, as amostras foram imediatamente processadas em campo em picadora acoplada a trator. Em seguida a biomassa picada foi homogeneizada e subamostrada. As subamostras de aproximadamente 1.000 g foram acondicionadas em sacos de plástico grosso, sendo mantidos à sombra até serem levados para o laboratório.

No laboratório, as subamostras foram acondicionadas em sacos de papel de 10 kg, previamente pesados e identificados, sendo o conjunto novamente pesado em balança digital com precisão de 0,01 g, sendo o conjunto mantido em estufa com ventilação forçada e regulada a 65°C por sete dias, período mais que suficiente para as amostras terem alcançado massa constante. Imediatamente após a saída da estufa, as amostras foram pesadas na mesma balança digital. Três amostras com cinco sacos de papel vazios também seguiram o mesmo procedimento de pesagem-secagem-pesagem, para determinação da proporção de matéria seca dos sacos de papel (PMSSP), na ocasião de sua primeira pesagem.

A produtividade de massa fresca (MF), massa seca (MS) e o percentual de matéria seca (%MS) na massa fresca da parte aérea foram calculados por intermédio das Equações I, II e III.

$$MF = MF_{\text{amostral}} \times 25.000/10^7 \quad (\text{I})$$

$$\%MS = (MS_{\text{subamostra}} - MISP \times PMSSP) \times 100/(MF_{\text{subamostra}} - MISP) \quad (\text{II})$$

$$MS = \%MS \times MF/100 \quad (\text{III})$$

Onde:

- MF = matéria fresca produzida por corte ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );
- $MF_{\text{amostral}}$  = matéria fresca retirada da área amostral (g);
- 25.000 = população referente ao espaçamento 0,4 x 1,0 m (25.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ );
- $10^7 = 10$  (plantas da amostra) x  $10^6$  (para converter 'g' em 'Mg');
- %MS = percentual de matéria seca na massa fresca (%);
- $MS_{\text{subamostra}}$  = matéria seca a 65°C do conjunto subamostra + saco de papel (g);
- MISP = massa inicial do saco de papel (g);
- PMSSP = massa do saco de papel depois de seco a 65°C/massa inicial do saco de papel ( $\text{g g}^{-1}$ );
- MS = matéria seca (a 65°C) produzida por corte no estande de 25.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

#### 2.2.4.3 Determinação dos teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea

As subamostras, novamente secadas a 65°C, foram finamente moídas, em moinho Wiley, homogeneizadas, acondicionadas em frascos de acrílico e enviadas para o Instituto Agrônomo de Campinas, onde foram realizadas análises dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S.

O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl, após digestão sulfúrica. Os teores de P, K, Ca, Mg e S foram determinados após digestão nítrico-perclórica. O teor de P foi determinado em espectrofotômetro, após formação do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico; o teor de K, em espectrofotômetro de chama; e os teores de Ca, Mg e S foram determinados em plasma.

A quantidade acumulada de cada nutriente foi obtida multiplicando-se o teor do nutriente pela massa de matéria seca obtida no respectivo corte.

#### 2.2.4.4 Determinação dos diâmetros dos troncos e do volume de madeira

As partes do caule remanescentes no campo tiveram os diâmetros inferior (base) e superior (ápice) medidos com auxílio de um paquímetro digital (precisão de 0,01 mm) e a extensão dos segmentos com uma trena. A **Tabela 11** apresenta o cronograma das medições, sendo considerado o transplântio como data de referência.

**Tabela 11.** Cronograma das medições dos troncos das leguminosas.

| Atividade                | Data       | Anos após o transplântio das mudas |
|--------------------------|------------|------------------------------------|
| Transplântio             | 11/12/2008 | 0                                  |
| 1ª medição dos diâmetros | 21/10/2009 | 0,9                                |
| 2ª medição dos diâmetros | 13/06/2010 | 1,5                                |
| 3ª medição dos diâmetros | 12/06/2011 | 2,5                                |

A base principal foi medida a cerca de 5 cm da superfície do solo e o ápice logo abaixo à calosidade provocada pelos cortes (doravante denominada cabeça). Segmentos oriundos de bifurcações com altura igual ou superior a 30 cm do solo não foram medidos. Assim, foram consideradas bifurcações apenas os segmentos secundários oriundos de uma mesma planta e abaixo de 30 cm de altura.

Para cálculo do volume de madeira de cada segmento do caule, foi considerada a figura geométrica de um tronco de cone, dada pela Equação V. Sendo o volume de cada planta o somatório dos volumes de cada segmento.

$$V = \frac{\pi h(R^2 + r^2 + Rr)}{3} \quad (V)$$

Onde:

- V = Volume do segmento
- $\pi = 3,141593$
- h = extensão do segmento
- R = raio da base do tronco
- r = raio do ápice do tronco

#### 2.2.4.5 Determinação da matéria seca e densidade aparente da madeira dos troncos

Na primeira medição dos diâmetros e volume de madeira, não foram coletadas amostras para avaliação da matéria seca e densidade de madeira.



Na segunda medição, foram retirados de subparcelas extras (que não entraram na análise dos experimentos), situadas a 4 m dos blocos 1 e 3, quatro exemplares da gliricídia e quatro da leucena. Essas parcelas receberam o mesmo tipo de preparo do solo, calagem e adubação com a mistura de fosfato de rocha ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de P), sulfato de potássio e micronutrientes.

Na terceira medição, foram cortados seis exemplares representativos de gliricídia e de leucena, retirados de cada uma das seis parcelas. Optou-se pela escolha de plantas representativas da parcela, eretas e sem bifurcação, localizadas na parte mediana das linhas 2 ou 7 de alguma das subparcelas, havendo, portanto, bordadura em torno da planta amostrada, mas sem comprometer a área amostral (**Figura 6**). Os cortes foram realizados 5 cm da superfície do solo.

As brotações foram eliminadas, restando a cabeça e o tronco. A cabeça foi cortada e, para gliricídia, o tronco foi dividido em quatro partes de comprimentos semelhantes. Para leucena foi um pouco diferente, pois havia um nó em todos os trancos próximo aos 75 cm de altura, ocasionado pelo 1º corte, realizado a 80 cm. Esse nó foi removido, dividindo o tronco em duas partes. A parte inferior foi dividida em três pedaços semelhantes, enquanto a parte próxima ao ápice não foi dividida.

Com auxílio de um paquímetro digital (precisão de 0,01 mm), foram tomadas medidas transversais (em X) do diâmetro da base e do ápice de cada uma das partes (amostras), para determinação dos respectivos diâmetros médios. Com auxílio de uma régua, foram tomadas duas medidas contrapostas do comprimento das amostras, utilizadas para cálculo do comprimento médio.

O volume de cada amostra foi calculado pela Equação V (volume de um tronco de cone).

O volume das cabeças foi determinado de outra forma, devido à irregularidade geométrica dessas peças. Inicialmente foram mantidas submersas em água por 24 h, para saturá-las de umidade. Em seguida em um recipiente sobre uma balança previamente zerada foi colocado 5.345 g de água, sendo marcado o nível da água no recipiente. Logo em seguida foi retirada uma alíquota de 600 mL de água, sendo introduzida uma das peças no recipiente. Água foi adicionada ao recipiente até alcançar o nível marcado. Em seguida, a peça foi retirada e sacudida, deixando-se cair o excesso de água no recipiente. Por fim, realizou-se a leitura do peso de água remanescente. A diferença entre o peso inicial da água (5.345 g) e peso de água remanescente foi o valor considerado como volume da cabeça (em mL).

Para determinação da matéria seca da madeira. Todas as amostras foram preliminarmente mantidas em estufa com ventilação forçada de ar regulada a  $65^\circ\text{C}$ , por duas semanas. Depois foram mantidas em estufa com ventilação forçada de ar regulada a  $105^\circ\text{C}$  por 48 h, sendo pesadas logo em seguida.

A densidade da madeira foi calculada pela divisão da massa seca da amostra a  $105^\circ\text{C}$ , pelo respectivo volume.

### 2.3 Análises Estatísticas

Após verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade da variância dos erros, os dados de cada variável foram submetidos à análise de variância ( $P < 0,05$ ) de acordo com o delineamento estatístico. Para comparação dos níveis dos fatores ou desdobramento das interações não foi aplicado teste de médias, pelo fato do resultado da análise de variância (com 1 grau de liberdade) ser conclusivo. Para comparação de médias de blocos que apresentaram significância na análise de variância foi aplicado o teste LSD a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com auxílio dos softwares Microsoft® Office Excel® e Sisvar® (FERREIRA, 2000).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Experimento com Mudanças de Gliricídia e Leucena

Os teores de nutrientes foram encontrados mais altos na parte aérea das mudas de leucena, comparativamente aos encontrados nas mudas de gliricídia, com exceção do Mg (**Tabela 12**). Entretanto, a produção de matéria seca da parte aérea das mudas de gliricídia foram cerca de três vezes superior a das mudas de leucena, propiciando assim maior acúmulo de cada um dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S).

Apesar de a inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs: *Scutellospora heterogama* e *Glomus clarum*) não terem influenciado nos teores de nutrientes; as mudas inoculadas com os FMAs apresentaram incrementos significativos ( $P < 0,05$ ) de matéria seca da parte aérea e de acúmulos de N, P, Ca e Mg na parte aérea de ambas as espécies (**Tabela 12**), significando que a inoculação com os FMAs favoreceu a absorção de nutrientes do substrato, podendo também, no caso do N, ter favorecido o processo de fixação biológica de  $N_2$ .

A colonização das raízes por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) resulta em modificações na fisiologia, bioquímica e nutrição mineral da planta hospedeira, favorecendo a absorção, translocação e utilização de nutrientes e água (MOSSE, 1973). Uma raiz micorrizada possui duas vias para a absorção de nutrientes. O caminho direto, que envolve a captação da rizosfera através da epiderme e dos pelos radiculares, e a via micorrízica, que envolve a translocação rápida do nutriente por vários centímetros através das hifas, entregando-o diretamente à planta através das interfaces simbióticas (arbúsculos) (SMITH & SMITH, 2011).

Rhodes & Gerdemann (1975) observaram que plantas colonizadas com FMAs foram capazes de absorver  $^{32}P$  colocado até 8 cm de distância da superfície da raiz, devido às hifas externas do fungo funcionarem como extensão do sistema radicular, podendo absorver nutrientes além da zona dos pelos radiculares e da zona de depleção (1 a 2 mm) formada ao seu redor.

Lins et al. (2007) reportam que a inoculação o fungo *Acaulospora longula* isoladamente ou misturado com *Glomus etunicatum* promove ganhos de matéria seca de raízes e parte aérea de mudas de leucena em relação a fungos nativos de dois substratos.

Bagyaraj et al. (1989) comprovam aumento de matéria seca e fósforo acumulado na parte aérea de mudas de quatro genótipos de leucena (K8, K28, K67 e K72) inoculadas com *Giaspora margarita*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus versiforme* ou *Glomus mosseae* em relação a mudas com micorrizas nativas do solo (terra não-esterelizada).

Diouf et al. (2008), também em terra não-esterelizada, relatam aumento da produção de gliricídia com a inoculação de FMA (*Glomus aggregatum*).

**Tabela 12.** Média e resultados da análise de variância da massa seca da parte aérea (MSPA) e dos teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea das mudas de gliricídia e leucena – Seropédica, RJ – dezembro de 2008.

| Fator   | MSPA          | Teor do nutriente na matéria seca da parte aérea |               |               |                   |                   |               | Quantidade acumulada do nutriente na parte aérea |                   |                   |                   |                   |                   |
|---|---------------|--|---------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|   |               | N  | P             | K             | Ca                | Mg                | S             | N  | P                 | K                 | Ca                | Mg                | S                 |
|   | (g)           | (g kg <sup>-1</sup> )                            |               |               |                   |                   |               | (mg planta <sup>-1</sup> )                       |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>Espécie de leguminosa arbórea</b>  |               |  |               |               |                   |                   |               |  |                   |                   |                   |                   |                   |
| Gliricídia  | 1,86          | 28,39  | 2,26          | 15,19         | 6,08              | 3,50              | 1,53          | 52,86  | 4,20              | 28,17             | 11,28             | 6,50              | 2,83              |
| Leucena   | 0,59          | 31,41  | 2,70          | 16,38         | 7,61              | 2,28              | 1,68          | 18,47  | 1,58              | 9,63              | 4,48              | 1,34              | 0,98              |
| <b>Inoculação das mudas com fungos micorrízicos arbusculares<sup>†</sup> (FMAs)</b> |               |  |               |               |                   |                   |               |  |                   |                   |                   |                   |                   |
| Inoculada   | 1,28          | 30,30  | 2,49          | 15,54         | 6,91              | 2,94              | 1,59          | 37,77  | 3,05              | 19,28             | 8,26              | 4,14              | 1,97              |
| Não-inoculada   | 1,17          | 29,50  | 2,48          | 16,03         | 6,78              | 2,84              | 1,61          | 33,56  | 2,74              | 18,52             | 7,51              | 3,70              | 1,85              |
| Erro padrão <sup>‡</sup>  | 0,0285        | 0,2790   | 0,0472        | 0,3386        | 0,0950            | 0,0549            | 0,0923        | 1,1924   | 0,0549            | 0,5740            | 0,2060            | 0,0978            | 0,0390            |
| <b>Análise de variância</b>   |               |  |               |               |                   |                   |               |  |                   |                   |                   |                   |                   |
|   |               | Significância do teste F <sup>¥</sup>            |               |               |                   |                   |               |  |                   |                   |                   |                   |                   |
| Espécie   | <b>0,0000</b> | <b>0,0000</b>                                    | <b>0,0001</b> | <b>0,0350</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0051</b> | <b>&lt;0,0001</b>                                | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> |
| Inoculação  | <b>0,0100</b> | 0,0732   | 0,8557        | 0,3353        | 0,3331            | 0,2304            | 0,5554        | <b>0,0339</b>                                    | <b>0,0034</b>     | 0,3764            | <b>0,0300</b>     | <b>0,0118</b>     | 0,0573            |
| Espécie*Inoculação  | 0,3720        | 0,8535   | 0,3739        | 0,4393        | 0,1111            | 0,5361            | 0,5554        | 0,3941   | 0,1101            | 0,6712            | 0,9208            | 0,2118            | 0,9796            |

<sup>†</sup>Inóculo-solo composto por *Scutellospora heterogama* e *Glomus clarum*. <sup>‡</sup>Para MSPA, n = 32; para as demais variáveis, n = 8. <sup>¥</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.

### 3.2 Experimento de Campo: Bancos de Gliricídia e Leucena Destinados à Produção de Fertilizantes de Leguminosas

Inicialmente foi realizada análise individual de cada um dos cortes das leguminosas. Depois foi calculada a produtividade de matéria seca da parte aérea removida, a exportação anual de nutrientes e os teores médios anuais de nutrientes. Em seguida, foi realizada análise gráfica comparando-se séries de dados meteorológicos (temperatura e precipitação) com médias de atributos fitotécnicos de cada um dos cortes, por espécie de leguminosa. Na sequência, foram avaliados os atributos fitotécnicos relacionados ao acúmulo de madeira nos troncos remanescentes no campo, abaixo da altura de corte.

#### 3.2.1 Primeiro corte dos bancos de gliricídia e de leucena

Dois dias antes do primeiro corte da gliricídia, em 5 de agosto de 2009 (aos 237 dias após o transplante das mudas), os estandes de gliricídia estavam com 2,1 m de altura, enquanto os estandes de leucena, com apenas 1,4 m. Essa diferença foi altamente significativa entre as espécies ( $P < 0,0001$ ), não havendo interação entre os fatores nem efeito das doses de fósforo e do uso das mudas inoculadas com os FMAs ( $P \geq 0,05$ ).

No início de maio de 2009, três meses antes do primeiro corte da gliricídia e início do período seco com temperaturas mais amenas, as subparcelas com gliricídia estavam com estande fechado, sem infestação prejudicial de plantas espontâneas e altura similar à data do primeiro corte, no entanto, com plantas mais enfolhadas e esverdeadas.

A partir de meados de maio, devido à queda de temperatura, à seca e à ocorrência de fungos nos folíolos, ocorreu paralisação do crescimento da gliricídia, amarelecimento das folhas baixas, seguida de queda. Ainda foram observadas três ou quatro plantas de gliricídia entre as 1.056 do experimento que floresceram. Essas observações sugerem que teria sido melhor para produção de fertilizante o corte da gliricídia na primeira quinzena de maio, comparativamente ao corte realizado três meses depois. Contudo, na esperança de a leucena alcançar maior porte para a realização do primeiro corte, previsto a 1,2 m de altura, o tempo de realização do primeiro corte foi prorrogado.

Em maio as parcelas de leucena estavam ainda com estande bastante aberto, infestado de plantas espontâneas, altura média de aproximadamente 1 m e cerca de 90% das plantas floridas ou com vagens. Franco & Souto (1986) relatam que a leucena frutifica abundantemente já no primeiro ano de plantio. Essa frutificação prematura certamente colaborou para o baixo desenvolvimento vegetativo da espécie que, ainda pequena e com reduzida superfície fotossintética, deslocou grande parte de seus fotoassimilados para seus órgãos reprodutivos, em detrimento de seu crescimento vegetativo. De todo modo, os resultados aqui obtidos corroboram relatos de outros autores, que consideram a *L. leucocephala* como espécie de crescimento inicial lento (CNPGC, 1996; GARCIA, 1997).

Mesmo passando três meses do possível corte da gliricídia, a leucena cresceu pouco. Optou-se então, por realizar o corte da gliricídia (a 1,2 m de altura) e 23 dias depois o da leucena (a 0,8 de altura), momento em que mais de 90% das vagens da leucena estavam secas.

Apesar do lento crescimento e do baixo porte da leucena, a espécie foi capaz de produzir cerca de 216 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, quantidade que possibilitaria a semeadura de 49 ha, considerando-se um gasto de 120.000 sementes ha<sup>-1</sup> (12 sementes m<sup>-1</sup>). Contudo, as sementes produzidas tinham peso médio de 100 sementes inferior às utilizadas na produção das mudas (3,30 g contra 3,66 g, respectivamente). Esse menor peso das sementes colhidas

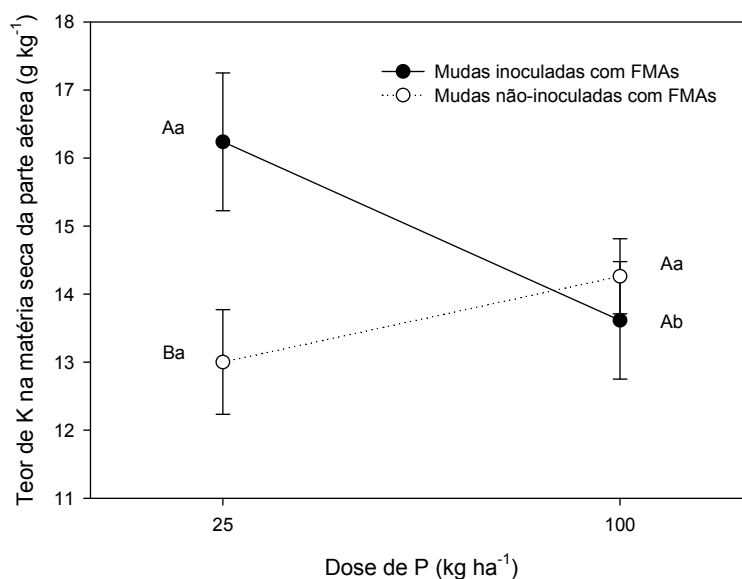
deve estar relacionado a um precário enchimento das sementes em um período seco e ao pequeno porte das plantas.

O crescimento lento dos bancos de leucena também se refletiu em menor produção de matéria fresca total, matéria seca total e acúmulo de nutrientes, com exceção do acúmulo de S, que não diferiu significativamente do ocorrido nos bancos de gliricídia (**Tabela 13**).

Os teores de Ca e Mg na biomassa aérea foram encontrados mais altos na gliricídia, enquanto os teores de N, P e S foram mais altos na leucena (**Tabela 13**).

O teor de S na matéria seca da parte aérea diminuiu com aumento da dose de fosfato de rocha (**Tabela 13**), provavelmente devido ao favorecimento dos ânions de P ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), em detrimento dos ânions de S ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), na maior dose de fosfato de rocha.

Quanto ao teor de K, a análise de variância detectou interação entre a tecnologia de mudas (inoculadas e não-inoculadas com FMAs) com as doses de fosfato de rocha (**Tabela 13**), sendo o desdobramento da interação mostrado na **Figura 7**. Na menor dose de fosfato de rocha, os bancos formados com as mudas inoculadas com FMAs apresentaram maior teor de K na biomassa aérea do que os que foram implantados com mudas não-inoculadas com os FMAs, havendo também maior concentração de K, na menor dose de fósforo, nos bancos formados pelas mudas inoculadas com os FMAs.



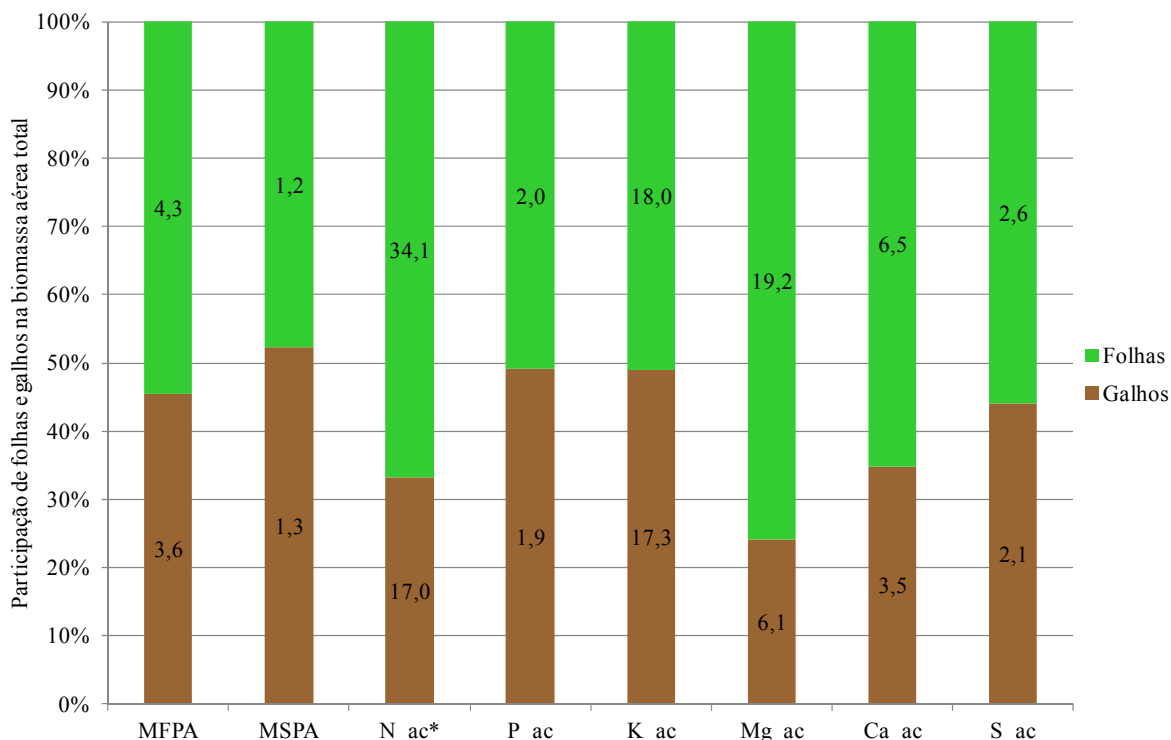
**Figura 7.** Interação entre tecnologias de mudas e doses de fósforo sobre o teor de potássio na matéria seca da parte aérea retirada no primeiro corte dos bancos de gliricídia e leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009. Barras verticais representam o erro padrão da média de seis repetições. Letras maiúsculas comparam as tecnologias de mudas dentro da dose de fósforo e letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro das tecnologias de mudas pelo teste F a 5% de probabilidade

**Tabela 13.** Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no primeiro corte dos bancos de gliricídia e de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009.

| Fator                       | Nível                        | Biomassa aérea         |               |                   | Teor do nutriente na matéria seca da parte aérea |                   |   |                   |                   |                   | Quantidade acumulada do nutriente na parte aérea |        |               |                   |                   |        |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--|-------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|--|--------|---------------|-------------------|-------------------|--------|
|                             |                              | MFT                    | MST           | PMST              | N  | P                 | K   | Ca                | Mg                | S                 | N  | P      | K             | Ca                | Mg                | S      |
|                             |                              | (Mg ha <sup>-1</sup> ) |               | (%)               | (g kg <sup>-1</sup> )                            |                   |   |                   |                   |                   | (kg ha <sup>-1</sup> )                           |        |               |                   |                   |        |
| Espécie (Esp)               | Gliricídia                   | 7,9                    | 2,5           | 31,3              | 20,6   | 1,5               | 14,3  | 10,2              | 4,0               | 1,9               | 51,1   | 3,9    | 35,3          | 25,3              | 10,0              | 4,7    |
|                             | Leucena                      | 2,4                    | 1,3           | 52,4              | 29,4   | 2,3               | 14,3  | 5,5               | 2,6               | 3,1               | 35,6   | 2,9    | 18,4          | 6,9               | 3,2               | 3,9    |
| Dose de fósforo (Dose)      | 25 kg ha <sup>-1</sup> de P  | 5,2                    | 1,9           | 42,0              | 25,2   | 2,0               | 14,6  | 7,9               | 3,3               | 2,6               | 43,6   | 3,5    | 26,9          | 16,5              | 6,7               | 4,4    |
|                             | 100 kg ha <sup>-1</sup> de P | 5,2                    | 1,9           | 41,7              | 24,8   | 1,9               | 13,9  | 7,8               | 3,3               | 2,4               | 43,2   | 3,3    | 26,8          | 15,7              | 6,5               | 4,1    |
| Tecnologia de muda (Tec)    | Não-inoculada com FMAs       | 5,4                    | 2,0           | 41,8              | 23,8   | 1,9               | 13,6  | 7,8               | 3,3               | 2,4               | 44,8   | 3,6    | 27,3          | 16,5              | 6,9               | 4,5    |
|                             | Inoculada com FMAs           | 5,0                    | 1,8           | 41,9              | 26,2   | 2,0               | 14,9  | 7,9               | 3,3               | 2,6               | 41,9   | 3,2    | 26,4          | 15,7              | 6,3               | 4,1    |
| Erro padrão (Esp e Dose)    |                              | 0,417                  | 0,159         | 1,961             | 0,580  | 0,051             | 0,394                                       | 0,336             | 0,141             | 0,049             | 3,221  | 0,324  | 2,203         | 1,466             | 0,703             | 0,346  |
| Erro padrão (Tec)           |                              | 0,232                  | 0,058         | 1,240             | 0,963  | 0,062             | 0,422                                       | 0,468             | 0,191             | 0,051             | 1,905  | 0,153  | 0,427         | 1,643             | 0,686             | 0,126  |
| <b>Análise de variância</b> |                              |                        |               |                   |  |                   | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u> |                   |                   |                   |  |        |               |                   |                   |        |
| Bloco                       |                              | 0,3935                 | 0,1069        | 0,1747            | 0,4284   | 0,4345            | 0,0746                                      | 0,6493            | 0,1813            | 0,2678            | 0,1905   | 0,0847 | <b>0,0071</b> | 0,8284            | 0,4432            | 0,0512 |
| Esp                         |                              | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b>                                | <b>&lt;0,0001</b> | 0,9167                                      | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0052</b>                                    | 0,0554 | <b>0,0002</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | 0,1266 |
| Dose                        |                              | 0,9664                 | 0,9243        | 0,9189            | 0,6608   | 0,0857            | 0,2446                                      | 0,8573            | 0,8909            | <b>0,0485</b>     | 0,9328   | 0,5811 | 0,9669        | 0,7004            | 0,8165            | 0,6449 |
| Tec                         |                              | 0,3436                 | 0,1047        | 0,9563            | 0,2178   | 0,4220            | 0,1626                                      | 0,9346            | 0,9090            | 0,1317            | 0,3913   | 0,1927 | 0,2879        | 0,7734            | 0,6054            | 0,1516 |
| Esp*Dose                    |                              | 0,6574                 | 0,7304        | 0,7906            | 0,8132   | 0,1846            | 0,7059                                      | 0,3757            | 0,7857            | 0,6254            | 0,7264   | 0,3557 | 0,5667        | 0,4407            | 0,8143            | 0,4831 |
| Esp*Tec                     |                              | 0,3257                 | 0,3529        | 0,7024            | 0,0627   | 0,2956            | 0,8702                                      | 0,3680            | 0,8121            | 0,1491            | 0,3331   | 0,4276 | 0,2195        | 0,3642            | 0,5725            | 0,2622 |
| Dose*Tec                    |                              | 0,4370                 | 0,3388        | 0,3673            | 0,7100   | 0,7110            | <b>0,0045</b>                               | 0,6129            | 0,1935            | 0,2603            | 0,2753   | 0,4448 | 0,8521        | 0,3019            | 0,1269            | 0,4850 |
| Esp*Dose*Tec                |                              | 0,2747                 | 0,4861        | 0,4197            | 0,3553   | 0,5922            | 0,9411                                      | 0,5809            | 0,6556            | 0,3661            | 0,3646   | 0,6455 | 0,8597        | 0,3086            | 0,2923            | 0,9234 |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.

Nos bancos de gliricídia, foi realizada avaliação da matéria seca da parte aérea separando-se folhas de galhos. Verificou-se que a quantidade de nutrientes acumulada nas folhas foi maior que nos galhos, mesmo com a massa seca dos galhos sendo ligeiramente maior que a das folhas (**Figura 8**). Isso foi possível devido aos maiores teores de nutrientes nas folhas em relação aos galhos (**Tabela 14**).

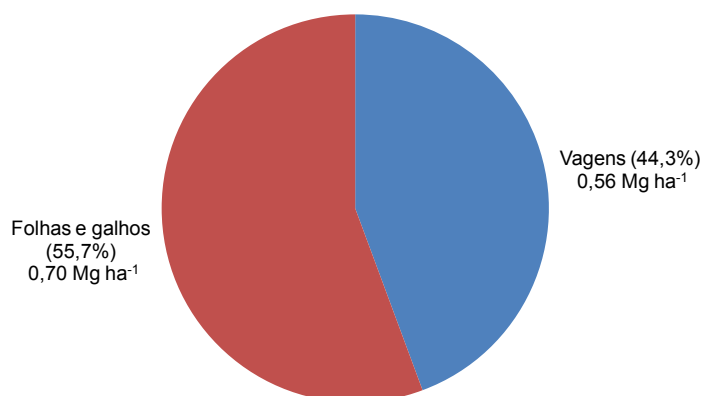


**Figura 8.** Participação de folhas e galhos na matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e quantidade acumulada de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no primeiro corte da gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009. \*\_ac = quantidade acumulada do nutriente na matéria seca da parte aérea. Números dentro das barras são as médias de MFPA e MSPA (em Mg ha<sup>-1</sup>) e da quantidade acumulada do nutrientes (em kg ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 14.** Média ( $\pm$  erro padrão da média de 12 repetições) da proporção de matéria seca na massa fresca (PMS) e teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no primeiro corte da gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009.

| Parte da fitomassa aérea | PMS             | Teor do nutriente na matéria seca |                |                 |                 |                |                |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                          |                 | N                                 | P              | K               | Ca              | Mg             | S              |
|                          | (%)             | (g kg <sup>-1</sup> )             |                |                 |                 |                |                |
| Folhas                   | 27,4 $\pm$ 0,24 | 28,7 $\pm$ 0,31                   | 1,6 $\pm$ 0,05 | 15,2 $\pm$ 0,96 | 16,1 $\pm$ 0,66 | 5,4 $\pm$ 0,37 | 2,2 $\pm$ 0,06 |
| Galhos                   | 35,9 $\pm$ 0,47 | 13,2 $\pm$ 0,24                   | 1,5 $\pm$ 0,08 | 13,5 $\pm$ 0,56 | 4,8 $\pm$ 0,23  | 2,7 $\pm$ 0,13 | 1,6 $\pm$ 0,06 |

Nos bancos de leucena, o teor de nutrientes foi avaliado apenas na matéria seca total da parte aérea (**Tabela 13**). Mas foi realizada a separação das vagens do restante da biomassa aérea (galhos e folhas) para avaliação da massa de matéria fresca e seca. Verificou-se que 44,3% da matéria seca da parte aérea dos bancos de leucena foram constituídas por vagens (incluindo as sementes) (**Figura 9**). Como as vagens estavam bastante secas no momento do corte, com proporção de 93,9% de matéria seca na massa fresca, contra 38,8% no montante de folhas e galhos, o percentual de matéria seca na massa fresca no primeiro corte da leucena foi bastante elevado: 52,4% (**Tabela 13**).



**Figura 9.** Participação de folhas e galhos e de vagens na biomassa seca do primeiro corte da leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – setembro de 2009.

### 3.2.2 Segundo corte dos bancos de gliricídia

Por ocasião do segundo corte (23 de novembro de 2009), a leucena encontrava-se pouco desenvolvida, sendo, portanto, poupada deste. Assim, apenas a produção da gliricídia foi avaliada nesta data.

Não houve efeito das doses de fósforo nem do uso de mudas de gliricídia inoculadas com FMAs, tampouco interação entre esses fatores para nenhuma das variáveis avaliadas (**Tabela 15**). Verificou-se que a produtividade de matéria seca dos bancos de gliricídia (6,9 Mg ha<sup>-1</sup>) foi cerca de três vezes maior que a de seu primeiro corte (2,5 Mg ha<sup>-1</sup>).



**Tabela 15.** Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no segundo corte dos bancos de gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – novembro de 2009.

| Fator                            | Nível                        | Biomassa aérea         |            |             | Teor do nutriente na matéria seca da parte aérea |            |   |            |            |            | Quantidade acumulada do nutriente na parte aérea |             |               |             |             |             |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------|------------|-------------|--|------------|---|------------|------------|------------|--|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  |                              | MFT                    | MST        | PMST        | N  | P          | K   | Ca         | Mg         | S          | N  | P           | K             | Ca          | Mg          | S           |
|                                  |                              | (Mg ha <sup>-1</sup> ) |            | (%)         | (g kg <sup>-1</sup> )                            |            |   |            |            |            | (kg ha <sup>-1</sup> )                           |             |               |             |             |             |
| Dose de fósforo                  | 25 kg ha <sup>-1</sup> de P  | 32,3                   | 6,9        | 21,2        | 25,0   | 2,0        | 21,7  | 6,6        | 3,4        | 1,9        | 171,1  | 13,8        | 149,3         | 45,6        | 23,3        | 13,1        |
|                                  | 100 kg ha <sup>-1</sup> de P | 32,8                   | 7,0        | 21,4        | 25,7   | 1,9        | 22,0  | 6,3        | 3,4        | 1,9        | 179,3  | 13,5        | 156,0         | 44,0        | 23,5        | 13,2        |
| Tecnologia de muda               | Não-inoculada com FMAs       | 33,2                   | 7,0        | 21,2        | 25,5   | 2,0        | 21,2  | 6,4        | 3,4        | 1,9        | 178,2  | 13,7        | 150,7         | 44,8        | 23,9        | 13,0        |
|                                  | Inoculada com FMAs           | 31,9                   | 6,9        | 21,5        | 25,2   | 2,0        | 22,5  | 6,5        | 3,4        | 2,0        | 172,2  | 13,5        | 154,7         | 44,8        | 23,0        | 13,3        |
| <b>Gliricídia</b>                |                              | <b>32,5</b>            | <b>6,9</b> | <b>21,3</b> | <b>25,3</b>                                      | <b>2,0</b> | <b>21,9</b>                                 | <b>6,5</b> | <b>3,4</b> | <b>1,9</b> | <b>175,2</b>                                     | <b>13,6</b> | <b>152,7</b>  | <b>44,8</b> | <b>23,4</b> | <b>13,2</b> |
| Erro padrão (Dose de fósforo)    |                              | 1,840                  | 0,390      | 0,149       | 1,012  | 0,091      | 0,533                                       | 0,137      | 0,129      | 0,031      | 3,427  | 0,971       | 10,310        | 2,076       | 0,923       | 0,528       |
| Erro padrão (Tecnologia de muda) |                              | 1,499                  | 0,312      | 0,138       | 0,412  | 0,112      | 1,266                                       | 0,347      | 0,143      | 0,035      | 6,704  | 0,799       | 6,586         | 3,566       | 1,924       | 0,340       |
| <b>Análise de variância</b>      |                              |                        |            |             |  |            | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u> |            |            |            |  |             |               |             |             |             |
| Bloco                            |                              | 0,4395                 | 0,3117     | 0,1475      | 0,8639   | 0,7459     | 0,1948                                      | 0,9118     | 0,1997     | 0,5000     | 0,2605   | 0,2635      | <b>0,0481</b> | 0,5222      | 0,6509      | 0,0948      |
| Dose                             |                              | 0,8482                 | 0,7766     | 0,4350      | 0,6354   | 0,5506     | 0,7107                                      | 0,1323     | 0,7978     | 0,4918     | 0,1658   | 0,8481      | 0,6697        | 0,6210      | 0,8808      | 0,9216      |
| Tecnologia                       |                              | 0,6082                 | 0,7214     | 0,2878      | 0,6254   | 0,9261     | 0,5525                                      | 0,7666     | 0,8277     | 0,1835     | 0,5940   | 0,8604      | 0,7146        | 0,9954      | 0,7554      | 0,5321      |
| Dose*Tecnologia                  |                              | 0,8634                 | 0,8989     | 0,0517      | 0,5232   | 0,7160     | 0,0789                                      | 0,4395     | 0,7978     | 0,2051     | 0,0991   | 0,8629      | 0,4428        | 0,6106      | 0,5376      | 0,7411      |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.

### 3.2.3 Terceiro corte dos bancos de gliricídia e segundo dos bancos de leucena

Mesmo com a supressão do segundo corte da leucena, a produtividade de matéria fresca e matéria seca dos bancos de gliricídia foram novamente superiores ( $P < 0,05$ ), em 24 de fevereiro de 2010 (**Tabela 16**). Desta vez, o teor de N na matéria seca da parte aérea da gliricídia foi mais alto que na leucena, certamente pela maior participação de galhos na biomassa da leucena, devido ao maior período de crescimento sem poda. Entretanto, para os teores e acúmulos dos demais nutrientes, houve repetição dos comparativos realizados no primeiro corte, ou seja, os teores de Ca e Mg foram novamente encontrados mais altos na matéria seca da parte aérea da gliricídia, o teor de K não diferiu entre as espécies e os teores de P e S foram mais altos na matéria seca da leucena. As quantidades acumuladas de K, Ca e Mg foram encontradas novamente mais altas na matéria seca da parte aérea da gliricídia, enquanto as médias das quantidades acumuladas de P e S não diferiram significativamente ( $P \geq 0,05$ ) entre os bancos das leguminosas.

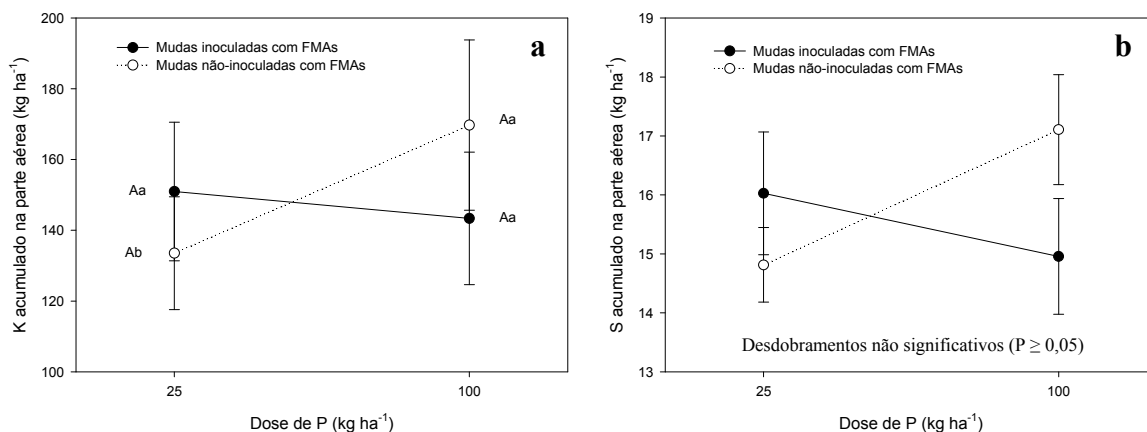
Houve efeito da dose de fósforo sobre o teor de Ca ( $P = 0,0475$ ), que foi encontrado mais alto na menor dose de fósforo (**Tabela 16**). Todavia, não há razão especial para esse incremento do Ca na menor dose de fósforo, pelo contrário, era esperado aumento no teor de Ca com aumento da dose de fósforo, tendo em vista que a fonte usada (fosfato natural) contém considerável quantidade de Ca (35%). Uma explicação plausível seria um efeito de diluição promovido pelo incremento da matéria seca total na dose mais alta de fósforo, considerando que o efeito da dose de fósforo teve significância de 0,0761, sendo bastante próxima ao nível de significância admitido neste trabalho ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 16.** Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no terceiro corte dos bancos de gliricídia e no segundo corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – março de 2010.

| Fator                       | Nível                        | Biomassa aérea         |               |                   | Teor do nutriente na matéria seca da parte aérea |                   |        |   |               |                   | Quantidade acumulada do nutriente na parte aérea |        |                   |                   |                   |               |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--|-------------------|--------|---|---------------|-------------------|--|--------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
|                             |                              | MFT                    | MST           | PMST              | N  | P                 | K      | Ca  | Mg            | S                 | N  | P      | K                 | Ca                | Mg                | S             |
|                             |                              | (Mg ha <sup>-1</sup> ) | (%)           |                   | (g kg <sup>-1</sup> )                            |                   |        |   |               |                   | (kg ha <sup>-1</sup> )                           |        |                   |                   |                   |               |
| Espécie (Esp)               | Gliricídia                   | 43,8                   | 10,4          | 23,7              | 18,8   | 1,4               | 17,6   | 5,8   | 3,0           | 1,6               | 194,6  | 14,6   | 183,0             | 59,8              | 31,5              | 16,3          |
|                             | Leucena                      | 17,6                   | 7,0           | 39,8              | 16,3   | 1,9               | 16,7   | 5,0   | 2,3           | 2,2               | 112,9  | 13,3   | 115,8             | 34,7              | 15,4              | 15,1          |
| Dose de fósforo (Dose)      | 25 kg ha <sup>-1</sup> de P  | 29,1                   | 8,1           | 31,7              | 17,7   | 1,7               | 17,4   | 5,6   | 2,8           | 2,0               | 145,3  | 13,7   | 142,3             | 46,9              | 23,1              | 15,4          |
|                             | 100 kg ha <sup>-1</sup> de P | 32,3                   | 9,3           | 31,9              | 17,4   | 1,6               | 16,8   | 5,1   | 2,5           | 1,8               | 162,2  | 14,3   | 156,5             | 47,6              | 23,7              | 16,0          |
| Tecnologia de muda (Tec)    | Não-inoculada com FMAs       | 31,6                   | 9,0           | 32,1              | 17,4   | 1,6               | 16,7   | 5,3   | 2,6           | 1,9               | 157,0  | 14,3   | 151,6             | 48,0              | 23,9              | 16,0          |
|                             | Inoculada com FMAs           | 29,9                   | 8,4           | 31,5              | 17,7   | 1,7               | 17,5   | 5,5   | 2,7           | 1,9               | 150,6  | 13,6   | 147,2             | 46,5              | 22,9              | 15,5          |
| Erro padrão (Esp e Dose)    |                              | 1,322                  | 0,409         | 0,267             | 0,534  | 0,050             | 0,507  | 0,168                                       | 0,096         | 0,064             | 6,575  | 0,744  | 6,954             | 2,296             | 0,988             | 0,540         |
| Erro padrão (Tec)           |                              | 1,110                  | 0,323         | 0,154             | 1,055  | 0,048             | 0,319  | 0,305                                       | 0,085         | 0,062             | 6,597  | 0,350  | 3,434             | 2,712             | 1,262             | 0,232         |
| <b>Análise de variância</b> |                              |                        |               |                   |  |                   |        | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u> |               |                   |  |        |                   |                   |                   |               |
| Bloco                       |                              | 0,1827                 | 0,1823        | 0,0644            | 0,8385   | 0,3941            | 0,0634 | 0,7117                                      | 0,4370        | 0,5957            | 0,2252   | 0,0514 | <b>0,0223</b>     | 0,2547            | 0,7117            | <b>0,0293</b> |
| Esp                         |                              | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0075</b>                                    | <b>&lt;0,0001</b> | 0,2332 | <b>0,0060</b>                               | <b>0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b>                                | 0,2285 | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | 0,1368        |
| Dose                        |                              | 0,1138                 | 0,0761        | 0,7104            | 0,7061   | 0,0569            | 0,3943 | <b>0,0475</b>                               | 0,1015        | 0,0570            | 0,0943   | 0,5781 | 0,1718            | 0,8186            | 0,6632            | 0,4382        |
| Tec                         |                              | 0,3916                 | 0,2953        | 0,1317            | 0,8554   | 0,6734            | 0,2527 | 0,7241                                      | 0,7619        | 0,5763            | 0,5658   | 0,3157 | 0,4559            | 0,7231            | 0,6577            | 0,2892        |
| Esp*Dose                    |                              | 0,9088                 | 0,6943        | 0,4894            | 0,0937   | 0,3676            | 0,2499 | 0,9726                                      | 0,6761        | 0,1456            | 0,3542   | 0,7626 | 0,6331            | 0,6741            | 0,9791            | 0,7648        |
| Esp*Tec                     |                              | 0,9765                 | 0,7799        | 0,4081            | 0,9054   | 0,2646            | 0,6996 | 0,9180                                      | 0,7650        | 0,7883            | 0,8427   | 0,3148 | 0,6475            | 0,7657            | 0,7099            | 0,4583        |
| Dose*Tec                    |                              | 0,2281                 | 0,1509        | 0,9614            | 0,2779   | 0,3676            | 0,5129 | 0,8104                                      | 0,3190        | 0,6553            | 0,4189   | 0,0546 | <b>0,0459</b>     | 0,1421            | 0,5372            | <b>0,0477</b> |
| Esp*Dose*Tec                |                              | 0,4776                 | 0,3546        | 0,5586            | 0,7873   | 0,4959            | 0,3824 | 0,3983                                      | 0,3770        | 0,3338            | 0,3581   | 0,6587 | 0,8615            | 0,8657            | 0,8050            | 0,4168        |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.

Interações entre as tecnologias de mudas e as doses de P foram observadas para os acúmulos de K e S na matéria seca da parte aérea (**Tabela 16**). Ocorreu maior acúmulo de K na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P comparativamente à dose de 25 kg ha<sup>-1</sup> de P quando utilizadas mudas não-inoculadas com FMAs, enquanto os bancos formados pelas mudas inoculadas não apresentaram diferença significativa no acúmulo de K na parte aérea removida, quanto às doses de fósforo (**Figura 10**). Em contrapartida, apesar de a quantidade de S acumulado ter apresentado interação significativa ( $P = 0,0477$ ), os desdobramentos realizados para essa variável foram todos não-significativos ( $P \geq 0,05$ ) (**Figura 10**).



**Figura 10.** Interação entre tecnologias de mudas e doses de fósforo sobre a quantidade de potássio (a) e enxofre (b) acumulados na matéria seca da parte aérea retirada no terceiro corte dos bancos de gliricídia e no segundo corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – março de 2010. Barras verticais representam o erro padrão da média de seis repetições. Letras maiúsculas comparam as tecnologias de mudas dentro da dose de fósforo e letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro da tecnologia de mudas ( $P < 0,05$ ).

### 3.2.4 Quarto corte dos bancos de gliricídia e terceiro dos bancos de leucena

O quarto corte da gliricídia (**Tabela 17**) só não foi pior que o primeiro (**Tabela 13**), em termos de produção de biomassa, indicando que fatores climáticos, sobretudo, a pouca disponibilidade hídrica e temperaturas amenas, exerceram grande influência sobre a produtividade da cultura.

Neste corte, pela primeira vez, a quantidade de massa seca produzida pela gliricídia foi comparável a da leucena. Os teores de N e P também não foram diferentes entre as espécies, assim como os acumulados de N, P e K.

Por um lado, parece que a gliricídia é mais sensível que a leucena ao déficit hídrico e às temperaturas de inverno de Seropédica. Por outro lado, entretanto, deve ser levado em consideração, que o terceiro corte da leucena (que na verdade foi o segundo corte) foi realizado 204 dias após o corte anterior enquanto o da gliricídia aos 121 dias. Essa diferença de 83 dias pode significar uma vantagem competitiva para leucena, sobre a gliricídia, pois significa mais tempo para planta poder acumular reservas e aprofundar seu sistema radicular.

A análise de variância apontou interação entre inoculação com FMA e dose de fósforo para quatro variáveis: massa seca e acúmulos de P, K e S na parte aérea (**Tabela 17**). A **Figura 11** mostra o desdobramento das interações. Apesar da semelhança entre os gráficos, apenas os acúmulos de K e S apresentaram desdobramento significativo ( $P < 0,05$ ). Vale destacar que a interação entre tecnologia de mudas e doses de fósforo já havia ocorrido no corte anterior para os acúmulos de K e S.

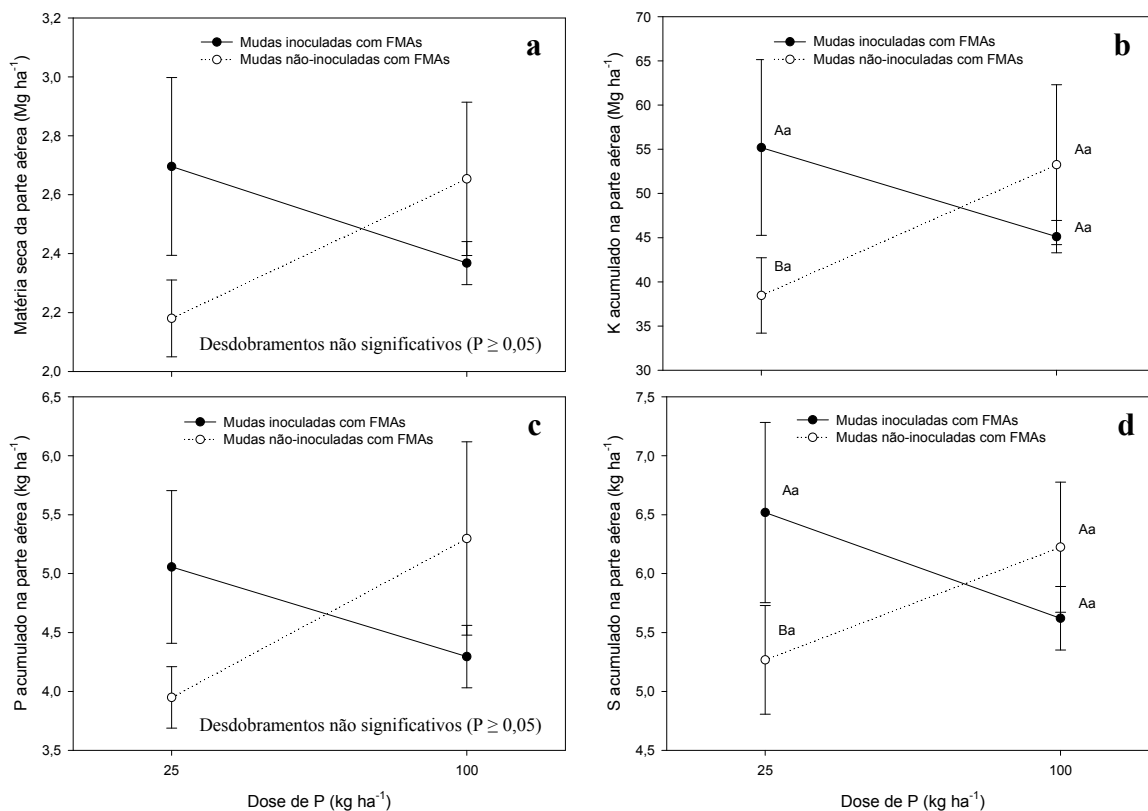
Ocorreu efeito da tecnologia de mudas sobre o teor de N na matéria seca da parte aérea das plantas, sendo encontrado mais alto quando o banco de leguminosa foi implantado com mudas inoculadas com FMA (**Tabela 17**).

No quarto corte, também pela primeira vez foi verificada interação entre espécie de leguminosa e dose de fósforo, que ocorreu sobre o teor de S na matéria seca da parte aérea (**Figura 12**). Os teores de S foram mais altos na leucena, em ambas as doses de fósforo, comparativamente a gliricídia. No desdobramento das doses de fósforo dentro da leucena, o teor de S foi encontrado mais alto na menor dose de fósforo, enquanto, na gliricídia, as doses de fósforo não influenciaram o teor de S.

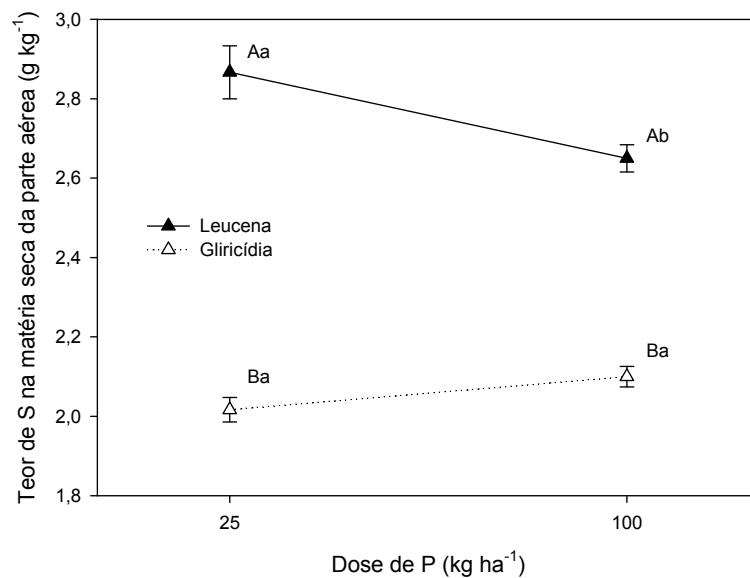
**Tabela 17.** Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na biomassa aérea removida no quarto corte dos bancos de gliricídia e no terceiro corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – julho de 2010.

| Fator                       | Nível                        | Biomassa aérea         |               |                   | Teor do nutriente na matéria seca da parte aérea |               |   |               |               |                   | Quantidade acumulada do nutriente na parte aérea |               |               |               |               |               |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------|---------------|-------------------|--|---------------|---|---------------|---------------|-------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                             |                              | MFT                    | MST           | PMST              | N  | P             | K   | Ca            | Mg            | S                 | N  | P             | K             | Ca            | Mg            | S             |
|                             |                              | (Mg ha <sup>-1</sup> ) |               | (%)               | (g kg <sup>-1</sup> )                            |               |   |               |               |                   | (kg ha <sup>-1</sup> )                           |               |               |               |               |               |
| Espécie (Esp)               | Gliricídia                   | 10,8                   | 2,6           | 24,3              | 30,6   | 1,8           | 17,9  | 10,4          | 3,7           | 2,1               | 78,9   | 4,8           | 47,5          | 26,5          | 9,3           | 10,8          |
|                             | Leucena                      | 7,5                    | 2,4           | 31,5              | 30,4   | 1,9           | 20,2  | 7,3           | 2,6           | 2,8               | 71,5   | 4,5           | 48,5          | 17,4          | 6,1           | 7,5           |
| Dose de fósforo (Dose)      | 25 kg ha <sup>-1</sup> de P  | 8,9                    | 2,4           | 28,1              | 30,3   | 1,8           | 18,8  | 9,1           | 3,2           | 2,4               | 73,8   | 4,5           | 46,8          | 22,3          | 7,6           | 5,9           |
|                             | 100 kg ha <sup>-1</sup> de P | 9,4                    | 2,5           | 27,7              | 30,7   | 1,9           | 19,4  | 8,6           | 3,1           | 2,4               | 76,6   | 4,8           | 49,2          | 21,6          | 7,8           | 5,9           |
| Tecnologia de muda (Tec)    | Não-inoculada com FMAs       | 8,9                    | 2,4           | 28,2              | 30,0   | 1,9           | 18,6  | 9,3           | 3,3           | 2,4               | 72,1   | 4,6           | 45,9          | 22,4          | 7,8           | 5,7           |
|                             | Inoculada com FMAs           | 9,4                    | 2,5           | 27,6              | 30,9   | 1,8           | 19,5  | 8,4           | 3,1           | 2,4               | 78,3   | 4,7           | 50,2          | 21,5          | 7,6           | 6,1           |
| Erro padrão (Esp e Dose)    |                              | 0,592                  | 0,129         | 0,397             | 0,564  | 0,063         | 0,567                                       | 0,412         | 0,162         | 0,034             | 3,612  | 0,318         | 3,449         | 1,533         | 0,474         | 0,285         |
| Erro padrão (Tec)           |                              | 0,464                  | 0,093         | 0,266             | 0,102  | 0,021         | 0,245                                       | 0,432         | 0,068         | 0,042             | 2,711  | 0,138         | 0,860         | 1,918         | 0,526         | 0,155         |
| <b>Análise de variância</b> |                              |                        |               |                   |  |               | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u> |               |               |                   |  |               |               |               |               |               |
| Bloco                       |                              | 0,0881                 | 0,0779        | 0,0875            | <b>0,0072</b>                                    | <b>0,0428</b> | <b>0,0103</b>                               | 0,6299        | <b>0,0226</b> | 0,9286            | 0,0747   | <b>0,0237</b> | <b>0,0043</b> | 0,5394        | 0,5702        | <b>0,0394</b> |
| Esp                         |                              | <b>0,0022</b>          | 0,2305        | <b>&lt;0,0001</b> | 0,7441   | 0,5232        | <b>0,0125</b>                               | <b>0,0002</b> | <b>0,0005</b> | <b>&lt;0,0001</b> | 0,1734   | 0,4414        | 0,8291        | <b>0,0012</b> | <b>0,0005</b> | <b>0,0130</b> |
| Dose                        |                              | 0,5553                 | 0,6956        | 0,5114            | 0,6542   | 0,6470        | 0,4806                                      | 0,3640        | 0,6695        | 0,1911            | 0,5934   | 0,5257        | 0,6382        | 0,7814        | 0,8062        | 0,9433        |
| Tec                         |                              | 0,5073                 | 0,4730        | 0,2807            | <b>0,0258</b>                                    | 0,2999        | 0,1338                                      | 0,3134        | 0,1359        | 0,8075            | 0,2479   | 0,8144        | 0,0717        | 0,7923        | 0,7693        | 0,2779        |
| Esp*Dose                    |                              | 0,7447                 | 0,8759        | 0,3307            | 0,7750   | 0,5232        | 0,1025                                      | 0,3236        | 0,8865        | <b>0,0089</b>     | 0,9813   | 0,8460        | 0,5492        | 0,5452        | 0,9187        | 0,5063        |
| Esp*Tec                     |                              | 0,9263                 | 0,6879        | 0,4217            | 0,8541   | 0,7829        | 0,3282                                      | 0,3501        | 0,4799        | 0,9975            | 0,6181   | 0,9184        | 0,5681        | 0,7729        | 0,8599        | 0,7980        |
| Dose*Tec                    |                              | 0,0783                 | <b>0,0478</b> | 0,8489            | 0,1871   | 0,3219        | 0,1179                                      | 0,8447        | 0,2660        | 0,9975            | 0,0872   | <b>0,0371</b> | <b>0,0255</b> | 0,1535        | 0,6472        | <b>0,0404</b> |
| Esp*Dose*Tec                |                              | 0,4585                 | 0,6340        | 0,7596            | 0,5833   | 0,1363        | 0,2013                                      | 0,5411        | 0,2660        | 0,7350            | 0,4780   | 0,2062        | 0,3945        | 0,8316        | 0,6016        | 0,7909        |

<sup>†</sup>Em negrito, estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.



**Figura 11.** Interação entre tecnologias de mudas e doses de fósforo sobre a produção de matéria seca (a) e acúmulos de potássio (b), fósforo (c) e enxofre (d) na matéria seca da parte aérea removida no quarto corte dos bancos de gliricídia e no terceiro corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – julho de 2010. Barras verticais representam o erro padrão da média de seis repetições. Letras maiúsculas comparam as tecnologias de mudas dentro da dose de fósforo e letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro da tecnologia de mudas ( $P < 0,05$ ).



**Figura 12.** Interação entre espécies de leguminosas e doses de fósforo sobre o teor de enxofre na matéria seca da parte aérea retirada no quarto corte dos bancos de gliricídia e no terceiro corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – julho de 2010. Barras verticais representam o erro padrão da média de seis repetições. Letras maiúsculas comparam as tecnologias de mudas dentro da dose de fósforo e letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro da tecnologia de mudas ( $P < 0,05$ ).

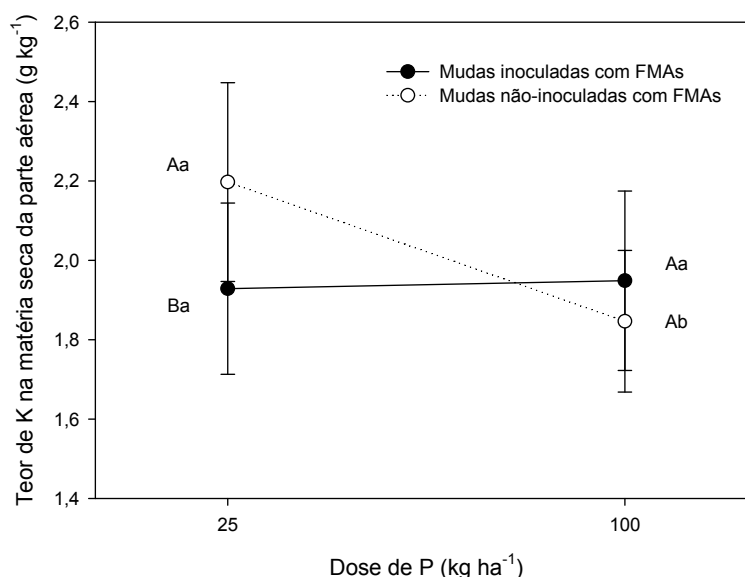


### 3.2.5 Quinto corte dos bancos de gliricídia e quarto dos bancos de leucena

O quinto corte estava previsto para 31.10.2010, quando completaria 120 dias após o corte anterior (03.07.2010). Entretanto, não foi realizado nessa data devido ao baixo crescimento das plantas. Verificou-se que de 18.07.2010 a 24.09.2010 (68 dias) choveu apenas 24,2 mm, o que é totalmente insuficiente para sustentar o crescimento das plantas. A partir deste período a chuva passou a ocorrer com maior frequência e intensidade, as plantas recuperaram o crescimento, sendo cortadas em 20.01.2010 (202 dias após o corte anterior).

A maior produtividade da gliricídia também se confirmou no maior acúmulo de todos os nutrientes, embora a leucena tenha alcançado maiores teores de N, P, Ca e S (**Tabela 18**).

Interação entre os fatores só foi observada para o teor de S entre tecnologia de mudas empregadas e doses de fósforo de rocha (**Figura 13**).



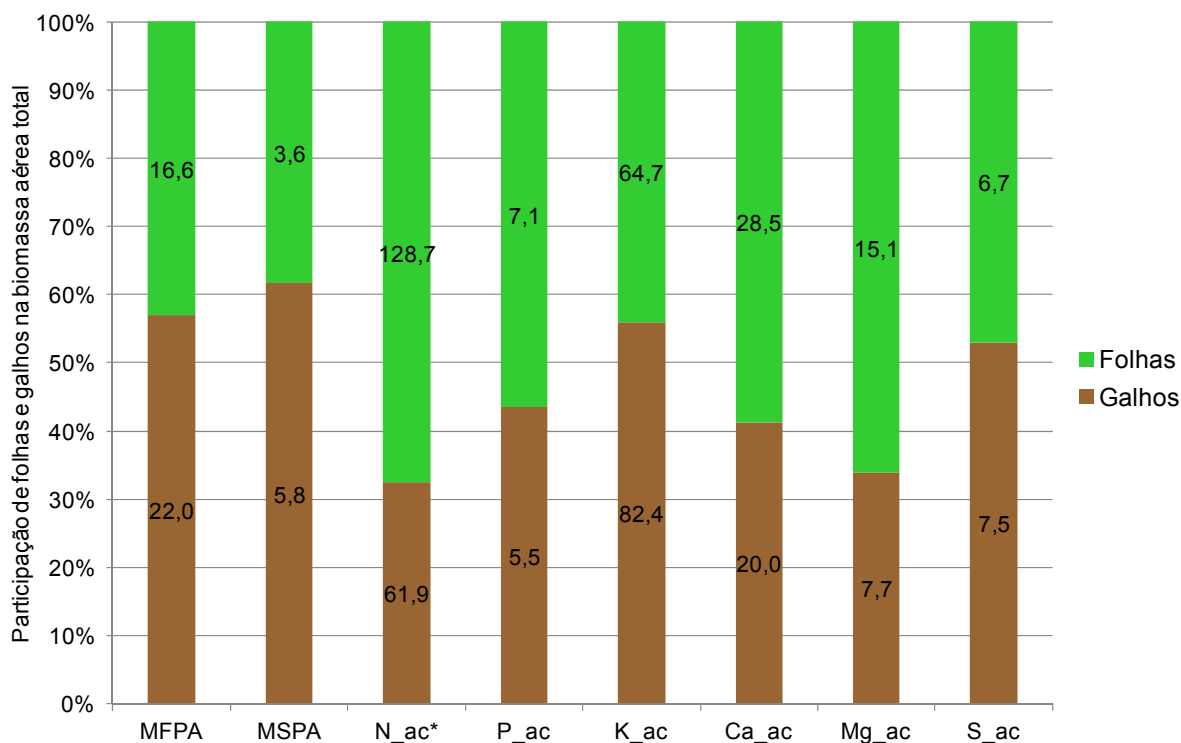
**Figura 13.** Interação entre tecnologias de mudas e doses de fósforo sobre o teor de enxofre na matéria seca da parte aérea retirada no quinto corte dos bancos de gliricídia e no quarto corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – janeiro de 2011. Barras verticais representam o erro padrão da média de seis repetições. Letras maiúsculas comparam as tecnologias de mudas dentro da dose de fósforo e letras minúsculas comparam as doses de fósforo dentro da tecnologia de mudas ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 18.** Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na biomassa aérea retirada no quinto corte dos bancos de gliricídia e no quarto corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – janeiro de 2011.

| Fator                       | Nível                        | Biomassa aérea         |                   |                   | Teor do nutriente na matéria seca da parte aérea |               |   |               |        |                   | Quantidade acumulada do nutriente na parte aérea |               |                   |                   |                   |               |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--|---------------|---|---------------|--------|-------------------|--|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
|                             |                              | MFT                    | MST               | PMST              | N  | P             | K   | Ca            | Mg     | S                 | N  | P             | K                 | Ca                | Mg                | S             |
|                             |                              | (Mg ha <sup>-1</sup> ) |                   | (%)               | (g kg <sup>-1</sup> )                            |               |   |               |        |                   | (kg ha <sup>-1</sup> )                           |               |                   |                   |                   |               |
| Espécie (Esp)               | Gliricídia                   | 38,6                   | 9,4               | 24,2              | 20,6   | 1,3           | 15,5  | 5,2           | 2,5    | 1,5               | 190,5  | 12,6          | 147,1             | 48,5              | 22,8              | 14,2          |
|                             | Leucena                      | 10,1                   | 3,0               | 29,8              | 24,1   | 1,8           | 16,2  | 6,0           | 2,7    | 2,4               | 71,4   | 5,3           | 49,2              | 18,1              | 7,9               | 7,2           |
| Dose de fósforo (Dose)      | 25 kg ha <sup>-1</sup> de P  | 23,3                   | 5,9               | 26,9              | 22,1   | 1,6           | 16,2  | 5,7           | 2,6    | 2,1               | 124,4  | 8,8           | 94,4              | 32,6              | 15,1              | 10,6          |
|                             | 100 kg ha <sup>-1</sup> de P | 25,4                   | 6,5               | 27,1              | 22,5   | 1,5           | 15,6  | 5,5           | 2,5    | 1,9               | 137,6  | 9,1           | 101,9             | 34,0              | 15,7              | 10,8          |
| Tecnologia de muda (Tec)    | Não-inoculada com FMAs       | 25,0                   | 6,4               | 26,9              | 22,1   | 1,6           | 15,8  | 5,5           | 2,6    | 2,0               | 133,8  | 9,7           | 101,8             | 34,4              | 16,4              | 11,3          |
|                             | Inoculada com FMAs           | 23,7                   | 6,0               | 27,1              | 22,5   | 1,5           | 16,0  | 5,7           | 2,5    | 1,9               | 128,2  | 8,2           | 94,5              | 32,2              | 14,4              | 10,1          |
| Erro padrão (Esp e Dose)    |                              | 2,803                  | 0,754             | 0,112             | 0,799  | 0,044         | 0,358                                       | 0,138         | 0,077  | 0,066             | 12,492   | 0,766         | 14,721            | 2,821             | 1,170             | 1,191         |
| Erro padrão (Tec)           |                              | 1,725                  | 0,482             | 0,353             | 0,531  | 0,072         | 0,463                                       | 0,184         | 0,108  | 0,060             | 8,496  | 0,903         | 9,249             | 2,869             | 1,441             | 0,925         |
| <b>Análise de variância</b> |                              |                        |                   |                   |  |               | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u> |               |        |                   |  |               |                   |                   |                   |               |
| Bloco                       |                              | 0,4362                 | 0,3698            | 0,1019            | 0,7667   | 0,4330        | 0,0576                                      | 0,6489        | 0,0888 | 0,3613            | 0,4029   | 0,2820        | 0,3012            | 0,2888            | 0,5237            | 0,5597        |
| Esp                         |                              | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0005</b>                                    | <b>0,0016</b> | 0,2860                                      | <b>0,0092</b> | 0,2039 | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b>                                | <b>0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0002</b> |
| Dose                        |                              | 0,4254                 | 0,3878            | 0,6555            | 0,6709   | 0,4764        | 0,3863                                      | 0,4878        | 0,5093 | 0,0736            | 0,2930   | 0,7975        | 0,5741            | 0,7311            | 0,7664            | 0,8934        |
| Tec                         |                              | 0,7724                 | 0,7542            | 0,2951            | 0,7745   | 0,1696        | 0,7354                                      | 0,5551        | 0,4468 | 0,4649            | 0,7837   | 0,3020        | 0,7565            | 0,6325            | 0,3504            | 0,5283        |
| Esp*Dose                    |                              | 0,7341                 | 0,8025            | 0,6637            | 0,8346   | 0,8129        | 0,9068                                      | 0,6541        | 0,8120 | 0,6891            | 0,7749   | 0,9115        | 0,8383            | 0,9646            | 0,9678            | 0,9133        |
| Esp*Tec                     |                              | 0,8345                 | 0,8593            | 0,7723            | 0,4418   | 0,6410        | 0,8375                                      | 0,1540        | 0,1036 | 0,5652            | 0,8692   | 0,8101        | 0,9193            | 0,8227            | 0,4501            | 0,8965        |
| Dose*Tec                    |                              | 0,3668                 | 0,2541            | 0,2967            | 0,3177   | 0,9130        | 0,3429                                      | 0,5573        | 0,7434 | <b>0,0484</b>     | 0,3635   | 0,4664        | 0,4784            | 0,4980            | 0,4695            | 0,6741        |
| Esp*Dose*Tec                |                              | 0,9660                 | 0,9943            | 0,9182            | 0,9491   | 0,5566        | 0,5727                                      | 0,5573        | 0,9092 | 0,5806            | 0,6665   | 0,7350        | 0,8167            | 0,7246            | 0,8834            | 0,6386        |

<sup>†</sup>Em negrito, estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.

No quinto corte, também foi realizada a avaliação da parte aérea da gliricídia separando-se folhas de galhos. Verificou-se que a quantidade de nutrientes acumulada nas folhas foi maior que nos galhos para N, P, Ca e Mg (**Figura 14**), embora os teores de todos os nutrientes tenham sido maiores na folha que no galho (**Tabela 19**). Isso ocorreu porque a massa de galhos foi significativamente superior a de folhas e os teores de K e S nos galhos foram próximos aos alcançados nas folhas.



**Figura 14.** Participação de folhas e galhos na matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e quantidade acumulada de nutrientes na parte aérea retirada no quinto corte da gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – janeiro de 2011. \*\_ac = quantidade acumulada do nutriente na matéria seca da parte aérea. Números dentro das barras são as médias de MFPA e MSPA (em Mg ha<sup>-1</sup>) e da quantidade acumulada do nutrientes (em kg ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 19.** Média ( $\pm$  erro padrão da média de 12 repetições) da proporção de matéria seca na massa fresca (PMS) e teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea retirada no quinto corte da gliricídia – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – janeiro de 2011.

| Parte da fitomassa aérea | PMS             | Teor do nutriente na matéria seca |                |                 |                |                |                |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
|                          |                 | N                                 | P              | K               | Ca             | Mg             | S              |
|                          | (%)             | (g kg <sup>-1</sup> )             |                |                 |                |                |                |
| Folhas                   | 21,5 $\pm$ 0,33 | 36,1 $\pm$ 0,43                   | 2,0 $\pm$ 0,05 | 17,9 $\pm$ 0,74 | 7,9 $\pm$ 0,25 | 4,2 $\pm$ 0,13 | 1,9 $\pm$ 0,04 |
| Galhos                   | 26,2 $\pm$ 0,23 | 10,9 $\pm$ 0,49                   | 1,0 $\pm$ 0,09 | 14,0 $\pm$ 0,69 | 3,5 $\pm$ 0,29 | 1,4 $\pm$ 0,14 | 1,3 $\pm$ 0,12 |

### 3.2.6 Sexto corte dos bancos de gliricídia e quinto dos bancos de leucena

A superioridade da gliricídia em relação à leucena foi verificada novamente em relação à produção de biomassa e acúmulo de nutrientes, exceto no acúmulo de S (**Tabela 20**). Os teores de Ca e Mg foram encontrados mais altos na gliricídia, enquanto os de N, P, K e S, na leucena.

Destaque deve ser dado à resposta das plantas ao acúmulo de nitrogênio na parte aérea, que foi mais alto com a dose mais alta de fósforo (**Tabela 20**). O acúmulo de nitrogênio na biomassa aérea é um dos atributos mais relevantes para produção do fertilizante de leguminosa (ALMEIDA, 2007). Esse resultado parece indicar que a dose de 25 kg ha<sup>-1</sup> de P, a partir do sexto corte, torna-se insuficiente para garantir o mesmo acúmulo de N proporcionado pela dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P.

No somatório de todos os cortes, foi exportado na biomassa da gliricídia e da leucena 57,0±3,44 e 31,3±2,33 kg ha<sup>-1</sup> de P, respectivamente, significando que foi removido mais P do experimento do que a quantidade de P-solúvel em ácido cítrico a 2% fornecida pela menor dose de fosfato de rocha (25 kg ha<sup>-1</sup> de P-solúvel). Entretanto, o fosfato de rocha aplicado continha 29% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dentro dos quais estavam os 9% solúveis em ácido cítrico. Em outras palavras, a dose de 25 kg ha<sup>-1</sup> de P-solúvel possuía 80,6 kg ha<sup>-1</sup> de P-total. Parte do P mais recalcitrante pode se tornar disponível, sobretudo pela ação acidificadora promovida pelas raízes das leguminosas fixadoras de N<sub>2</sub> (NYATSANGA & PIERRE, 1973; ISRAEL & JACKSON, 1982; JARVIS & HATCH, 1985; RAVEN et al., 1990; JESUS, 1993; TANG, 1998). Plantas inoculadas com micorrizas também são conhecidas como mais eficiente na absorção de P e outros nutrientes, conforme observado no experimento de mudas. Entretanto, pelo menos para o acúmulo de N, o uso da mudas inoculadas com FMAs foi menos relevante que o da dose de fósforo mais alta. Esse resultado é bastante compreensível tendo em vista que o solo em que o experimento foi implantado, certamente contém inúmeras estirpes de fungos micorrízicos arbusculares adaptadas às condições de clima e solo, que devem ter colonizado ou recolonizado as mudas que foram ali cultivadas, mascarando o efeito do uso de mudas inoculadas com os FMAs selecionados.

**Tabela 20.** Médias, erros padrão e resultados da análise de variância das variáveis: massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), percentual de MST na MFT (PMST) e teores e acúmulos de nutrientes na biomassa aérea retirada no sexto corte dos bancos de gliricídia e no quinto corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – maio de 2011.

| Fator                       | Nível                        | Biomassa aérea         |                   |                   | Teor do nutriente na matéria seca da parte aérea |                   |   |               |               |                   | Quantidade acumulada do nutriente na parte aérea |               |               |                   |                   |               |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|--|-------------------|---|---------------|---------------|-------------------|--|---------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|
|                             |                              | MFT                    | MST               | PMST              | N  | P                 | K   | Ca            | Mg            | S                 | N  | P             | K             | Ca                | Mg                | S             |
|                             |                              | (Mg ha <sup>-1</sup> ) | (%)               | (%)               | (g kg <sup>-1</sup> )                            |                   |   |               |               |                   | (kg ha <sup>-1</sup> )                           |               |               |                   |                   |               |
| Espécie (Esp)               | Gliricídia                   | 26,3                   | 6,0               | 22,9              | 21,4   | 1,3               | 13,0  | 7,6           | 3,2           | 1,4               | 128,6  | 7,9           | 80,5          | 45,0              | 19,2              | 8,5           |
|                             | Leucena                      | 10,3                   | 2,9               | 28,5              | 25,8   | 1,8               | 16,7  | 6,7           | 2,7           | 2,7               | 73,3   | 5,3           | 48,4          | 19,7              | 7,6               | 7,8           |
| Dose de fósforo (Dose)      | 25 kg ha <sup>-1</sup> de P  | 17,0                   | 4,1               | 25,6              | 23,5   | 1,6               | 15,0  | 7,3           | 3,0           | 2,1               | 92,3   | 6,2           | 59,9          | 30,8              | 12,5              | 17,0          |
|                             | 100 kg ha <sup>-1</sup> de P | 19,7                   | 4,9               | 25,8              | 23,8   | 1,5               | 14,6  | 7,0           | 2,9           | 2,0               | 109,5  | 7,0           | 69,0          | 33,8              | 14,2              | 19,7          |
| Tecnologia de muda (Tec)    | Não-inoculada com FMAs       | 18,5                   | 4,6               | 25,9              | 23,5   | 1,6               | 14,6  | 7,2           | 3,1           | 2,1               | 102,2  | 6,6           | 64,6          | 32,8              | 14,0              | 8,4           |
|                             | Inoculada com FMAs           | 18,2                   | 4,4               | 25,5              | 23,7   | 1,6               | 15,0  | 7,1           | 2,9           | 2,0               | 99,6   | 6,6           | 64,3          | 31,8              | 12,7              | 8,0           |
| Erro padrão (Esp e Dose)    |                              | 1,181                  | 0,278             | 0,303             | 0,212  | 0,036             | 0,419                                       | 0,057         | 0,075         | 0,082             | 5,637  | 0,433         | 1,980         | 2,238             | 1,217             | 0,270         |
| Erro padrão (Tec)           |                              | 1,125                  | 0,280             | 0,354             | 0,660  | 0,049             | 0,872                                       | 0,197         | 0,107         | 0,074             | 5,435  | 0,442         | 6,059         | 1,692             | 0,747             | 0,424         |
| <b>Análise de variância</b> |                              |                        |                   |                   |  |                   | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u> |               |               |                   |  |               |               |                   |                   |               |
| Bloco                       |                              | 0,1142                 | 0,1026            | 0,1194            | <b>0,0120</b>                                    | 0,2500            | 0,1192                                      | <b>0,0144</b> | <b>0,0469</b> | 0,5698            | 0,1429   | 0,0804        | <b>0,0093</b> | 0,2472            | 0,6461            | <b>0,0286</b> |
| Esp                         |                              | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0005</b>                                    | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0115</b>                               | <b>0,0113</b> | <b>0,0026</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b>                                | <b>0,0015</b> | <b>0,0028</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | 0,2693        |
| Dose                        |                              | 0,1098                 | 0,0897            | 0,7849            | 0,7935   | 0,4148            | 0,7461                                      | 0,2128        | 0,6299        | 0,3224            | <b>0,0444</b>                                    | 0,2284        | 0,3104        | 0,2301            | 0,1519            | 0,1622        |
| Tec                         |                              | 0,8986                 | 0,6990            | 0,5062            | 0,5740   | 0,8845            | 0,5914                                      | 0,3394        | 0,2134        | 0,6667            | 0,7762   | 0,9173        | 0,9115        | 0,7915            | 0,5319            | 0,4414        |
| Esp*Dose                    |                              | 0,6507                 | 0,7412            | 0,7593            | 0,9304   | 0,2988            | 0,4833                                      | 0,2780        | 0,9571        | 0,1213            | 0,6179   | 0,3768        | 0,5736        | 0,3351            | 0,7876            | 0,1449        |
| Esp*Tec                     |                              | 0,2041                 | 0,1819            | 0,7322            | 0,2757   | 0,7236            | 0,5761                                      | 0,9533        | 0,4260        | 0,5886            | 0,2001   | 0,2027        | 0,1329        | 0,2276            | 0,4716            | 0,1280        |
| Dose*Tec                    |                              | 0,3116                 | 0,3213            | 0,5786            | 0,5554   | 0,9059            | 0,9947                                      | 0,3873        | 0,4888        | 0,5886            | 0,1737   | 0,5350        | 0,5639        | 0,5831            | 0,4752            | 0,4381        |
| Esp*Dose*Tec                |                              | 0,9882                 | 0,8874            | 0,6374            | 0,2829   | 0,5575            | 0,8790                                      | 0,6409        | 0,8718        | 0,9380            | 0,8435   | 0,9425        | 0,8747        | 0,5841            | 0,5178            | 0,3440        |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.

### 3.2.7 Comparação entre blocos

Aproveitando a oportunidade de os blocos terem níveis de fertilidade crescentes do Bloco 1 para o Bloco 3 (**Tabela 9**), foi realizada tabulação com as variáveis que apresentaram efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para bloco, em algum dos cortes realizados (**Tabela 21**). Apesar de não ter sido detectado efeito de bloco para produtividade de matéria seca da em nenhum dos cortes, verificou-se que o bloco mais fértil, o Bloco 1, tendeu a proporcionar os maiores teores de P, K e S na parte aérea cortada.

Vale ressaltar que a diferença de fertilidade era inicial. Os blocos receberam quantidades consideráveis de calcário, fosfato de rocha, micronutrientes e sulfato de potássio, como fontes de P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes. A aplicação de calcário foi diferenciada para cada bloco, pois foi estipulada para aumentar o V% do solo para 80%. Desse modo o Bloco 1 recebeu menos calcário que o Bloco 2 que por ventura recebeu menos calcário que o bloco 3 (1,3; 2,7 e 3,4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, respectivamente), de modo a minimizar a diferença entre blocos com respeito aos teores de Ca e Mg no solo. Entretanto, o Bloco 1 continuou a ter mais P, K e certamente mais S e micronutrientes que os demais blocos.

Os menores teores de Mg no 4º corte e de Ca no 6º corte, no Bloco 1, podem ter sido proporcionadas pela competição iônica com o cátion K<sup>+</sup>, existente em maior proporção (**Tabela 9**) e absorvido em maior quantidade nesse bloco.

**Tabela 21.** Média dos blocos das variáveis que apresentaram efeito de bloco nas análises de variância ao longo dos seis cortes da gliricídia e dos cinco cortes da leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009 a maio de 2011.

| Bloco                    | 1º corte da gliricídia e da leucena | 2º corte da gliricídia | 3º corte da gliricídia e 2º da leucena |                       | 4º corte da gliricídia e 3º da leucena |        |        |                        |        |        | 6º corte              |        |                        |        |        |        |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------|--|-----------------------|--|--------|--------|------------------------|--------|--------|-----------------------|--------|------------------------|--------|--------|--------|
|                          | K_ac <sup>‡</sup>                   |                        | S_ac                                   | N <sup>•</sup>        | P                                      | K      | Mg     | K_ac                   | P_ac   | S_ac   | N                     | Ca     | Mg                     | K_ac   | S_ac   |        |
|                          | (kg ha <sup>-1</sup> )              |                        |  | (g kg <sup>-1</sup> ) |  |        |        | (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        | (g kg <sup>-1</sup> ) |        | (kg ha <sup>-1</sup> ) |        |        |        |
| Bloco 1                  | 33,3a*                              | 193,9a                 | 181,5a                                 | 17,6a                 | 30,4b                                  | 2,0a   | 22,5a  | 2,5b                   | 66,5a  | 5,9a   | 7,0a                  | 21,9b  | 6,6c                   | 2,5b   | 92,7a  | 10,3a  |
| Bloco 2                  | 26,3b                               | 136,2b                 | 133,8b                                 | 15,0b                 | 29,1c                                  | 1,8b   | 17,1b  | 3,5a                   | 38,6b  | 4,0b   | 5,5b                  | 22,7b  | 7,7a                   | 3,2a   | 55,7b  | 7,8b   |
| Bloco 3                  | 20,9c                               | 128,0b                 | 132,8b                                 | 14,5b                 | 32,0a                                  | 1,8b   | 17,6b  | 3,4a                   | 38,9b  | 4,0b   | 5,3b                  | 26,3a  | 7,2b                   | 3,2a   | 45,0b  | 6,5b   |
| Erro padrão <sup>†</sup> | 0,5235                              | 8,0666                 | 4,2063                                 | 0,2838                | 0,1252                                 | 0,0260 | 0,3003 | 0,0832                 | 1,0532 | 0,1694 | 0,1899                | 0,2601 | 0,0696                 | 0,0921 | 2,4249 | 0,3313 |

<sup>†</sup>Erro padrão da média de oito repetições para todas as variáveis, exceto para K\_ac do 2º corte da gliricídia, que teve quatro repetições. \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade. <sup>‡</sup>\_ac = quantidade acumulada do nutriente na parte aérea. <sup>•</sup>Elementos não seguidos por \_ac são os teores do nutriente na matéria seca da parte aérea.

### 3.2.8 Produtividade de biomassa seca da parte aérea e exportação anual de nutrientes

Excluindo o primeiro corte, mas considerando o intervalo de dias entre o primeiro e o sexto corte das leguminosas (644 dias para gliricídia e 621 dias para leucena) foi estimada a produtividade anual de matéria seca e exportação anual de nutrientes (**Tabela 22**).

**Tabela 22.** Médias e resultados da análise de variância da produtividade anual de matéria seca da parte aérea e da quantidade anual de nutrientes exportados na parte aérea cortada e removida dos bancos de gliricídia e leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009 a maio de 2011.

| Espécie de leguminosa       | Produtividade anual de matéria seca da parte aérea<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) | Exportação anual de nutrientes<br>(kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) |                   |                   |                   |                   |                   |
|-----------------------------|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                             |  | N  | P                 | K                 | Ca                | Mg                | S                 |
| Gliricídia                  | 20,1   | 435,8  | 30,1              | 346,7             | 127,5             | 60,2              | 32,6              |
| Leucena                     | 9,0  | 194,1  | 16,8              | 154,4             | 53,0              | 21,8              | 21,6              |
| Erro padrão (n = 12)        | 0,72   | 11,72  | 1,32              | 16,24             | 4,45              | 1,88              | 1,07              |
| <b>Análise de variância</b> |  | <b>Significância do teste F<sup>†</sup></b>                                |                   |                   |                   |                   |                   |
| Espécie de leguminosa       | <b>&lt;0,0001</b>  | <b>&lt;0,0001</b>  | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> |
| Dose de fósforo             | 0,1650   | 0,0851   | 0,4900            | 0,3790            | 0,7287            | 0,5093            | 0,5201            |
| Tecnologia de mudas         | 0,6147   | 0,7887   | 0,5602            | 0,8463            | 0,7186            | 0,5469            | 0,5430            |
| Esp*Dose                    | 0,8437   | 0,3681   | 0,9371            | 0,6532            | 0,8259            | 0,8800            | 0,7507            |
| Esp*Tec                     | 0,8122   | 0,7928   | 0,5964            | 0,6965            | 0,8632            | 0,7847            | 0,5376            |
| Dose*Tec                    | 0,1612   | 0,2553   | 0,1065            | 0,1341            | 0,2363            | 0,5101            | 0,1253            |
| Esp*Dose*Tec                | 0,7328   | 0,5451   | 0,9803            | 0,8858            | 0,7215            | 0,6370            | 0,5279            |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.

A **Tabela 22** mostra que os bancos de gliricídia possuíram produtividade de matéria seca da parte aérea e exportação anual de nutrientes muito maiores que as dos bancos de leucena, não havendo efeito das doses de fósforo nem do uso de mudas micorrizadas. A produtividade de matéria seca da gliricídia foi 122% maior que a da leucena, a quantidade exportada de N, 125% maior; a de P, 80% maior; a de K, 125% maior; a de Ca, 141% maior; a de Mg, 177% maior e a de S, 51% maior.



### 3.2.9 Teores médios anuais de nutrientes

A **Tabela 23** apresenta o teor médio anual dos nutrientes na matéria seca da parte aérea dos bancos de gliricídia e leucena. Os maiores teores de P e S ocorreram na leucena, enquanto os maiores teores de Ca e Mg ocorreram na gliricídia. Os teores médios de N e de K não diferiram entre as espécies de leguminosas, nem foram influenciados significativamente pelas doses de fósforo e tecnologias de mudas. Apenas os teores de Ca e S foram influenciados pela dose de fósforo, sendo encontrados mais altos na menor dose de fósforo.

**Tabela 23.** Teor médio anual dos nutrientes na matéria seca da parte aérea cortada e removida dos bancos de gliricídia e leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – agosto de 2009 a maio de 2011.

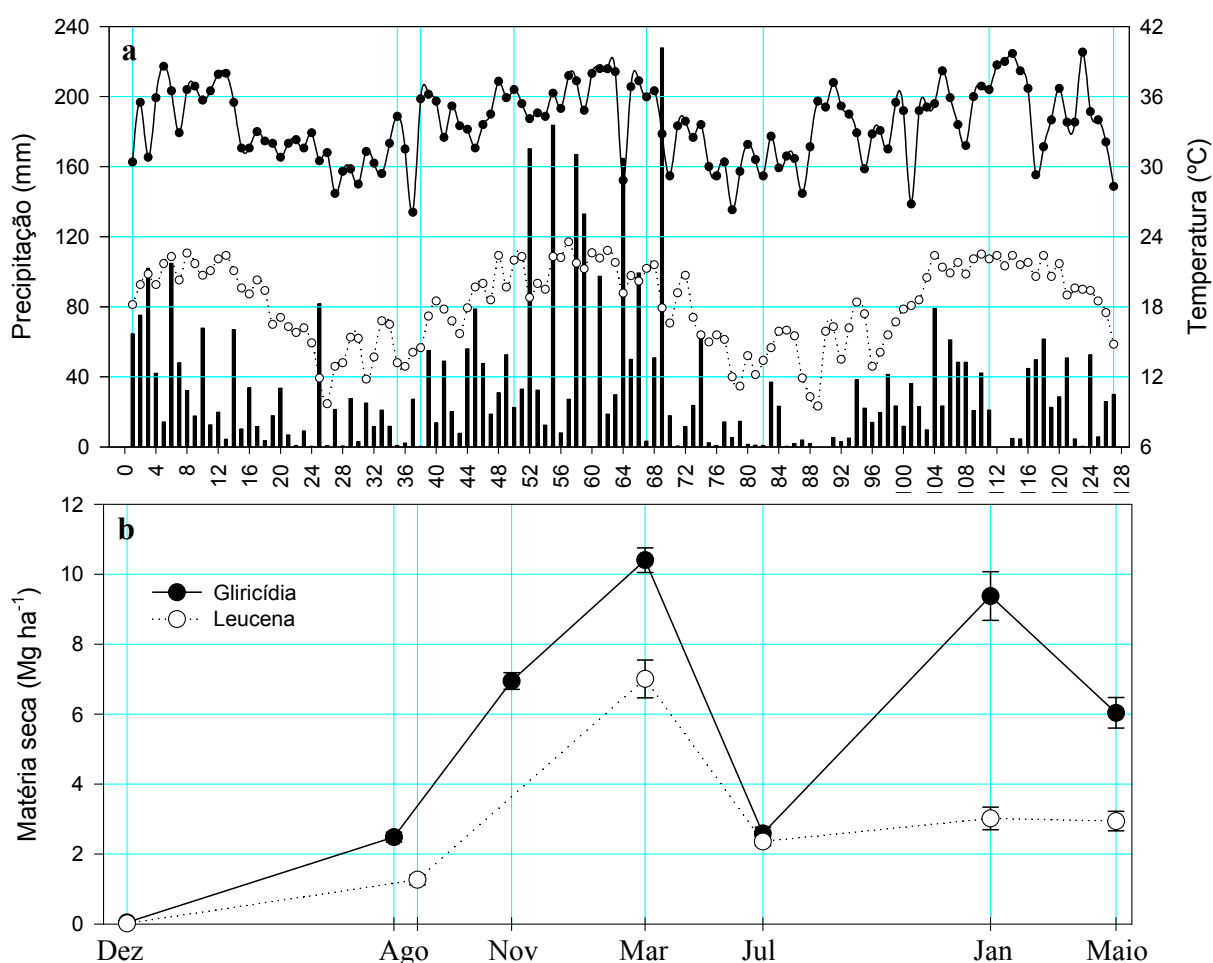
| Fator                       | Nível      | Teor médio anual dos nutrientes           |                   |        |               |               |                   |
|-----------------------------|------------|---|-------------------|--------|---------------|---------------|-------------------|
|                             |            | N   | P                 | K      | Ca            | Mg            | S                 |
|                             |            | (g kg <sup>-1</sup> )                     |                   |        |               |               |                   |
| Espécie de leguminosa       | Gliricídia | 21,8                                      | 1,5               | 17,1   | 6,4           | 3,0           | 1,6               |
|                             | Leucena    | 21,8                                      | 1,9               | 17,1   | 5,9           | 2,5           | 2,4               |
| Dose de fósforo             | 25         | 21,9                                      | 1,7               | 17,4   | 6,3           | 2,8           | 2,1               |
|                             | 100        | 21,7                                      | 1,6               | 16,8   | 5,9           | 2,7           | 1,9               |
| Erro padrão (n = 12)        |            | 0,43                                      | 0,04              | 0,45   | 0,13          | 0,08          | 0,04              |
| <b>Análise de variância</b> |            | <u>Significância do teste<sup>†</sup></u> |                   |        |               |               |                   |
| Espécie de leguminosa       |            | 0,9148                                    | <b>&lt;0,0001</b> | 0,9705 | <b>0,0192</b> | <b>0,0002</b> | <b>&lt;0,0001</b> |
| Dose de fósforo             |            | 0,7069                                    | 0,1260            | 0,3928 | <b>0,0490</b> | 0,1702        | <b>0,0084</b>     |
| Tecnologia de mudas         |            | 0,6842                                    | 0,7731            | 0,2805 | 0,8819        | 0,3220        | 0,9835            |
| Esp*Dose                    |            | 0,1580                                    | 0,4984            | 0,4247 | 0,7371        | 0,8245        | 0,0709            |
| Esp*Tec                     |            | 0,7003                                    | 0,4322            | 0,6146 | 0,7969        | 0,5532        | 0,5815            |
| Dose*Tec                    |            | 0,1500                                    | 0,5619            | 0,6070 | 0,8872        | 0,2965        | 0,2470            |
| Esp*Dose*Tec                |            | 0,5766                                    | 0,5328            | 0,5678 | 0,8482        | 0,8668        | 0,3447            |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos ( $P < 0,05$ ) na análise de variância.

Não há razão especial para o incremento de Ca com a menor dose de fósforo, pelo contrário, era esperada maior concentração de Ca com aumento da dose de fósforo, já que a fonte usada (fosfato natural) contém considerável quantidade de Ca (35%). Uma explicação plausível seria um efeito de diluição promovido pelo incremento da matéria seca na dose mais alta de P, contudo essa hipótese é questionável já que o efeito da dose de fósforo sobre a média anual da biomassa seca não foi significativo ( $P = 0,1650$ ). O teor de S deve ter sofrido o mesmo efeito de diluição do Ca, mas também pode estar relacionado à competição entre ânions no solo, sobretudo entre  $H_2PO_4^-$  e  $SO_4^{2-}$ , sendo mais favorável ao P, sob a dose de fosfato mais alta.

### 3.2.10 Influência da precipitação e temperatura sobre produtividade, percentual de matéria seca e teores e acúmulos de nutrientes na matéria seca da parte aérea dos bancos de gliricídia e de leucena

Ao se comparar a série histórica de dados climáticos (precipitação e temperatura) com a produção de matéria seca do transplântio das mudas ao último corte dos bancos de leguminosas é possível verificar que tanto a gliricídia como a leucena são marcadamente afetadas pelas condições climáticas, sobretudo pelo regime de chuvas (**Figura 15**).



**Figura 15.** Precipitação semanal acumulada e temperaturas semanais máximas e mínimas (a) e matéria seca da parte aérea (b) do transplântio das mudas ao sexto corte dos bancos de gliricídia e quinto corte dos bancos de leucena – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – dezembro de 2008 a maio de 2011.

Em outubro/novembro de 2010 estava previsto corte dos bancos de leguminosas, mas não foi realizado devido ao baixo porte das plantas, em decorrência da pouca chuva que caiu nos meses de anteriores (**Figura 15**). Para se ter uma ideia, da semana 75 a semana 93 (13.05.2010 a 22.09.2010) a quantidade de chuva acumulada foi de 123 mm, o que representa menos de 1,0 mm de chuva por dia. No mesmo período do ano anterior, semanas 23 a 41, a quantidade acumulada de chuva foi de 362,6 mm. Apesar do período seco normalmente coincidir com a época de temperaturas mais baixas do ano, por essa análise foi possível distinguir que a deficiência de precipitação foi a principal limitadora de produtividade dos

bancos de leguminosas. Esses resultados corroboram com o trabalho de Fagbola et al. (2001) que atestaram que, embora a gliricídia e de a leucena sejam tolerantes a seca, a produtividade dessas culturas é dramaticamente afetada pelo déficit hídrico. Nesse sentido, o fornecimento de água via irrigação pelo menos nas épocas mais secas do ano, certamente promoveria aumentos significativos da produtividade das culturas.

O percentual de sobrevivência das mudas de gliricídia e leucena foi de 100%, atestando que implantação de bancos dessas leguminosas por intermédio de mudas produzidas em bandeja de isopor com substrato produzido no próprio local é uma estratégia eficaz. Pela **Figura 15** é possível observar que nos primeiros meses após o transplântio, a precipitação ocorreu por todas as semanas em quantidade suficiente para assegurar bom estabelecimento dos bancos de leguminosas, possibilitando-lhes sobreviver aos períodos secos e ao regime de podas ocorridas ao longo da condução do experimento.

### 3.2.11 Evolução do volume e densidade da madeira nos troncos remanescentes no campo

Os bancos de gliricídia e leucena foram sendo cortados a 1,2 m de altura, deixando um considerável volume de madeira no campo (**Tabela 24**). Com o passar do tempo, esse volume foi aumentando, devido ao aumento do diâmetro do caule (basal e superior), mas não pelo aumento do número de bifurcações das plantas, que diminuiu ao longo do tempo.

Os bancos de gliricídia apresentaram na primeira avaliação grande número de bifurcações, em boa parte, estimuladas pelo ataque do pulgão (*Aphis craccivora*), algumas semanas após o transplântio. Esse ataque incidiu sobre a gema apical, promovendo quebra da dominância apical e conseqüente estímulo das brotações laterais da planta. O ataque desses insetos sugadores foi logo controlado de forma natural, sobretudo, por joaninhas predadoras da espécie *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae) e pelas chuvas (**Figura 15**). Vale ressaltar que o Sistema Integrado de Produção Agroecológica é um projeto que ocorre desde 1993, possuindo um excelente equilíbrio entre pragas e inimigos naturais (ALMEIDA et al., 2003). Ao longo da condução do experimento, o ataque desse pulgão foi percebido esporadicamente, em uma ou outra planta, dentre as 1.056 gliricídias do experimento, significando que os bancos de gliricídia estavam equilibrados nutricionalmente, desfavorecendo o aumento da população de pulgões (CHABOUSSOU, 1999), e/ou controle biológico de pragas foi eficaz.

A diminuição do número de bifurcações ao longo do tempo decorreu do autossombreamento das plantas, que ocasionou supressão das brotações mais baixas e menos vigorosas pelas mais altas e vigorosas. Essa competição intraespecífica teve como lado positivo o aporte de matéria orgânica (galhos e folhas das próprias leguminosas) ao solo, ocorrendo também o aporte da biomassa de plantas espontâneas crescidas na linha ou entrelinhas dos bancos de leguminosas. Após o corte dos bancos de leguminosas, a comunidade de plantas espontâneas disparava a crescer, todavia, esse crescimento era paulatinamente suprimido à medida que os bancos de leguminosas se fechavam, a chegar ao ponto das plantas espontâneas secarem e morrer. Este ciclo das plantas espontâneas além de auxiliar na proteção e fornecimento de matéria orgânica ao solo, auxilia a reciclar e conservar os nutrientes na camada superficial do solo.

A leucena praticamente não apresentou bifurcações abaixo dos 30 cm (**Tabela 24**). Em geral, quando ocorreram, foram próximas ao ápice, apresentando galhos finos e de pequena extensão. A única variável em que as médias foram encontradas mais altas nos bancos de leucena, comparativamente aos bancos de gliricídia, foi a densidade aparente da madeira.

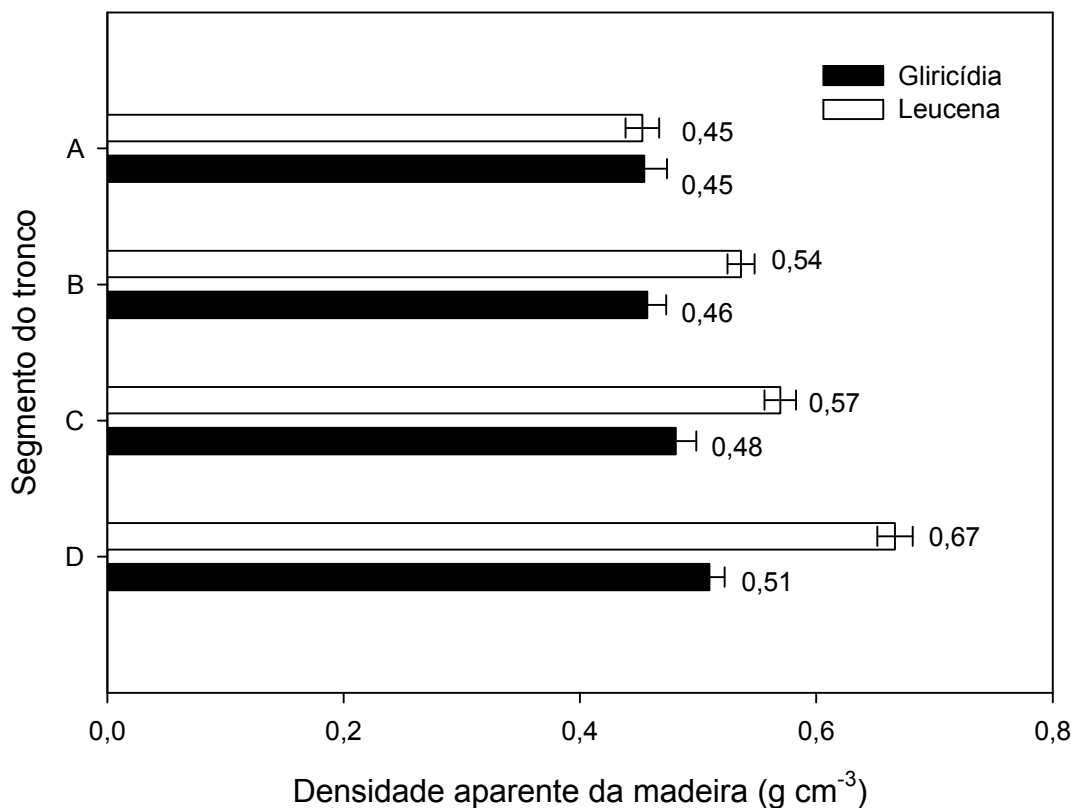
O incremento relativo de volume de ambas as leguminosas foi maior no período 0,9-1,5 anos que no período subsequente (1,5-2,5 anos). Esse incremento foi da ordem de 71,7% ( $12,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) para a gliricídia e de 339,7% ( $10,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) para a leucena no primeiro período e de 36,2% ( $10,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) e 36,6% ( $5,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), para as respectivas espécies no período subsequente. Vale destacar que no período 0,9-1,5 anos a leucena foi poupada de um corte, com o objetivo de melhorar seu crescimento. Nesse sentido, parece que o primeiro corte da leucena deveria ser realizado mais tardiamente. Todavia, em virtude do aumento da densidade média da madeira, a quantidade acumulada de madeira no último ano de avaliação, período 1,5-2,5 anos, foi da ordem de 126,9% ( $11,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) para a gliricídia e de 111,6% ( $5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) para a leucena.

**Tabela 24.** Média ( $\pm$ erro padrão da média de 12 repetições) das variáveis: volume de madeira, diâmetro da base, diâmetro do ápice, quantidade de bifurcações, densidade aparente da madeira, matéria seca da madeira e quantidade equivalente de  $\text{CO}_2$  removido da atmosfera nos troncos remanescentes no campo dos bancos de gliricídia e leucena abaixo da altura de corte – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – outubro de 2009 a junho de 2011.

| Espécie de leguminosa  | Anos após o transplântio das mudas |                  |                                     |
|--|------------------------------------|------------------|-------------------------------------|
|  | 0,9                                | 1,5              | 2,5                                 |
| <u>Volume de madeira (<math>\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}</math>)</u>   |                                    |                  |                                     |
| Gliricídia   | 17,4 $\pm$ 0,70                    | 29,9 $\pm$ 1,14  | 40,8 $\pm$ 1,81 (31,0 $\pm$ 1,28)*  |
| Leucena  | 3,1 $\pm$ 0,19                     | 13,7 $\pm$ 0,55  | 18,7 $\pm$ 1,00 (15,4 $\pm$ 0,71)   |
| <u>Diâmetro da base (<math>\text{mm planta}^{-1}</math>)</u>   |                                    |                  |                                     |
| Gliricídia   | 27,2 $\pm$ 0,62                    | 32,9 $\pm$ 0,66  | 34,8 $\pm$ 0,82                     |
| Leucena  | 17,2 $\pm$ 0,38                    | 27,1 $\pm$ 0,45  | 29,7 $\pm$ 0,59                     |
| <u>Diâmetro do ápice (<math>\text{mm planta}^{-1}</math>)</u>  |                                    |                  |                                     |
| Gliricídia   | 14,2 $\pm$ 0,31                    | 23,7 $\pm$ 0,39  | 29,1 $\pm$ 0,67                     |
| Leucena  | 10,0 $\pm$ 0,43                    | 20,2 $\pm$ 0,44  | 22,9 $\pm$ 0,61                     |
| <u>Quantidade de bifurcações abaixo dos 30 cm de altura (1.000 ápices <math>\text{ha}^{-1}</math>)</u>                         |                                    |                  |                                     |
| Gliricídia   | 55,4 $\pm$ 2,13                    | 42,7 $\pm$ 1,78  | 35,0 $\pm$ 1,44                     |
| Leucena  | 25,4 $\pm$ 0,28                    | 25,4 $\pm$ 0,42  | 25,0 $\pm$ 0,00                     |
| <u>Densidade aparente da madeira (<math>\text{g cm}^{-3}</math>)</u>   |                                    |                  |                                     |
| Gliricídia   | -                                  | 0,31 $\pm$ 0,012 | 0,52 $\pm$ 0,030 (0,48 $\pm$ 0,017) |
| Leucena  | -                                  | 0,38 $\pm$ 0,009 | 0,58 $\pm$ 0,025 (0,56 $\pm$ 0,013) |
| <u>Matéria seca da madeira (<math>\text{Mg ha}^{-1}</math>)</u>  |                                    |                  |                                     |
| Gliricídia   | -                                  | 9,3 $\pm$ 0,36   | 21,1 $\pm$ 0,95 (14,8 $\pm$ 0,61)   |
| Leucena  | -                                  | 5,1 $\pm$ 0,21   | 10,9 $\pm$ 0,62 (8,6 $\pm$ 0,40)    |
| <u><math>\text{CO}_2</math> removido da atmosfera (<math>\text{Mg ha}^{-1}</math> de <math>\text{CO}_2</math>)<sup>†</sup></u> |                                    |                  |                                     |
| Gliricídia   | -                                  | 17,1 $\pm$ 0,65  | 38,7 $\pm$ 1,74 (27,1 $\pm$ 1,12)   |
| Leucena  | -                                  | 9,4 $\pm$ 0,38   | 20,0 $\pm$ 1,13 (15,8 $\pm$ 0,73)   |

\*Números entre parênteses são a média $\pm$ erro padrão dos troncos sem a calosidade apical provocada pelos cortes (cabeça). <sup>†</sup> $\text{CO}_2$  removido = matéria seca da madeira x 0,5 x 44/12. Onde: 0,5 = teor de C; 44 = massa atômica do  $\text{CO}_2$  e 12 = massa atômica do C.

A densidade de madeira ao longo do tronco das leguminosas, também varia, sendo mais alta na proximidade da base (**Figura 16**). Apenas no segmento mais próximo ao ápice a densidade da madeira da gliricídia foi comparável à da leucena.



**Figura 16.** Densidade aparente dos segmentos do tronco remanescente no campo no sentido ápice (A) - base (D) – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – jun. 2011.

Atributos mensurados na calosidade apical provocada pelos cortes (cabeça) foram organizados na **Tabela 25**. Todos os atributos avaliados incluindo a densidade aparente da madeira foram encontrados mais altos nos banco de gliricídia, provavelmente pelo maior número de cortes a 1,2 m de altura, realizados na gliricídia (6 cortes), comparativamente à leucena (4 cortes).

**Tabela 25.** Média ( $\pm$ erro padrão da média de seis repetições) do volume, matéria seca, densidade aparente da madeira e quantidade equivalente de CO<sub>2</sub> removido da atmosfera na calosidade apical provocada pelos cortes (cabeça) em função da espécie de leguminosa arbórea utilizada no banco – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica, RJ – jun. 2011.

| Espécie de leguminosa | Volume                             | Matéria seca           | Densidade             | CO <sub>2</sub> removido |
|-----------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                       | (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | (Mg ha <sup>-1</sup> ) | (g cm <sup>-3</sup> ) | (Mg ha <sup>-1</sup> )   |
| Gliricídia            | 9,9 ± 0,88                         | 4,9 ± 0,49             | 0,50 ± 0,014          | 9,0 ± 0,91               |
| Leucena               | 3,3 ± 0,26                         | 1,4 ± 0,05             | 0,43 ± 0,016          | 2,6 ± 0,10               |

A madeira remanescente abaixo da altura de corte dos bancos de leguminosas representa um reservatório de CO<sub>2</sub> fixado no campo, podendo desempenhar um importante papel na mitigação desse gás de efeito estufa. Contudo, trata-se de reservatório de curto ou médio prazo, pois não há garantia de que o CO<sub>2</sub> capturado fique retido na biomassa por longos períodos de tempo. Por outro lado, a recepa parcial ou total do tronco das leguminosas poderia ser utilizada para produção de energia (lenha, carvão, pellets ou briquetes) ou na laminados, móveis ou outros usos. Pensando-se em energia, há o viés da substituição de combustíveis fósseis, podendo resultar em balanço favorável na mitigação de gases de efeito estufa (GEEs), além da substituição de um recurso não-renovável por um renovável, conferindo maior sustentabilidade para o setor energético. Em se pensando na produção de objetos, o potencial de mitigação de GEEs é maior, devido à efetiva remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera por um período mais prolongado.

No âmbito da mitigação GEEs é interessante ressaltar que a combustão de biomassa rica em N pode promover balanço desfavorável de CO<sub>2</sub> equivalente emitido/mitigado, principalmente devido à formação de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que é um gás com cerca de 300 vezes o poder estufa do CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007b). Por isso não é aconselhável a queima das folhas das leguminosas (JENSEN et al., 2011). Entretanto, a madeira com o passar dos anos, devido à morte das células antigas e à lignificação dos tecidos do tronco – lignina não contém N (C<sub>9</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>, C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>3</sub>, C<sub>11</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) (WIKIPÉDIA, 2012) –, terá maior densidade e teores reduzidos de N, aumentando seu potencial de mitigação de GEEs, mesmo com a realização de sua queima. Nesse sentido, pode-se pensar em venda de créditos de carbono ou até mesmo em atividades de projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), estratégias que ajudariam a abater os custos de implantação e manejo dos bancos de leguminosas destinados à produção de fertilizantes.

## 4 CONCLUSÕES

1. O uso do inóculo-solo de fungos micorrízicos arbusculares composto por *Scutellospora heterogama* e *Glomus clarum* é benéfico à produção de mudas de gliricídia e leucena em bandeja de isopor de 72 células, por proporcionar maior acúmulo de matéria seca e de nutrientes (N, P, Ca e Mg) na parte aérea das mudas. Entretanto, a inoculação com os FMAs não interfere nos teores dos macronutrientes na matéria seca da parte aérea das mudas de ambas as espécies.
2. As mudas de gliricídia apresentam melhor desempenho que as mudas de leucena produzidas nas bandejas de isopor de 72 células, apresentando maior produção de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea.
3. Os teores de N, P, K, Ca e S na matéria seca da parte aérea das mudas de leucena são encontrados mais altos que nas mudas de gliricídia, enquanto o teor de Mg é encontrado mais alto nas mudas de gliricídia.
4. O percentual de sobrevivência das mudas de gliricídia e leucena no campo é de 100%.
5. Os bancos implantados com mudas de leucena apresentam crescimento mais lento do que os bancos de gliricídia, sendo necessário mais capinas até seu eficaz fechamento.
6. Não houve vantagem comparativa do uso das mudas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em relação àquelas não-inoculadas com respeito ao estabelecimento, à produtividade de matéria seca da parte aérea destinadas à produção dos fertilizantes de leguminosas e ao acúmulo de madeira nos troncos remanescentes no campo, abaixo da altura de corte.
7. A dose de 25 kg ha<sup>-1</sup> de P-solúvel em ácido cítrico a 2% de fosfato de rocha da Argélia foi suficiente para garantir o estabelecimento e o mesmo nível de produtividade de matéria seca da parte aérea que a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P, ao longo de seis cortes da gliricídia e cinco cortes da leucena.
8. Apesar de a gliricídia e a leucena serem tolerantes a seca, a produtividade dessas leguminosas é fortemente influenciada pela restrição hídrica, afetando marcadamente o regime de podas em sistema dependente de chuvas.
9. Os bancos de gliricídia são muito mais produtivos que os de leucena, tanto na produção de biomassa aérea como no acúmulo de madeira nos troncos remanescentes no campo, abaixo da altura de corte.
10. Os bancos de gliricídia e leucena destinados à produção dos fertilizantes de leguminosas acumulam volume e quantidade de madeira consideráveis nos troncos remanescentes no campo. Essa madeira poderia ser utilizada para produção de energia (lenha, carvão, pellets ou briquetes), laminados, móveis ou outros usos. Além disso, representa um reservatório de CO<sub>2</sub> removido da atmosfera, podendo desempenhar um importante papel na mitigação desse gás de efeito estufa.

## **CAPÍTULO II**

### **FERTILIZANTES DE GLIRICÍDIA COMO FONTES ALTERNATIVAS À UREIA PARA PROVISÃO DE NITROGÊNIO À CULTURA DO MILHO**



## RESUMO

O milho (*Zea mays*) é o grão mais produzido do mundo e a cultura que mais demanda fertilizantes nitrogenados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de adubações com dois fertilizantes de gliricídia (*Gliricidia sepium*), um derivado de folhas e galhos (Fertgli-1) e outro apenas de folhas (Fertgli-2), comparativamente à ureia, em prover nitrogênio (N) à cultura do milho, assim como os impactos dessas adubações sobre atributos de qualidade do solo. O delineamento experimental consistiu de blocos casualizados com quatro repetições em arranjo fatorial 2 x 4 + 2. Os fatores foram duas fontes de N (Ureia e Fertgli-1) e quatro níveis de adubação nitrogenada, sendo a Ureia dosada em 84, 168, 252 e 336 kg ha<sup>-1</sup> de N e o Fertgli-1 por essas doses divididas por 0,7. Os tratamentos adicionais consistiram da aplicação de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N-Fertgli-2 (dose = 168/0,7) e do tratamento controle (ausência de adubação nitrogenada). A fim de equalizar o efeito de macro e micronutrientes no experimento, deixando-se N como o principal nutriente limitante, todos os tratamentos receberam doses elevadas de termofosfato sílico-magnésiano (120 kg ha<sup>-1</sup> de P), como fonte de P, Ca, Mg e micronutrientes e adubação complementar com sulfato de potássio, como fonte de K e S, sendo garantido a todos os tratamentos o fornecimento mínimo de 260 kg ha<sup>-1</sup> de K. Foram avaliados os seguintes atributos fitotécnicos: evolução da altura das plantas, matéria seca da parte aérea aos 97 dias após a semeadura (DAS), teor e acúmulo de N, quantidade de N recuperada dos fertilizantes, produtividade de grãos, matéria seca de 1.000 grãos e percentual da matéria seca de grãos na espiga desempalhada. Um mês após a colheita do milho foram avaliados no solo (0-10 cm) o pH e os teores de C-total e N-total. O milho cresceu mais rápido quando adubado com ureia, alcançando maior altura ( $P < 0,05$ ) no período de 39 a 61 DAS. Contudo, aos 97 DAS, tanto a altura como a matéria seca das plantas não diferiram ( $P \geq 0,05$ ) em relação às fontes de N empregadas. As médias da matéria seca de 1.000 grãos (243 g) e da participação dos grãos na espiga desempalhada (85%) não diferiram significativamente entre os tratamentos ( $P \geq 0,05$ ). A quantidade de N recuperado dos fertilizantes decresceu linearmente em função do aumento das doses aplicadas, variando de 56,7 a 33,3%, com aplicação da Ureia, e de 28,3 a 18,8% com a aplicação do Fertgli-1. A recuperação média do N derivado do Fertgli-2 foi de 31,7%. A produtividade de grãos variou de 6,4 a 9,0 Mg ha<sup>-1</sup>, com aplicação da Ureia, e de 5,5 a 8,3 Mg ha<sup>-1</sup>, com a aplicação do Fertgli-1. No tratamento controle e no tratamento com aplicação do Fertgli-2, as produtividades médias foram de 3,1 e 6,9 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos, respectivamente. No solo, as adubações com os fertilizantes de gliricídia promoveram aumentos de pH e do teor de N-total, sendo também verificados aumentos significativos no teor de C-total do solo com a aplicação do Fertgli-1. As adubações com ureia além de acidificarem o solo não promoveram aumentos nos teores de C-total e N-total. Os fertilizantes de gliricídia são capazes de substituir a ureia na provisão de N à cultura do milho, proporcionando melhorias mensuráveis de atributos de qualidade do solo. Contudo, em uma primeira aplicação, os fertilizantes de gliricídia devem ser aplicados com cerca do dobro da dose de N-ureia para que produtividades comparáveis sejam alcançadas. Entretanto, em aplicações subsequentes as doses dos fertilizantes de leguminosa poderão ser menores, em virtude das melhorias dos atributos de qualidade do solo.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, nitrogênio, atributos de qualidade do solo.

## ABSTRACT

Maize (*Zea mays*) is the world's most produced grain and culture that demands more nitrogen fertilizer. The aim of this study was to evaluate the potential for fertilization with two gliricidia (*Gliricidia sepium*) fertilizer, one from leaves and branches (Fertgli-1) and the other just leaves (Fertgli-2), compared to urea, to provide nitrogen (N) to corn, as well as the impacts of soil fertilization on soil quality attributes. The experiment consisted of a randomized block design with four replications in a factorial  $2 \times 4 + 2$ . The factors were two N sources (urea and Fertgli-1) and four levels of nitrogen fertilizer. Urea was dosed as 84, 168, 252 and 336 kg ha<sup>-1</sup> N<sup>-1</sup> and Fertgli-1 doses were those divided by a factor 0.7. The additional treatments consisted of application of 240 kg ha<sup>-1</sup> N-Fertgli-2 (dose = 168/0.7) and the control treatment (no fertilization). In order to equalize the effect of macro and micronutrients in the experiment, leaving N as the primary limiting nutrient, all treatments received high doses of silicon magnesium thermo-phosphate (120 kg ha<sup>-1</sup> P), as a source of P, Ca, Mg and micronutrients fertilizer and also supplemented with potassium sulphate, as a source of K and S ensuring to all treatments the minimum supply of 260 kg ha<sup>-1</sup> K. We evaluated the following crop attributes: evolution of plant height, shoot dry matter at 97 days after sowing (DAS), content and accumulation of N, N derived from fertilizer, grain yield, dry matter of 1,000 grains, and percentage of grain dry matter on the cob without straw. One month after the corn harvesting it was evaluated in soil (0-10 cm) the pH and the levels of total-C and total-N. The corn grew faster when fertilized with urea, achieving greater height ( $P < 0.05$ ) in the period 39-61 DAS. However, at 97 DAS, both the height and the plant dry matter did not differ ( $P \geq 0.05$ ) in relation to sources of N used. The mean dry weight of 1,000 grains (243 g) and the share of grains on the cob without straw (85%) did not differ significantly between treatments ( $P \geq 0.05$ ). The amount of N derived from the fertilizer decreased linearly as a function of the increasing doses being 56.7 to 33.3%, with application of urea, and 28.3 to 18.8% with the application of Fertgli-1. The average recovery of N derived from Fertgli-2 was 31.7%. Grain yield ranged from 6.4 to 9.0 Mg ha<sup>-1</sup> with application of urea, and 5.5 to 8.3 Mg ha<sup>-1</sup>, with the application of Fertgli-1. In the control treatment and treatment with application of Fertgli-2 yields were between 3.1 and 6.9 t ha<sup>-1</sup> grains, respectively. In soil, the application of gliricidia fertilizer promoted increases in pH and total-N content, as also observed significant increases in the level of total-C with the application of Fertgli-1. Plants fertilized with urea promoted higher acidity in the soil and not promoted increases in the levels of total-C and total-N. Gliricidia fertilizers are able to replace urea in the provision of N to corn by providing measurable improvements in soil quality attributes. However, in a first application, the gliricidia fertilizer must be applied with approximately twice the dose of urea-N to achieve comparable yields. But in subsequent applications of legume fertilizers the doses may be lower because of the improvements in soil quality attributes.

**Keywords:** *Zea mays*, nitrogen, soil quality attributes.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é o grão mais produzido no mundo (FAO, 2010a) e a cultura que mais demanda fertilizantes nitrogenados. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho (com 55,5 milhões de toneladas ano<sup>-1</sup>), estando muito atrás do líder Estados Unidos (316,2 milhões de toneladas ano<sup>-1</sup>) e do segundo colocado China (177,5 milhões de toneladas ano<sup>-1</sup>) (FAO, 2010a). Em termos de produtividade, o Brasil é o 59º no ranking mundial (com 4,4 Mg ha<sup>-1</sup>), a China o 43º (5,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e os Estados Unidos o 13º (9,6 Mg ha<sup>-1</sup>) (FAO, 2010a).

A produtividade brasileira poderia melhorar se fosse usado mais N na adubação do milho. Entretanto, além do custo elevado, a cadeia produtiva dos fertilizantes nitrogenados sintéticos no Brasil é altamente dependente do mercado externo, importando mais de 75% do N consumido pelas lavouras (ANDA, 2012). A sorte da agricultura brasileira é possuir uma soja (*Glycine max*) autossuficiente em N e altamente produtiva, que por via da fixação biológica de N<sub>2</sub>, consegue suprir suas necessidades de N, deixando ao solo uma parte do N-fixado, que pode ser aproveitada pela cultura subsequente (ALVES et al., 2006). No entanto, a maior parte do N-fixado pela soja é exportada com os grãos, e a quantidade de N deixada ao solo é insuficiente para garantir alta produtividade a uma cultura tão exigente como o milho.

Uma solução para provisão de N ao milho seria a otimização do processo de fixação biológica de N<sub>2</sub> realizado por micro-organismos diazotróficos associados às plantas de milho (REIS et al., 2006). Entretanto, a eficácia desse processo é ainda bastante questionável (MENDONÇA et al., 2006) e dificilmente será tão eficaz quanto a fixação de N<sub>2</sub> que ocorre no interior dos nódulos das leguminosas.

A adubação verde com leguminosas é uma tecnologia eficaz para promover a entrada de grandes quantidades de N no sistema, via fixação biológica de N<sub>2</sub>, e melhorar características químicas, físicas e biológicas do solo (ESPINDOLA et al., 2005; PEOPLES et al., 2009). Entretanto, as tradicionais práticas de adubação verde (rotação e consórcio), nem sempre conseguem prover quantidades de N suficientes para que às culturas alcancem altos níveis de produtividade. Geralmente, menos de 30% do N contido no adubo verde é recuperado pela cultura (FILLERY, 2001; BALASUBRAMANIAN et al., 2004; CREWS & PEOPLES, 2005). Também existem problemas de ordem técnicas que dificultam a adoção das tradicionais práticas de adubação verde. Na rotação, as leguminosas ocupam área que poderia estar sendo ocupada por uma cultura comercial, enquanto no consórcio, as leguminosas aumentam a competição por água, luz e nutrientes, além de tornarem o manejo mais complexo (ALMEIDA et al., 2008).

A tecnologia dos fertilizantes de leguminosas concilia os benefícios e funcionalidades da adubação verde com leguminosas com a praticidade de uso de um fertilizante orgânico. A tecnologia possibilita que a biomassa de leguminosa seja armazenada e seu uso em quantidades, épocas e formas mais apropriadas, favorecendo a sincronia da provisão de N com a demanda desse elemento pela cultura (ALMEIDA, 2007). Nesse sentido, conhecer o potencial desses fertilizantes em prover N ao sistema solo-planta, comparativamente a um fertilizante nitrogenado bastante conhecido, como a ureia, assume relevância para realização de adubações mais racionais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de adubações com dois fertilizantes de gliricídia (*Gliricidia sepium*), um derivado de folhas e galhos (Fertgli-1) e outro apenas de folhas (Fertgli-2), comparativamente à ureia, em prover N à cultura do milho, assim como os impactos dessas adubações sobre atributos de qualidade do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Características da Área Experimental

O experimento com milho (*Zea mays*) foi conduzido de 19 de abril a 11 de setembro de 2010, em área do Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, Brasil (22° 44' 52,70'' S e 43° 40' 13,77'' W a 30 m de altitude), sob um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006).

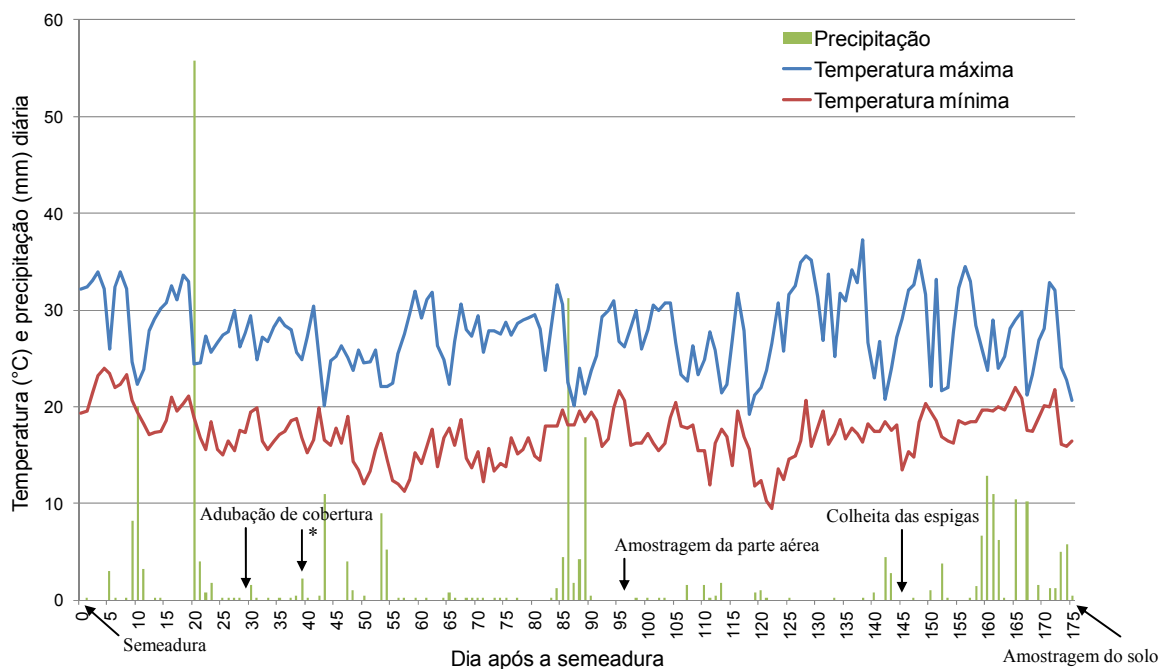
Antes da implantação do experimento, o solo foi arado, gradeado e sulcado. Amostras compostas por 12 subamostras (0-20 cm) de cada bloco foram coletadas, secadas ao ar, peneiradas (2 mm), homogeneizadas e analisadas em laboratório (SILVA et al., 1998). O solo foi classificado como de textura média (EMBRAPA, 2006), contendo: 634, 266 e 100 g kg<sup>-1</sup> de areia, argila e silte, respectivamente, e as características descritas na **Tabela 26**.

**Tabela 26.** Resultado da análise da terra na profundidade de 0-20 cm – Seropédica – 2010.

| Bloco        | pH*        | H+Al                                  | Al         | Ca         | Mg         | P                      | K           | C                     | N          | V           |
|--------------|------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------------------|-------------|-----------------------|------------|-------------|
|              |            | (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) |            |            |            | (mg dm <sup>-3</sup> ) |             | (g kg <sup>-1</sup> ) |            | (%)         |
| 1            | 5,3        | 3,6                                   | 0,1        | 1,5        | 1,1        | 1,8                    | 34,0        | 10,6                  | 1,0        | 42,8        |
| 2            | 5,5        | 2,9                                   | 0,0        | 1,5        | 1,1        | 2,2                    | 52,0        | 10,4                  | 0,9        | 48,3        |
| 3            | 5,2        | 3,7                                   | 0,1        | 0,9        | 1,0        | 1,6                    | 32,0        | 12,3                  | 1,0        | 35,1        |
| 4            | 5,4        | 3,4                                   | 0,1        | 1,4        | 1,2        | 2,2                    | 48,0        | 13,7                  | 1,3        | 44,3        |
| <b>Média</b> | <b>5,3</b> | <b>3,4</b>                            | <b>0,1</b> | <b>1,3</b> | <b>1,1</b> | <b>2,0</b>             | <b>41,5</b> | <b>11,8</b>           | <b>1,0</b> | <b>42,7</b> |

\*Determinação de pH em H<sub>2</sub>O; extração de Al, Ca e Mg em KCl (1 mol L<sup>-1</sup>); extração de P e K em solução Mehlich-1; extração de H+Al em solução de acetato de cálcio (SILVA et al., 1998).

O clima de Seropédica pertence à classe Aw, segundo classificação de Köppen, apresentando duas épocas bem definidas, uma chuvosa com temperaturas mais altas de setembro a abril e outra mais seca com temperaturas mais amenas de maio a agosto. Dados diários de precipitação e temperatura e ocasiões das principais atividades realizadas ao longo do período de condução do experimento estão apresentados na **Figura 17**.



**Figura 17.** Dados diários de precipitação e temperatura (máxima e mínima) e ocasiões das principais atividades realizadas durante a condução do experimento – Seropédica, RJ – 19 de abril a 11 de setembro de 2010. Fonte: INMET. \*O parcelamento da adubação de cobertura foi realizado apenas nos tratamentos com ureia e no tratamento controle, a adubação de cobertura após a semeadura nos com os fertilizantes de gliricídia foi realizada integralmente aos 29 dias após a semeadura.

## 2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental consistiu de blocos ao acaso em arranjo fatorial  $2 \times 4 + 2$  com quatro repetições. Os fatores foram duas fontes de N, ureia e fertilizante de gliricídia [constituído de folhas e galhos de gliricídia (Fertgli-1<sup>\*</sup>)] e quatro doses de N (baixa, média, alta e muito alta). A ureia foi dosada em 84, 168, 252 e 336 kg ha<sup>-1</sup> de N e o fertilizante de gliricídia pelas respectivas doses divididas por 0,7. Os tratamentos adicionais consistiram da aplicação de outro tipo de fertilizante de gliricídia, constituído apenas das folhas dessa planta (Fertgli-2<sup>†</sup>), na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N e do tratamento controle (ausência de adubação nitrogenada). A **Tabela 27** traz os resultados das análises dos fertilizantes de gliricídia.

\* A matéria-prima utilizada para produção do Fertgli-1 foi obtida no segundo corte dos bancos de gliricídia do **Capítulo II**. Os bancos de gliricídia foram cortados a 1,2 m de altura, sendo a biomassa (galhos e folhas) processada em picadora de forragem acoplada ao trator. Na sequência, a biomassa picada foi secada em campo sobre plástico preto, sendo a biomassa seca processada em moinho de martelos com peneira de 5 mm e o produto obtido foi homogeneizado em misturador de ração. Foram produzidos 350 kg desse fertilizante, que foram armazenados com cerca de 7% de umidade (em base úmida) em sacos de plástico.

† As folhas utilizadas para produção do Fertgli-2 foram obtidas no primeiro corte dos bancos de gliricídia do **Capítulo II**. Após corte dos bancos de gliricídia a 1,2 m, galhos e folhas foram dispostos sobre plástico preto para realização da secagem do material em condições de campo. Três dias depois os galhos foram desenfolhados e descartados. As folhas secas foram processadas em moinho de martelos com peneira de 5 mm e o produto obtido foi homogeneizado em misturador de ração. Foram produzidos 60 kg desse fertilizante, que foram armazenados com cerca de 9% de umidade (em base úmida) em sacos de plástico.

**Tabela 27.** Composição química dos fertilizantes de gliricídia (média ± erro padrão das análises em triplicata).

| Fertilizante de gliricídia | N                                  | P          | K           | Ca          | Mg         | S          | Relação C/N |
|----------------------------|------------------------------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|
|                            | (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>†</sup> |            |             |             |            |            |             |
| Fertgli-1 <sup>1</sup>     | 26,8 ± 0,66                        | 1,8 ± 0,03 | 21,0 ± 1,78 | 7,1 ± 0,2   | 3,4 ± 0,06 | 1,8 ± 0,09 | 19          |
| Fertgli-2 <sup>2</sup>     | 30,2 ± 0,2                         | 1,6 ± 0,05 | 14,9 ± 0,88 | 15,9 ± 0,58 | 5,5 ± 0,33 | 2,2 ± 0,05 | 16          |

<sup>†</sup>Valores expressos em massa seca a 65°C. <sup>1</sup>Derivado de galhos e folhas de gliricídia. <sup>2</sup>Derivado de folhas de gliricídia.

O milho híbrido simples (PIONEER 30K73) foi semeado em 19 de abril de 2010 no espaçamento 0,25 x 0,50 m (80.000 plantas ha<sup>-1</sup>). As parcelas foram constituídas por oito linhas de 4,0 m distanciadas por 0,5 m.

A fim de equalizar o efeito de macro e micronutrientes fornecidos pelos fertilizantes de leguminosas, deixando-se N como o principal nutriente limitante, foram aplicados em todos os tratamentos doses elevadas de termofosfato sílico-magnésiano (120 kg ha<sup>-1</sup> de P-solúvel em ácido cítrico a 2%), como fonte de P, Ca, Mg e micronutrientes, sendo também garantido o fornecimento de pelo menos 260 kg ha<sup>-1</sup> de K pela aplicação complementar de sulfato de potássio, como fonte de K e S.

O termofosfato sílico-magnésiano foi aplicado no fundo do sulco e misturado a terra. Foram colocadas duas sementes de milho por posição, sendo recobertas com 6 cm de solo. Na sequência, foram aplicados 60 kg ha<sup>-1</sup> de K (sulfato de potássio), nos tratamentos com ureia e no controle, e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K (sulfato de potássio), nos tratamentos com fertilizante de gliricídia. Nos tratamentos com ureia foram aplicados 40 kg ha<sup>-1</sup> de N e nos tratamentos com fertilizantes de gliricídia, 60 kg ha<sup>-1</sup> de N. Aos 14 dias após a semeadura, foi realizado desbaste, deixando-se uma planta de milho por posição.

A complementação das adubações em cobertura foi parcelada em duas ocasiões, nos tratamentos com ureia e no controle, sendo a primeira no estágio de seis folhas totalmente desenvolvidas (aos 29 dias após a semeadura) e a segunda 10 dias depois. A complementação das doses com fertilizante de gliricídia (dose do tratamento - 60 kg ha<sup>-1</sup> de N) foi realizada em uma única aplicação em cobertura aos 29 dias após a semeadura. Essas adubações foram realizadas em faixa a 15-20 cm da linha de milho. Para facilitar a distribuição da ureia e do sulfato de potássio, os fertilizantes foram misturados à areia lavada e dosados por linha da parcela. Os fertilizantes de gliricídia foram também dosados por linha da parcela, sendo a quantidade do fertilizante pesada em laboratório e acondicionada em sacos de plástico. Nessa ocasião também foi misturado as doses complementares de sulfato de potássio correspondente aos tratamentos que necessitaram essa complementação – tratamentos com 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N de Fertgli-1 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N Fertgli-2.

Água via asperção foi aplicada imediatamente após as adubações, visando, sobretudo, elevar a penetração da ureia no solo, reduzindo as chances de perda de N-ureia por volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>). Durante a condução do experimento, foi fornecida água por aspersão quando necessário e capinas para controle das plantas espontâneas. Pulverizações semanais com *Bacillus turingiensis* foram realizadas após verificação do primeiro ataque de lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda*).

### 2.3 Preparo das Amostras dos Fertilizantes de Gliricídia e Análises Laboratoriais

Foram coletadas três amostras de ±150 g dos fertilizantes de gliricídia. Essas amostras foram previamente pesadas. Em seguida foram secadas em estufa com ventilação forçada de ar e regulada a 65°C, sendo novamente pesadas para determinação da umidade por

gravimetria. As amostras secas foram moídas em moinho Wiley equipado com peneira de 0,2 mm, homogêneas e armazenadas em frascos de acrílico hermeticamente fechados.

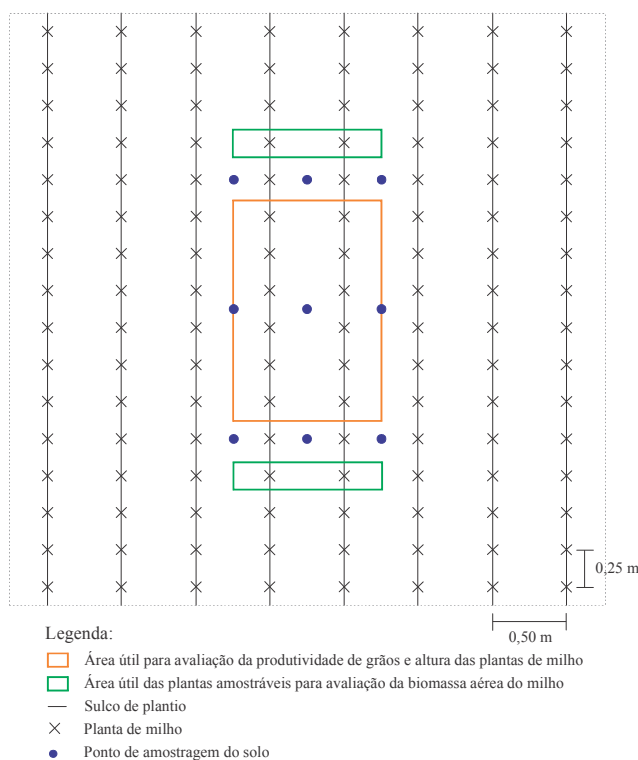
Os teores de P, K, Ca, Mg e S foram determinados após digestão nítrico-perclórica (BATAGLIA et al., 1983). O teor de P em espectrofotômetro, após formação do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico como redutor; os de Ca, Mg e S em plasma; e o de K em espectrofotômetro de chama. O teor de N foi determinado pelo método em Kjeldahl, após digestão sulfúrica (ALVES et al., 1999). O teor de C pelo método da perda por ignição (KIEHL, 1985), adotando-se 4 h em estufa a 105°C, e 2,5 h em mufla a 550°C.

## 2.4 Variáveis Avaliadas nas Plantas de Milho e no Solo

Nas plantas de milho foram avaliados: evolução da altura das plantas; matéria seca da parte aérea e teor e acúmulo de N na matéria seca da parte aérea aos 97 dias após a semeadura, eficiência das adubações nitrogenadas (nitrogênio derivado dos fertilizantes), produtividade de grãos, matéria seca de 1.000 grãos e percentual da matéria seca dos grãos na espiga desempalhada. No solo foram avaliados: pH, C-total e N-total.

### 2.4.1 Área amostral

A área amostral para avaliação da produtividade de grãos e altura das plantas consistiu das 12 plantas centrais de cada parcela. Para avaliação da matéria seca e teores e acúmulos de N na parte aérea foi escolhida as duas plantas mais representativas da área destinada à avaliação da produtividade de grãos, entre quatro plantas situadas na quarta posição, a contar das extremidades, das duas linhas centrais de cada parcela. Amostras de solo foram coletadas em nove pontos por parcela, constituindo uma única amostra composta. A **Figura 18** traz a representação esquemática das áreas amostradas nas parcelas.



**Figura 18.** Esquema das áreas de amostragem nas parcelas.

#### **2.4.2 Altura das plantas**

A altura das plantas foi mensurada do solo até o ápice da folha que esticada verticalmente ficou mais alta. As mensurações foram realizadas aos 29, 39, 47, 61 e 97 dias após a semeadura.

#### **2.4.3 Matéria seca da parte aérea**

As plantas foram cortadas aos 97 dias após a semeadura e acondicionadas em sacos de papel previamente identificados que foram fechados e mantidos em estufa regulada a 65°C com ventilação forçada de ar por 14 dias (quando certamente já haviam alcançado massa constante). A matéria seca da parte aérea foi determinada em laboratório por intermédio da pesagem em balança digital de precisão (0,01 g).

#### **2.4.4 Teor e acúmulo de N na parte aérea**

A matéria seca da parte aérea foi processada em moinho Wiley equipado com peneira de 0,2 mm. O material finamente moído foi homogeneizado, acondicionado em frasco de acrílico, secado em estufa a 65°C por 24 h, sendo o frasco hermeticamente fechado. O teor de N-total foi determinado pelo método Kjeldahl (ALVES et al., 1999).

#### **2.4.5 Eficiência das adubações (N derivado do fertilizante)**

A eficiência das adubações nitrogenadas (N derivado do fertilizante) foi avaliada pelo método da diferença de N (HANDAYANTO et al, 1997) (Equação I):

$$\text{N derivado do fertilizante (\%)} = (\text{NacT} - \text{NacC}) \times 100 \div \text{Dose de N aplicada} \quad (\text{I})$$

Onde:

NacT = N acumulado na matéria seca do tratamento que recebeu adubação nitrogenada;

NacC = N acumulado na matéria seca do controle;

Dose de N aplicada = dose de N-total utilizada no tratamento.

#### **2.4.6 Produtividade de grãos, matéria seca de 1.000 grãos e percentual da matéria seca de grãos na espiga desempalhada**

As espigas foram colhidas e desempalhadas em campo, aos 146 dias após a semeadura, sendo armazenadas em sacos de pano previamente identificados. Esses sacos foram mantidos por 7 dias em estufa com ventilação forçada de ar regulada a 65°C (quando certamente já haviam alcançado massa constante). As espigas foram pesadas e debulhadas. Os grãos foram limpos, utilizando-se peneiras e jato de ar, sendo depois de limpos pesados. Duas amostras com cerca de 500 grãos de milho foram retiradas por parcela. Essas amostras foram pesadas, mantidas em estufa regulada a 105°C por 24 h, e pesadas novamente. A umidade dos grãos foi determinada gravimetricamente. O peso de 1.000 grãos foi determinado pela média dos grãos contados nas amostras secadas a 105°C. O percentual da matéria seca de grãos na espiga desempalhada foi determinado pela divisão dos grãos pela massa da espiga descascada. A produtividade de grãos e a matéria seca de 1.000 grãos tiveram suas massas corrigidas para 13% de umidade em base úmida.



#### 2.4.7 Atributos de qualidade do solo: pH, C-total e N-toal

Amostras compostas de cada parcela (0-10 cm), constituídas de nove subamostras, coletadas aos 175 dias após a semeadura, foram levadas para o laboratório, secadas ao ar, peneiradas (2 mm), homogeneizadas e analisadas. O pH foi determinado em H<sub>2</sub>O (Silva et al., 1998); o C-total por dicromatometria (TEDESCO et al., 1995) e o N-total pelo método Kjeldahl (ALVES et al., 1999).

#### 2.5 Análises Estatísticas

Depois de verificado o atendimento aos pressupostos de normalidade e homogeneidade da variância dos erros, prosseguiu-se as análises de variância ( $P < 0,05$ ). Inicialmente foi realizada uma análise de variância geral, envolvendo todos os tratamentos. Em havendo resultado significativo para tratamento, foi construído um quadro de análise de variância principal reunindo resultados de três análises (YASSIN et al., 2002). Em não havendo resultado significativo para tratamento, não foi dado prosseguimentos às análises.

Na primeira análise, envolvendo todos os tratamentos, foram obtidas as somas dos quadrados dos blocos e do erro. Em uma segunda análise avaliando a estrutura do fatorial, foram obtidas as somas dos quadrados dos fatores fonte e dose de N e a interação desses fatores. Em uma última análise, foram obtidas as somas dos quadrados de um contraste envolvendo os tratamentos do fatorial versus os tratamentos adicionais e outro entre os próprios tratamentos adicionais. Na análise dos dados de altura das plantas foi incorporado às análises o modelo de parcelas subdivididas no tempo (FERREIRA, 2000).

Para todas as variáveis, com exceção e o percentual de N derivado das adubações, foram aplicados três contrastes ortogonais pré-elaborados. O primeiro contrastando o efeito do controle contra o efeito médio dos demais tratamentos ( $\text{Contraste}_1 = C - U - F1 - F2$ ). O segundo contrastando o efeito médio dos tratamentos com ureia contra o dos tratamentos com fertilizante de glicírdia ( $\text{Contraste}_2 = U - F1 - F2$ ). O terceiro contrastando o efeito médio dos tratamentos com Fertgli-1 com o do Fertgli-2 ( $\text{Contraste}_3 = F1 - F2$ ). Para altura das plantas de milho ainda foi realizado do o efeito médio da ureia com o Fertgli-2 ( $\text{Contraste} = U - F2$ ).

Para aprofundar o estudo, foram realizadas análises de regressão, avaliando o efeito das doses de N da Ureia e do Fertgli-1, sendo incluído nas análises o tratamento controle como a dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N. As regressões foram realizadas pelo método dos polinômios ortogonais, dando-se preferência ao modelo com o R<sup>2</sup> mais alto, coeficiente de regressão significativo ( $P < 0,05$ ) e desvio da regressão não significativo ( $P \geq 0,05$ ), conforme recomendado por Ferreira (2000).

Para comparação de médias foi utilizado o teste de Scoot-Knoot protegido pelo teste F a 5% de probabilidade.

As análises foram realizadas com auxílio dos softwares Microsoft<sup>®</sup> Office Excel<sup>®</sup> e do pacote computacional Sisvar<sup>®</sup> (Sistema de Análise de Variância) da Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2000).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliações nas Plantas de Milho

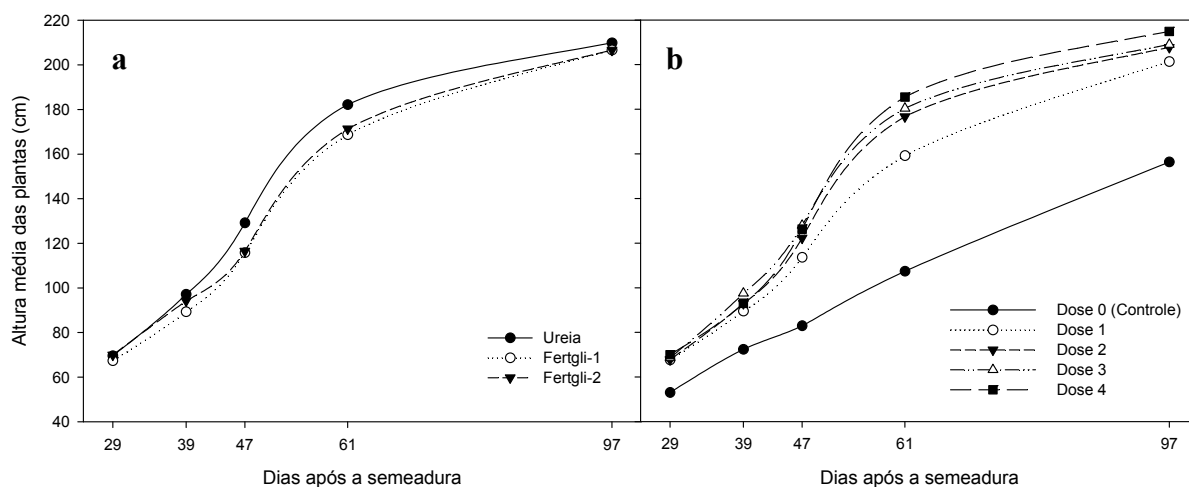
##### 3.1.1 Altura das plantas

A análise de variância dos dados de altura das plantas indicou a ocorrência de interações significativas ( $P < 0,001$ ) entre os níveis do fator dias após a semeadura (DAS) e os níveis dos fatores fonte e dose de N, não ocorrendo interação tripla entre esses fatores (**Tabela 28**). Indicou também a ocorrência de resultados altamente significativos ( $P < 0,0001$ ) para os desdobramentos de DAS em cada um dos tratamentos adicionais (DAS/Fertgli-2 e DAS/Controle).

**Tabela 28.** Análise de variância da variável altura do milho.

| Fonte de variação      | GL   | SQ           | QM           | F        | Pr > F |
|------------------------|------|--------------|--------------|----------|--------|
| Bloco                  | 3    | 11.646,0485  | 3.882,0162   | 16,4227  | 0,0000 |
| Fonte                  | 1    | 2.566,5130   | 2.566,5130   | 10,8575  | 0,0028 |
| Dose                   | 3    | 3.282,0178   | 1.094,0059   | 4,6281   | 0,0097 |
| Fonte*Dose             | 3    | 500,5665     | 166,8555     | 0,7059   | 0,5569 |
| Fatorial vs Adicionais | 1    | 13.449,8812  | 13.449,8812  | 56,8991  | 0,0000 |
| Entre adicionais       | 1    | 13.897,9840  | 13.897,9840  | 58,7947  | 0,0000 |
| Erro 1                 | 27   | 6.382,2987   | 236,3814     |          |        |
| DAS                    | 4    | 495.494,8822 | 123.873,7206 | 762,1292 | 0,0000 |
| Erro 2                 | 12   | 1.950,4365   | 162,5364     |          |        |
| Fonte*DAS              | 4    | 930,4153     | 232,6038     | 5,2294   | 0,0007 |
| Dose*DAS               | 12   | 1846,2438    | 153,8537     | 3,4590   | 0,0003 |
| Fonte*Dose*DAS         | 12   | 714,9055     | 59,5755      | 1,3394   | 0,2072 |
| DAS/Fertgli-2          | 4    | 5.0604,9423  | 12.651,2356  | 284,4263 | 0,0000 |
| DAS/Controle           | 4    | 25.404,9819  | 6.351,2455   | 142,7893 | 0,0000 |
| Erro 3                 | 108  | 4.803,8232   | 44,4798      |          |        |
| Total corrigido        | 199  | 564.278,0449 |              |          |        |
| CV 1 (%) =             | 11,9 |              |              |          |        |
| CV 2 (%) =             | 9,8  |              |              |          |        |
| CV 3 (%) =             | 5,2  |              |              |          |        |

Nos desdobramentos do efeitos das fontes de N em DAS e das doses de N em DAS, verificou-se que as interações (Fonte\*DAS e Dose\*DAS) ocorreram porque as plantas que receberam ureia ou Fertgli-1 iniciaram e terminaram as avaliações (29 e 97 DAS) com alturas semelhantes ( $P \geq 0,05$ ), ocorrendo, no entanto, efeito significativo para fonte e dose de N em avaliações intermediárias. Nesse contexto, a Ureia proporcionou maior altura às plantas que o Fertgli-1 aos 39, 47 e 61 DAS; e a Dose 1 proporcionou menor altura às plantas que nas demais doses – que não diferiram entre si quanto ao efeito proporcionado –, aos 47 e 61 DAS (**Figura 19**).



**Figura 19.** Evolução da altura média das plantas dos 29 aos 97 dias após a semeadura, segundo as fontes (a) e doses de nitrogênio (b). Fertgli-1= fertilizante derivado de folhas e galhos de gliricídia. Fertgli-2= fertilizante derivado de folhas de gliricídia.

O Fertgli-2 teve efeito comparável ao efeito médio do Fertgli-1, em todas as datas, mas não diferiu do efeito médio da Ureia aos 39 DAS, segundo os contrastes realizados. O controle apresentou plantas com menor altura em relação aos outros nove tratamentos, em todas as datas de avaliação (**Tabela 29**).

**Tabela 29.** Altura média das plantas de milho em cada avaliação segundo o tratamento

| Tratamento                               | Dias após a semeadura |         |         |         |         |
|--|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
|  | 29                    | 39      | 47      | 61      | 97      |
|  | (cm)                  |         |         |         |         |
| Controle (120 kg ha <sup>-1</sup> de N)  | 53,0 a                | 72,4 a  | 82,9 a  | 107,4 a | 156,4 a |
| Fertgli-2 (240 kg ha <sup>-1</sup> de N) | 70,0 b                | 94,2 c  | 116,5 b | 171,3 c | 206,6 c |
| Fertgli-1 (120 kg ha <sup>-1</sup> de N) | 68,7 b                | 88,0 b  | 108,3 b | 148,3 b | 195,5 b |
| Fertgli-1 (240 kg ha <sup>-1</sup> de N) | 63,7 b                | 85,8 b  | 113,3 b | 167,1 c | 205,8 c |
| Fertgli-1 (360 kg ha <sup>-1</sup> de N) | 67,3 b                | 94,0 c  | 121,9 b | 173,3 c | 207,9 c |
| Fertgli-1 (480 kg ha <sup>-1</sup> de N) | 69,6 b                | 89,4 b  | 119,9 b | 186,0 d | 217,5 c |
| Ureia (84 kg ha <sup>-1</sup> de N)      | 66,6 b                | 91,1 c  | 119,0 b | 170,1 c | 207,3 c |
| Ureia (168 kg ha <sup>-1</sup> de N)     | 71,8 b                | 100,0 c | 131,3 c | 186,3 d | 209,7 c |
| Ureia (252 kg ha <sup>-1</sup> de N)     | 69,7 b                | 101,0 c | 134,0 c | 187,5 d | 210,2 c |
| Ureia (336 kg ha <sup>-1</sup> de N)     | 70,3 b                | 96,7 c  | 132,6 c | 184,9 d | 212,3 c |

Esses resultados indicam efetiva influência das adubações nitrogenadas sobre a altura das plantas de milho e maior velocidade de resposta da cultura às adubações com ureia. A ureia é uma molécula bastante simples [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], sendo quase imediatamente convertida a NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo pela ação da enzima ureia amino hidrolase (urease), enquanto o fertilizante de gliricídia necessita de passar obrigatoriamente por processos biológicos para que N-orgânico, sobretudo o N-proteico, seja convertido a formas de N-mineral. Além disso, nem todo o N-orgânico dos resíduos de leguminosas é convertido em um primeiro ciclo da cultura, ficando as formas de N mais recalcitrantes compondo a matéria orgânica do solo, podendo ser, ainda de forma mais gradual, ser mineralizada (CREWS & PEOPLES, 2005).

### 3.1.2 Matéria seca da parte aérea, teor e acúmulo de N na matéria seca da parte aérea, produtividade de grãos, matéria seca de 1.000 grãos, percentual de matéria seca de grãos na espiga desempalhada

Não houve efeito de tratamento ( $P \geq 0,05$ ) para matéria seca de 1.000 grãos e percentual de grãos na espiga desempalhada, significando que essas variáveis não foram influenciadas pela provisão diferenciada de N no experimento. A média geral ( $\pm$  erro padrão de 40 repetições) foi de  $243,6 \pm 2,33$  g para a matéria seca de 1.000 grãos e de  $85,1 \pm 0,7\%$ , o percentual de grãos na espiga desempalhada.

As demais variáveis apresentaram respostas diferenciadas aos tratamentos, sendo as análises iniciais apresentadas na **Tabela 30**.

**Tabela 30.** Médias, erros padrão, análises de variância e contrastes ortogonais dos dados de matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio na matéria seca da parte aérea (TNMSPA), nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA), produtividade de grãos (PG).

| Fontes de variação           |                | MSPA                   | TNMSPA                                      | NAPA                   | PG <sup>†</sup>        |
|------------------------------|----------------|------------------------|---|------------------------|------------------------|
|                              |                | (Mg ha <sup>-1</sup> ) | (g kg <sup>-1</sup> )                       | (kg ha <sup>-1</sup> ) | (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
| Adicionais                   | Controle (C)   | 3,7                    | 6,8   | 24,7                   | 3,1                    |
|                              | Fertgli-2 (F2) | 11,0                   | 9,1   | 100,8                  | 6,9                    |
| Fonte de N                   | Fertgli-1 (F1) | 9,8                    | 8,9   | 88,2                   | 6,8                    |
|                              | Ureia (U)      | 10,7                   | 10,3  | 110,8                  | 7,6                    |
| Dose de N                    | Dose 1         | 8,5                    | 7,7   | 65,5                   | 5,9                    |
|                              | Dose 2         | 10,1                   | 9,3   | 93,6                   | 6,8                    |
|                              | Dose 3         | 10,8                   | 10,2  | 111,2                  | 7,4                    |
|                              | Dose 4         | 11,5                   | 11,1  | 127,7                  | 8,6                    |
| Erro padrão (Adicionais)     |                | 0,767                  | 0,430                                       | 7,728                  | 0,273                  |
| Erro padrão (Fonte de N)     |                | 0,383                  | 0,215                                       | 3,864                  | 0,137                  |
| Erro padrão (Dose de N)      |                | 0,542                  | 0,304                                       | 5,464                  | 0,193                  |
| <b>Análise de variância</b>  |                |                        | <b>Significância do teste F<sup>‡</sup></b> |                        |                        |
| Fonte                        |                | 0,0940                 | <b>0,0001</b>                               | <b>0,0003</b>          | <b>0,0002</b>          |
| Dose                         |                | <b>0,0038</b>          | <b>&lt;0,0001</b>                           | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b>      |
| Fonte*Dose                   |                | 0,7911                 | 0,1621                                      | 0,4393                 | 0,7730                 |
| Fatorial vs Adicionais       |                | <b>0,0001</b>          | <b>0,0001</b>                               | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b>      |
| Entre adicionais             |                | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>0,0006</b>                               | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b>      |
| <b>Contrastes ortogonais</b> |                |                        |   |                        |                        |
| C - U - F1 - F2              |                | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b>                           | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b>      |
| U - F1 - F2                  |                | 0,1950                 | <b>0,0001</b>                               | <b>0,0006</b>          | <b>0,0002</b>          |
| F1 - F2                      |                | 0,1445                 | 0,6513                                      | 0,1551                 | 0,6182                 |

<sup>†</sup>Determinados a 13% de umidade (base úmida). <sup>‡</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos ( $P < 0,05$ ) na análise de variância e nos contrastes ortogonais.

#### Análise dos contrastes ortogonais

O primeiro contraste ortogonal testou se a aplicação de N no experimento foi realmente necessária. Esse contraste indicou efeito altamente significativo ( $P < 0,0001$ ) para produção de matéria seca da parte aérea, teor e acúmulo de N na matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos, significando que as adubações nitrogenadas foram efetivas para promoção do incremento dos valores dessas variáveis.

O segundo contraste ortogonal responde a pergunta: – O efeito médio das adubações com ureia é superior/inferior ao efeito médio das adubações com os fertilizantes de gliricídia (Fertgli-1 e Fertgli-2)? A resposta é sim para o teor e o acúmulo de N na matéria seca da parte

aérea e produtividade de grãos, indicando que a ureia proporcionou maiores valores para essas variáveis. No entanto, o efeito médio da ureia não diferiu do efeito médio dos fertilizantes de gliricídia, com respeito a quantidade de matéria seca acumulada na parte aérea das plantas de milho.

O último contraste quer saber se o efeito médio das adubações com Fertgli-1 é superior/inferior ao da dose aplicada de Fertgli-2? Neste caso, a resposta é não ( $P \geq 0,05$ ) para todas as variáveis, indicando que o efeito médio das doses de Fertgli-1 foi semelhante ao efeito da dose de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de N com Fertgli-2.

### **Análise no fatorial**

No fatorial, verificou-se que nenhuma das variáveis apresentou interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre fonte e dose de N, podendo as variações das médias ser explicadas pelos efeitos individuais dos fatores principais.

Houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da fonte de N para teor e acúmulo de N na matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos, que apresentaram médias mais altas com a aplicação de ureia, comparativamente ao fertilizante constituído de folhas e galhos de gliricídia (Fertgli-1). Entretanto, não houve diferença significativa do efeito médio da ureia e do Fertgli-1 para matéria seca da parte aérea.

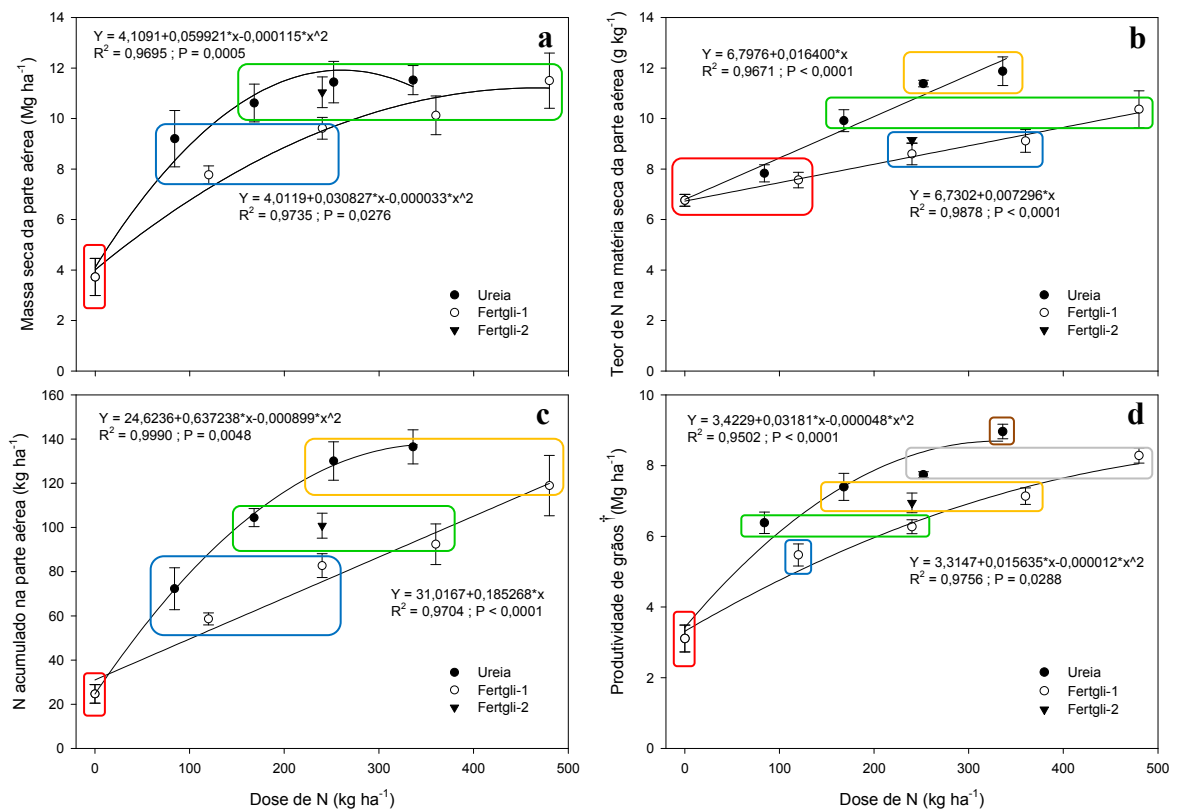
Quanto às doses de N, todas as variáveis da **Tabela 30** apresentaram tendência de aumento das médias com o aumento das doses de N aplicadas.

Vale ressaltar que as doses (1, 2, 3 e 4) de N apresentadas na **Tabela 30** são categóricas, fornecendo uma ideia de intensidade da adução nitrogenada: baixa, média, alta e muito alta. As doses de ureia foram 30% menores que as doses de Fertgli-1, por se saber de antemão que o potencial de disponibilização de N-mineral de um fertilizante nitrogenado sintético é superior a de um fertilizante orgânico (ALCARDE et al., 1998).

### **Análises de regressão e comparações de médias**

Para o aprofundamento do estudo, foi realizada análise de regressão das doses de N efetivamente aplicadas nas adubações com ureia e Fertgli-1, sendo incluído nas análises o tratamento controle como a dose de  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, exceto para avaliação do N derivado das adubações, cujos dados do controle são utilizados no cálculo da variável.

Na **Figura 20** foram plotados os gráficos de matéria seca da parte aérea, teor e acúmulo de N na matéria seca da parte aérea e produtividade de grãos em função das fontes e doses N, com os respectivos resultados da análise de regressão e agrupamento de médias semelhantes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



**Figura 20.** Médias de matéria seca (a), teor de N na matéria seca (b) e acúmulo de N na parte aérea das plantas de milho e produtividade de grãos de milho em função das fontes e doses de nitrogênio. Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições. Fertgli-1= fertilizante derivado de galhos e folhas de gliricídia. Fertgli-2= fertilizante derivado de folhas de gliricídia. †Produtividade de grãos a 13% de umidade (base úmida). Retângulos de cantos arredondados agrupam médias semelhantes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A matéria seca da parte aérea foi a única das variáveis da **Figura 20** que apresentou resposta as doses de N aplicadas mas não diferiram quanto as fontes de N (Ureia e Fertgli-1). Contudo, essa variável parece não ser boa indicadores do efeito do nitrogênio. Almeida et al. (2007, 2008, 2009) verificaram que plantas de rúcula e alface adubadas com diferentes fontes de N (diferentes fertilizantes de leguminosas e cama-de-aviário industrial) possuíam diferentes teores e acúmulos de N na matéria seca da parte aérea, no entanto, não diferiram quanto à produção de matéria seca da parte aérea. Com milho isso não é diferente. Em estudo realizado por Ciampitti & Vyn (2011) são evidentes às diferenças de N acumulado na parte aérea do milho ao longo do tempo, para três níveis de adubação nitrogenada (0, 165 e 330 kg ha<sup>-1</sup> de N). Entretanto, praticamente não há diferença entre as curvas de acúmulo de matéria seca das doses de 165 e 330 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Apesar de nas doses mais elevadas de ambas as fontes de N (Ureia e Fertgli-1) a produção de matéria seca alcançar o mesmo valor médio (11,5 Mg ha<sup>-1</sup>), a Ureia proporciona produção de matéria seca similar a essa já a partir da dose de 168 kg ha<sup>-1</sup> de N, o Fertgli-1 a partir da dose de 320 kg ha<sup>-1</sup> de N e o Fertgli-2, com a dose 240 de kg ha<sup>-1</sup> de N. Para as demais variáveis da **Figura 20** também é observada essa tendência da ureia proporcionar médias comparáveis aos fertilizantes de gliricídia com doses menores.

O teor de N na matéria seca da parte aérea do milho cresceu linearmente com o aumento das doses de N, independentemente da fonte de N. Outros autores também verificaram aumento linear do teor de N na biomassa aérea do milho em função do aumento das doses de N (GOMES et al., 2007; SILVA et al., 2009). Contudo, o coeficiente da regressão da Ureia foi maior que o do Fertgli-1, significando que a ureia proporciona maior concentração de N na matéria seca da parte aérea do milho com por quantidade de N aplicado.

O acúmulo de N na parte aérea do milho teve resposta quadrática em relação à aplicação de Ureia e linear para o Fertgli-2. Pela curva o patamar máximo alcançado com a aplicação de 354 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia chega a 138 kg ha<sup>-1</sup> de N acumulado na parte aérea. Nas doses de 252 e 336 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia, o acúmulo de N ultrapassa esse valor em algumas observações, que variam na faixa de 115-153 e 116-153 kg ha<sup>-1</sup> de N nas respectivas doses. A aplicação de Fertgli-1 promoveu resposta linear quanto ao acúmulo de N na parte aérea das plantas alcançando a faixa de 85-147 kg ha<sup>-1</sup> de N com a dose mais elevada.

A produtividade de grãos de milho em resposta às doses de N aplicadas com ambas às fontes de N foi muito bem representada por funções quadráticas, estando de acordo com a literatura (BULLOCK & BULLOCK, 1994; COLWELL, 1994; GOMES et al., 2007; GAGNON & ZIADI, 2010; HURTADO et al., 2011), que afirma que a produtividade das culturas geralmente está associada a modelos quadrático ou quadrático-plateau. Esses modelos assumem diminuição da amplitude de resposta de produtividade a cada dose aplicada. Nas doses mais altas tende a ocorrer o chamado consumo de luxo, onde não é percebido retorno significativo da adubação ou até mesmo decréscimo da produtividade. Pelas funções descritas, a produtividade de grãos alcança seu valor máximo de 8,7 Mg ha<sup>-1</sup>, com a dose de 331 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia, e de 8,4 Mg ha<sup>-1</sup>, com a dose de 651 kg ha<sup>-1</sup> de N de Fertgli-1, contudo, esta dose está fora da faixa testada para o Fertgli-1 (0-480 kg ha<sup>-1</sup> de N), para a qual a função é considerada válida (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002). As produtividades de grãos médias mais elevadas observadas no experimento foram obtidas com as doses mais altas de N, sendo de 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> para ureia, variando de 8,6 a 9,5 Mg ha<sup>-1</sup>, e de 8,3 Mg ha<sup>-1</sup> para o Fertgli-1, com variação de 7,7 a 8,7 Mg ha<sup>-1</sup>. Essas médias foram muito acima da média oficial do Estado do Rio de Janeiro em 2010: 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2011) e superior a produtividades encontrada em pesquisas realizadas no Município de Seropédica (DE-POLLI & CHADA, 1989; MACHADO et al., 2002; MENDONÇA et al., 2006; BARRETO et al., 2012).

Os altos níveis de produtividade obtidos neste trabalho devem-se ao efetivo controle de pragas e plantas espontâneas; ao uso de genótipo de alta adaptabilidade, responsivo a adubação e adaptado ao cultivo adensado (80.000 plantas ha<sup>-1</sup>); ao manejo dos fertilizantes; uso de irrigação; e é claro, dos altos níveis de adubação empregados. Vale ressaltar que o cultivo foi realizado de abril a setembro (época conhecida como safrinha ou segunda safra), época de baixa precipitação, dias mais curtos, mas com temperaturas noturnas mais amenas que na primavera-verão, o que pode ser mais favorável à produtividade da cultura, em virtude da menor respiração noturna das plantas, em temperatura menos alta, podendo resultar em maior fotossíntese líquida, apesar de o dia ser mais curto.

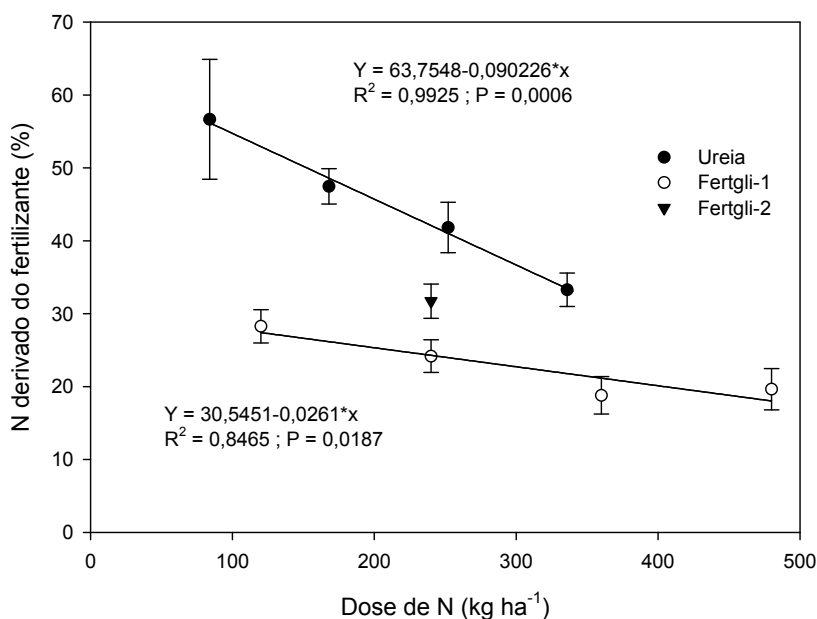
Com respeito à utilização de Fertgli-2, verificou-se que a dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N foi suficiente para alcançar acúmulo de N na parte aérea e produtividade de grãos comparáveis às doses de 168 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia e 320 kg ha<sup>-1</sup> de N do Fertgli-1. Neste sentido, pode-se dizer que o Fertgli-2 tem 70% da eficácia da ureia e 150% da eficácia do Fertgli-1, pelo menos na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Acreditava-se que as adubações com os fertilizantes de gliricídia teriam eficácia de 70% das adubações com ureia, para ambos os fertilizantes de gliricídia, por isso as doses de N-ureia foram divididas por 0,7. Entretanto, esse valor de 70% para o Fertgli-1 foi superestimado. De modo geral, com o dobro da dose de N-Fertgli-1 (divisor 0,5) seriam

alcançados os mesmos níveis de produtividade de grãos de milho, a partir da dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia. No entanto, de forma mais precisa, a dose de N do Fertgli-1 pode ser calculada utilizando-se a função  $Y = 3,3147+0,015635*x-0,000012*x^2$  (**Figura 20**), no intervalo válido de 0 a 480 kg ha<sup>-1</sup> de N-total do Fertgli-1.

### 3.1.3 N recuperado das adubações pela cultura do milho

A **Figura 21** mostra que a quantidade relativa de N recuperado das adubações pela cultura do milho decresce linearmente com aumento das doses de N aplicadas, independentemente da fonte de N, mas o decréscimo é mais acentuado para fonte ureia.



**Figura 21.** Percentual de nitrogênio derivado dos fertilizantes recuperado pela cultura do milho em função das fontes e doses de nitrogênio. Barras de erro representam o erro padrão da média de quatro repetições. Fertgli-1 = fertilizante derivado de galhos e folhas de gliricídia. Fertgli-2 = fertilizante derivado de folhas de gliricídia.

Conforme reportado na literatura (ALMEIDA, 2007; SILVA et al., 2009; GAGNON & ZIADI, 2010; SILVA et al., 2011), a eficiência dos fertilizantes nitrogenados decresce com o aumento das doses aplicadas. Esse decréscimo é bastante compreensível, pois quanto mais disponível o recurso (N-mineral), mais suscetível ele está às vias de perda. O nitrogênio pode ser perdido do local de aplicação por erosão de solo, escoamento superficial de água, lixiviação de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ou dissolvidos em formas de N-orgânico; ou por emissões gasosas para a atmosfera na forma de amônia (NH<sub>3</sub>), óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ou o próprio gás nitrogênio (N<sub>2</sub>) (GOULDING, 2004).

Apesar de a quantidade de N recuperada das adubações com ureia decrescer mais acentuadamente que a do Fertgli-1, maior proporção do N aplicado via ureia é absorvido pelas plantas de milho. Essa proporção teve variação média de 56,7 a 33,3%, com as doses de 84 a 336 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia; 28,3 a 18,8%, com as doses de 120 a 480 kg ha<sup>-1</sup> de N do Fertgli-1; e foi de 31,7%, com a dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N. Considerando apenas a faixa de adubação de 120 a 336 kg ha<sup>-1</sup> de N, a eficiência da ureia variou de 52,9 a 33,4% e a do Fertgli-1, de 27,4 a 21,8%; segundo as funções descritas na **Figura 21**. Nesse sentido, verifica-se que a relação da



eficiência do Fertgli-1 em relação à ureia aumenta de 0,52 a 0,65, na faixa considerada, enquanto a do Fertgli-2 em relação à dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de ureia é da ordem de 0,75.

### 3.2 Impacto das adubações sobre o pH e os teores de N-total e C-total do solo

A **Tabela 31** apresenta médias, resultados da análise de variância e contrastes ortogonais das variáveis pH, C-total e N-total do solo, segundo os níveis dos fatores (fonte e dose de N) e os tratamentos adicionais.

**Tabela 31.** Médias, análises de variância e contrastes ortogonais dos dados de pH e teores de C-total e N-total do solo.

| Fontes de variação          |                | pH                | C-total                                     | N-total       |
|-----------------------------|----------------|-------------------|---|---------------|
|                             |                |                   | (g kg <sup>-1</sup> )                       |               |
| Adicionais                  | Controle (C)   | 5,60              | 11,33                                       | 1,09          |
|                             | Fertgli-2 (F2) | 5,59              | 11,35                                       | 1,18          |
| Fonte                       | Fertgli-1 (F1) | 5,67              | 12,70                                       | 1,20          |
|                             | Ureia (U)      | 5,24              | 11,08                                       | 1,08          |
| Dose de N                   | Dose 1         | 5,30              | 11,59                                       | 1,09          |
|                             | Dose 2         | 5,52              | 11,73                                       | 1,13          |
|                             | Dose 3         | 5,53              | 12,31                                       | 1,17          |
|                             | Dose 4         | 5,47              | 11,93                                       | 1,16          |
| Erro padrão (Adicionais)    |                | 0,0657            | 0,4376                                      | 0,0381        |
| Erro padrão (Fonte de N)    |                | 0,0328            | 0,2188                                      | 0,0191        |
| Erro padrão (Dose de N)     |                | 0,0465            | 0,3094                                      | 0,0269        |
| <b>Análise de variância</b> |                |                   | <b>Significância do teste F<sup>‡</sup></b> |               |
| Fonte                       |                | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b>                           | <b>0,0003</b> |
| Dose                        |                | <b>0,0055</b>     | 0,3911                                      | 0,1611        |
| Fonte*Dose                  |                | <b>0,0010</b>     | 0,2929                                      | 0,1410        |
| Fatorial vs Adicionais      |                | <b>0,0104</b>     | 0,0879                                      | 0,9185        |
| Entre adicionais            |                | 0,9151            | 0,8103                                      | 0,1313        |
| Contrastes ortogonais       |                |                   |   |               |
| C - U - F1 - F2             |                | 0,0658            | 0,1848                                      | 0,2297        |
| U - F1 - F2                 |                | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0001</b>                               | <b>0,0002</b> |
| F1 - F2                     |                | 0,3324            | <b>0,0103</b>                               | 0,6831        |

<sup>‡</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância e nos contrastes ortogonais. Fertgli-1 = fertilizante derivado de galhos e folhas de gliricídia. Fertgli-2 = fertilizante derivado de folhas de gliricídia.

#### Análise de variância e dos contrastes ortogonais

No primeiro contraste ortogonal (C - U - F1 - F2), verificou-se que o efeito médio das fontes de N se igualou ao do tratamento controle (P ≥ 0,05) em todas as variáveis avaliadas. Entretanto, o contraste seguinte (U- F1 - F2) mostra que as adubações com os fertilizantes de gliricídia, proporcionaram melhorias significativas para todos os atributos de qualidade do solo avaliados, comparativamente às adubações com Ureia. Com essas informações, pode-se inferir que as adubações com ureia foram a causa da não-significância do primeiro contraste. Essa inferência é corroborada pelo efeito altamente significativo (P < 0,001) para o fator fonte de N, mostrando que as adubações com Fertigli-1 proporcionaram aumentos médios de pH, C-total e N-total do solo acima significativamente mais altos que os proporcionados pelas adubações com ureia (**Tabela 31**). Contudo, para pH do solo, a análise de variância indicou

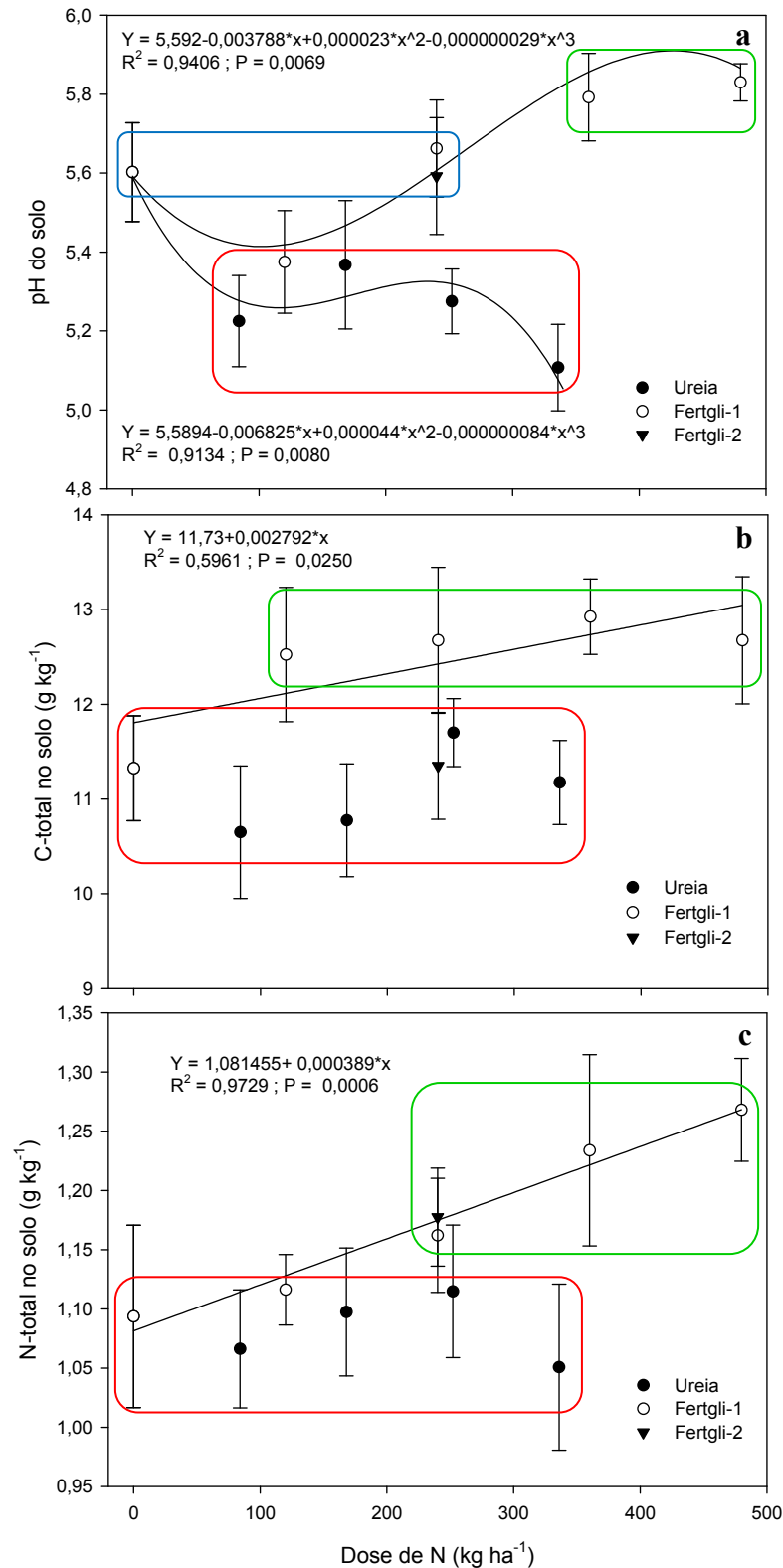
interação entre fonte e dose de N, indicando que o efeito das fontes de N diferiram de magnitude dentro dos níveis das doses de N, sendo apropriado o estudo dos desdobramentos da interação.

O terceiro (F1-F2) contraste mostra que o efeito médio do fertilizante de galhos e folhas de gliricídia (Fertgli-1) foi superior ao do fertilizante constituído apenas de folhas de gliricídia (Fertgli-2), em relação ao C-total do solo. Esse resultado é bastante relevante, pois indica que a presença de resíduos de galhos no fertilizante de gliricídia pode proporcionar aumento de C-total no solo superior ao proporcionado pelo fertilizante constituído apenas de folhas de gliricídia. As causas para esses aumentos são discutidas com mais detalhes no tópico a seguir.

### **Análise de regressão e comparações de médias**

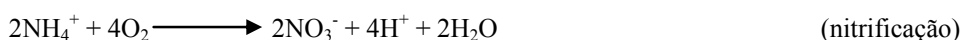
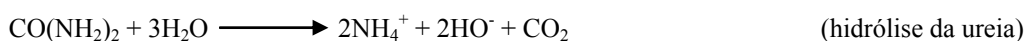
Para o aprofundamento do estudo, foi realizada análise de regressão das doses de N efetivamente aplicadas nas adubações com ureia e Fertgli-1, sendo incluído nas análises o tratamento controle como a dose de  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

As adubações com Fertgli-1 contribuíram de forma efetiva para o aumento do pH, C-total e N-total do solo, sobretudo nas doses mais altas, enquanto as adubações com ureia promoveram decréscimo do pH e não ocasionaram alterações nos teores de C-total e N-total do solo significativamente distintas do tratamento controle (**Figura 22**).

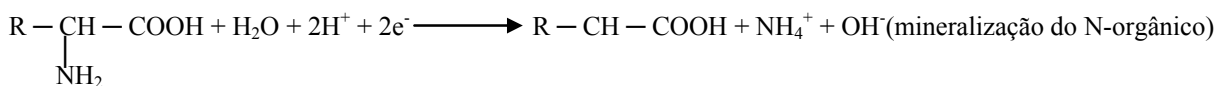
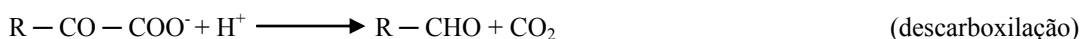


**Figura 22.** Impacto das adubações sobre o pH (a), C-total (b) e N-total (c) do solo (0-10 cm), um mês após a colheita do milho. Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições. Retângulos de cantos arredondados agrupam as médias estatisticamente semelhantes pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fertgli-1 = fertilizante derivado de galhos e folhas de gliricídia. Fertgli-2 = fertilizante derivado de folhas de gliricídia.

O decréscimo do pH no solo promovido pelo uso da ureia é um processo bem conhecido na literatura (SILVA, 2009; LANGE, et al., 2006; SOBRAL & NOGUEIRA, 2008; DIVITO et al., 2011). A ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] quando aplicada ao solo é rapidamente hidrolisada a amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), promovendo aumento do pH, sobretudo no entorno do grânulo da ureia. Na sequência, geralmente ocorre o processo de nitrificação, onde o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é oxidado a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), liberando prótons (H<sup>+</sup>) ao solo, abaixando seu pH. Em contrapartida, condições de pH alcalino (> 7,5) favorecem a conversão do íon NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ao gás NH<sub>3</sub> (amônia), que pode ser perdido para a atmosfera, ocasionando também a diminuição do pH do solo, devido ao consumo de OH<sup>-</sup> na conversão do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> à NH<sub>3</sub> (BOLAN & HEDLEY, 2003). Esses processos podem ser resumidos da seguinte forma:



Por outro lado, o aumento do pH do solo proporcionado pela adição dos resíduos vegetais, sobretudo de leguminosas, também é um fato bastante reportado na literatura (HOYT & TURNER, 1975; YAN et al., 1996; TANG & YU, 1999; BARRETO & FERNANDES, 2001; SAKALAA et al., 2004; YOUKHANA & IDOL, 2008), porém com explicações nem tanto unânimes. Alguns autores acreditam que a principal causa para aumento do pH do solo é devida a introdução de cátions básicos ao solo (NYATSANGA & PIERRE, 1973; POCKNEE & SUMNER, 1997; BARRETO & FERNANDES, 2001). Entretanto, não há evidência que cátions presentes na matéria orgânica por si só são capazes de promover o aumento do pH do solo (TANG et al., 1995; YAN et al., 1996, TANG, 1998). Tem-se que leguminosas fixadoras de N<sub>2</sub> acumulam em sua biomassa aérea mais cátions que ânions minerais e, para contrabalacear o excesso de cátions, sintetizam e acumulam ânions orgânicos (R-CO-COO<sup>-</sup>) em sua fitomassa (RAVEN et al., 1990). A adição desses ânions orgânicos ao solo é capaz de promover aumento de pH no solo (TANG & YU, 1999), mas a principal razão para a alcalinização do solo pela adição de resíduos vegetais é atribuída aos processos de descarboxilação e amonificação (mineralização do N-orgânico) de compostos orgânicos (BAREKZAI & MENGEL, 1993; YAN et al., 1996; TANG & YU, 1999; BOLAN & HEDLEY, 2003). As equações descritas por Barekzai & Mengel (1993), para descarboxilação, e Bolan & Hedley (2003), para mineralização do N-orgânico, exemplificam esses processos, evidenciando o consumo de H<sup>+</sup> do solo ao longo das reações:



Verificou-se que as doses de 360 e 440 kg de N ha<sup>-1</sup> do Fertgli-1 promoveram aumentos substanciais do pH do solo, enquanto as doses de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N do Fertgli-1 e do Fertgli-2 não proporcionaram alterações do pH distintas do controle (**Figura 22**). Apenas a dose mais baixa do Fertgli-1 (120 kg ha<sup>-1</sup> de N) proporcionou queda do pH do solo em relação ao controle. É provável que o efeito alcalinizante promovido pela dose mais baixa do Fertgli-1 tenha sido inferior ao efeito acidificante proporcionado pela maior extrusão de prótons do sistema radicular do milho, em relação ao controle, em virtude da maior produção de biomassa aérea (maior absorção de cátions).

Foi notável o efeito das doses de Fertgli-1 sobre promovendo aumentos lineares dos teores de C-total e N-total no solo (**Figura 22**). Outros trabalhos já haviam relatado que a adição de gliricídia ao solo é capaz de aumentar os teores desse atributo de qualidade do solo (BARRETO & FERNANDES, 2001; ALMEIDA, 2007; YOUKHANA & IDOL, 2009). Contudo, o fertilizante produzido apenas com folhas de gliricídia (Fertgli-2) não proporcionou alterações significativas do teor de C-total, em comparação ao controle. O maior teor de N, menor teor de lignina e polifenóis e menor tamanho de partícula, são características que favorecem a decomposição mais rápida desse fertilizante, comparativamente ao Fertgli-1 (composto por folhas e galhos finos de gliricídia). Com respeito ao tamanho da partícula, é interessante ressaltar que mesmo sendo processados e homogeneizados nos mesmos equipamentos (moinho de martelo equipado com peneira de 5 mm e misturador de ração), as folhas secas se desfazem mais facilmente que os galhos, devido ao menor conteúdo de fibras, adquirindo portanto textura mais fina, característica que favorece o contato mais íntimo do fertilizante com o solo. Todavia, o Fertgli-2, contribuiu efetivamente para o aumento do teor de N-total. A ureia não alterou

Em experimento de 35 anos na Suécia tanto N-total e C-total do solo decresceram no tratamento controle (sem aplicação de N), no pousio e no tratamento com aplicação de N-sintético [ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ], enquanto nos tratamentos que receberam adubação verde (com Poaceae), adubação com esterco [com e sem  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ], palha +  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , turfa +  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  ocorreram incrementos das concentrações desses dois elementos e nos tratamentos com palha e turfa, verificou-se aumento apenas para C-total (PERSSON & KIRCHMANN, 1994).

Em experimento conduzido por 8 anos na Argentina, as adubações com ureia proporcionaram acidificação do solo e também não proporcionaram aumento dos teores de C-total e N-total no solo (DIVITO et al., 2011).

Em outro experimento de longo prazo, conduzido durante 15 anos nos Estados Unidos foram comparados diferentes sistemas de manejo: convencional, orgânico com aplicação de esterco e orgânico com adubação verde com leguminosas em rotação (DRINKWATER et al., 1998). Verificou-se que a média de produtividade de grãos de milho de 10 anos variou entre 7,10 e 7,17 Mg ha<sup>-1</sup> entre os três sistemas, que não tiveram diferenças significativas ( $P \geq 0,05$ ). Comparando o primeiro ano com o último ano (1981-1995), concluiu-se que nos dois sistemas de manejo orgânico ocorrem aumentos nos teores de C-total no solo, enquanto no manejo convencional não ocorre diferença significativa ( $P < 0,05$ ). Quanto ao teor de N-total no solo, concluiu-se que o sistema convencional promove decréscimo deste componente, enquanto os sistemas orgânico com rotação de leguminosas e o sistema orgânico com adição de esterco apresentam estabilidade e aumento dos teores de N-total do solo, respectivamente. Outro dado interessante apurado nesse estudo foi em relação à lixiviação de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) que foi muito maior no sistema convencional, em um período de 15 anos,

Os resultados deste trabalho, com respeito à tendência de acúmulo de C e N no solo proporcionados pelo emprego de leguminosas, corroboram, outros diversos trabalhos reportados na literatura (por exemplo: FILLERY, 2001; CREWS & PEOPLES, 2005; GARDNER & DRINKWATER, 2009; PEOPLES et al, 2009). Nesse sentido, é esperado que o manejo da fertilidade do solo pela aplicação sistemática de fertilizantes de leguminosas contribua de forma efetiva para o aumento ou manutenção dos teores de matéria orgânica, contribuindo para redução da magnitude das doses a serem aplicadas e para o manejo sustentável do agroecossistema.

## 4 CONCLUSÕES

Os fertilizantes de gliricídia são capazes de prover nitrogênio à cultura do milho de forma comparável a ureia, garantido os mesmos níveis de produtividade alcançados pelo fertilizante nitrogenado sintético. Entretanto, pelo fato de uma menor proporção do nitrogênio contido nos fertilizantes de gliricídia ser mineralizada ao longo do ciclo da cultura, a entrada de nitrogênio por intermédio desses fertilizantes, sobretudo, em uma primeira adubação, deve ser realizada em dosagem maior que a da ureia para proporcionar os mesmos níveis de produtividade. Contudo, com o uso continuado dos fertilizantes de leguminosas é esperado diminuição da magnitude das doses a serem empregadas, em virtude de melhorias de atributos de qualidade do solo – observadas há um mês após a colheita do milho. Enquanto adubações com ureia acidificam e não aumentam os teores de C-total e N-total do solo, adubações com o fertilizante de gliricídia constituído de folhas e galhos são capazes de promover elevação do pH e aumentos lineares dos teores de C-total e N-total do solo em função do aumento das doses empregadas; e a adubação com o fertilizante de gliricídia derivado apenas de folhas da planta é capaz de elevar o pH e o teor de N-total do solo, sem alterar o teor de C-total do solo.

Devido a mais rápida disponibilização de N-mineral no solo, o crescimento da cultura do milho adubada com ureia ocorre de forma mais acelerada que a adubada com os fertilizantes de gliricídia, considerando-se doses de N próximas ou mais elevadas de ureia. Mas com o passar do tempo, a altura das plantas que receberam adubação nitrogenada em níveis similares tende a se igualar.

O fertilizante de gliricídia constituído apenas de folhas de gliricídia é mais eficiente em prover N à cultura do milho que o fertilizante derivado de folhas e galhos de gliricídia, sendo, portanto, requerido em menor dosagem de N para promover os mesmos níveis de produtividade.

## **CAPÍTULO III**

# **IMPACTOS FITOTÉCNICOS, EDÁFICOS E TECNOLÓGICOS DE ADUBAÇÕES COM FERTILIZANTE DE GLIRICÍDIA E UREIA NA PRODUÇÃO DE CAPIM- CITRONELA**

## RESUMO

O capim-citronela (*Cymbopogon nardus*) é uma planta aromática perene de crescimento cespitoso, cujo óleo essencial é de grande interesse às indústrias farmacêutica, cosmética e de aromas. A espécie propicia múltiplos cortes ao longo do ano e é altamente responsiva a adubações nitrogenadas. Neste estudo, doses crescentes de fertilizante de folhas de gliricídia (*Gliricidia sepium*) foram comparadas a doses crescentes de ureia em experimento com capim-citronela, em condições semicontroladas (vasos e casa de vegetação). O objetivo foi avaliar o potencial dessas adubações em prover N à planta, assim como seus impactos sobre atributos de qualidade do solo, volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>), dinâmica de secagem das folhas em sala com desumidificador de ar e na quantidade e qualidade do óleo essencial produzido. O delineamento experimental consistiu de blocos casualizados, com quatro repetições, em arranjo fatorial 2 x 4 + 1. Os fatores consistiram de duas fontes de N (solução de ureia PA e fertilizante de folhas de gliricídia) e quatro doses de N-total (80, 160, 240, 320 kg ha<sup>-1</sup> de N). O tratamento adicional foi o controle (ausência de adubação nitrogenada). A fim de equalizar o efeito de macro e micronutrientes no solo, deixando-se N como o principal nutriente limitante, todos os tratamentos receberam adubações com doses elevadas de P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes, sendo garantido a todos os tratamentos a mesma dosagem de K, via solução com sulfato de potássio. As adubações nitrogenadas foram divididas em duas aplicações: aos 51 e 100 dias após o plantio dos perfilhos (DAP). Imediatamente após a primeira adubação, foram instaladas câmaras coletoras de amônia, para avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub> aos 2, 4, 7, 10, 14, 18 e 23 dias após aplicação das fontes de N. O primeiro corte das folhas de capim-citronela foi realizado aos 174 DAP, e o segundo, 195 dias depois, ambos a 25 cm de altura. Um dia após o segundo corte, foi cortada a parte inferior das touceiras. Com as folhas do primeiro corte foi montado um experimento para avaliação da dinâmica de secagem da folhagem em sala equipada com desumidificador de ar. Na sequência, foi avaliada a quantidade e a qualidade do óleo essencial contido nessas folhas. Ao fim do experimento de vasos foram avaliados o pH e os teores de C-total e N-total do solo (0-10 cm). No experimento de secagem, verificou-se que os tratamentos que proporcionaram maior acúmulo de N na folhagem foram também os que apresentaram maior perda acumulada de matéria fresca, demorando mais tempo para secar. As adubações com ureia resultaram em máxima produtividade de óleo essencial (267,6 kg ha<sup>-1</sup>) com a dose de 245 kg ha<sup>-1</sup> de N (estimada pelo modelo de regressão quadrático), enquanto as adubações com o fertilizante de gliricídia proporcionaram máxima produtividade (238,4 kg ha<sup>-1</sup> de óleo essencial) com a dose de 320 kg ha<sup>-1</sup> de N. Foram identificadas 27 substâncias no óleo essencial de citronela, sendo as principais: o citronelal (23,2-30,9%), o geraniol (11,8-15,4%), o elemol (8,4-13,9%), o citronelol (9,8-11,8%) e o alfa-cadinol (5,8-6,4%), que perfizeram juntas 66,5-72,2% do total. A quantidade total de N recuperado dos fertilizantes nas folhas e colmos do capim-citronela foi de 40,1% para ureia e de 17,7% para o fertilizante de gliricídia. Contudo, em média 19,9-29,3% do N contido nas adubações com ureia foram perdidos na forma de amônia, contra apenas 6,6-14,7% do N contido nas adubações com o fertilizante de gliricídia. No solo, as adubações com fertilizante de gliricídia promoveram aumento linear do pH e do teor de N-total, enquanto as adubações com ureia promoveram decréscimo linear do pH e não aumentaram o teor de N-total no solo. Isso significa que do ponto de vista ambiental o manejo da fertilidade do solo via fertilizante de gliricídia é mais sustentável do que com a aplicação de ureia.

**Palavras-chave:** *Cymbopogon nardus*, óleo essencial, volatilização de amônia.



## ABSTRACT

The citronella grass (*Cymbopogon nardus*) is an aromatic perennial plant with cespitose growth type, whose essential oil is of great interest to the pharmaceutical, cosmetics and fragrances industry. The species provides multiple cuts during the year and is highly responsive to nitrogen fertilization. In this study, increasing doses of fertilizer prepared from leaves of gliricidia (*Gliricidia sepium*) were compared to increasing doses of urea in an experiment with citronella grass in semi-controlled conditions (pots in a greenhouse). The objective was to evaluate the potential of these fertilizers in providing N to the plant, as well as its impacts on quality attributes of the soil, volatilization of ammonia (NH<sub>3</sub>), drying leaves dynamic in a room where the air was dehumidified, and the quantity and quality of essential oil produced. The experiment consisted of a randomized block design with four replications in a factorial 2 x 4 + 1. The factors consisted of two N sources (urea solution PA and gliricidia fertilizer leaves) and four doses of total-N (80, 160, 240, 320 kg N ha<sup>-1</sup>). The additional treatment was the control (no fertilization). In order to equalize the effect of macro and micronutrients in the soil, leaving N as the primary limiting nutrient, all treatments were fertilized with high doses of P, K, Ca, Mg, S and micronutrients being guaranteed to all treatments the same dose of K as potassium sulphate source. Nitrogen fertilization was divided into two applications at 51 and 100 days after planting the tillers (DAP). Immediately after the first fertilization, collecting chambers were installed for ammonia (N-NH<sub>3</sub>) loss evaluation at 2, 4, 7, 10, 14, 18 and 23 days after application of N sources. The first cut of citronella leaves was carried out at 174 DAP, and the second 195 days after, both at 25 cm height. One day after the second cut, the plant clump was cut at the bottom. With the leaves of the first cut it was set an experiment to evaluate the dynamics of drying of foliage in a room equipped with air dehumidifier. In sequence it was evaluated the quantity and quality of essential oil contained in these leaves. At the end of the pot experiment it was evaluated pH and levels of total-C and total-N of the soil (0-10 cm). In the drying experiment, it was found that the treatments that provided greater N accumulation in the foliage were also those with the highest cumulative loss of fresh weight taking longer to dry. Urea resulted in maximum productivity of essential oil (267.6 kg ha<sup>-1</sup>) at a dose of 245 kg N ha<sup>-1</sup> (estimated by quadratic regression model). Gliricidia fertilizer provided its maximum yield (238.4 kg ha<sup>-1</sup> of essential oil) at a dose of 320 kg N ha<sup>-1</sup>. Twenty-seven substances were identified in the essential oil, the main ones being: citronellal (23.2 to 30.9%), geraniol (11.8 to 15.4%), elemol (8.4 to 13.9%), citronellol (9.8 to 11.8%) and alpha-cadinol (5.8 to 6.4%), which together made up from 66.5 to 72.2% of the total. The total amount of N derived from fertilizer recovered in the leaves and stems of citronella grass was 40.1% for urea and 17.7% for gliricidia fertilizer. However, an average of 19.9 to 29.3% of the N contained in the fertilizer with urea were lost in the form of ammonia compared to only 6.6 to 14.7% of the N contained in gliricidia fertilizer. Application of gliricidia fertilizer promoted linear increase in soil pH and N-total concentration while application of urea promoted a linear decrease in soil pH and no increase in N-total concentration. This means that from the environmental point of view the management of soil fertility via gliricidia fertilizer is more sustainable than via application of urea.

**Keywords:** *Cymbopogon nardus*, essential oil, ammonia volatilization.

## 1 INTRODUÇÃO

O capim-citronela é uma planta aromática perene pertencente à família Poaceae (antiga Gramineae), cujo óleo essencial é de grande interesse às indústrias farmacêutica, cosmética e de aromas (SHASANY et al., 2000). Citronelal, geraniol e citronelol são seus principais constituintes aromáticos, sendo empregados em uma gama de aplicações industriais, ao exemplo do citronelal, que é utilizado como material básico para síntese de importantes compostos químicos denominados iononas e para síntese de vitamina A (CASTRO et al., 2010).

O óleo de citronela também é conhecido pela ação: repelente ao *Aedes aegypti* e outros mosquitos (JANTAN & ZAKI, 1999; TAWATSIN et al., 2001; AMER & MEHLHORN, 2006), acaricida (CHUNGSAMARNYART & JIWAJINDA, 1992; MARTINS, 2006; OLIVO, et al., 2008), anti-fúngica (NAKAHARA et al., 2003; MEDICE et al., 2007) e antibacteriana (COSTA et al., 2008).

Comercialmente, são cultivadas duas espécies: a citronela do Ceilão (*Cymbopogon nardus*) e a citronela de Java (*Cymbopogon winterianus*) que, dependendo da procedência, podem ter composição do óleo essencial muito próxima (SHASANY et al., 2000).

A planta possui crescimento cespitoso (cresce em toceira), oferecendo múltiplos cortes ao longo do ano. Sua colheita tem como peculiaridade conciliar a produção de biomassa com a máxima quantidade e, dependendo do mercado ou aplicação, é dada atenção à qualidade do óleo essencial.

O espaçamento, altura e época de corte influenciam tanto na quantidade como na qualidade do óleo essencial produzido (MARCO et al., 2007).

Em experimento de campo com diferentes doses de N (0, 150, 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N) e diferentes inibidores de nitrificação, verificou-se que as plantas são altamente responsivas à aplicação de N, entretanto, o teor e a participação dos principais constituintes do óleo essencial não são afetados (PUTTANNA et al., 2001).

Objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de adubações com ureia e fertilizante de folhas de gliricídia em prover N ao capim-citronela, assim como os impactos dessas adubações sobre atributos de qualidade do solo, volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>), dinâmica de secagem da folhagem em sala com desumidificador de ar e na quantidade e qualidade do óleo essencial produzido.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Informações Gerais dos Experimentos

Neste Capítulo constam dois experimentos, um em vasos com capim-citronela, no qual foram avaliados atributos fitotécnicos (referentes à parte aérea da planta, folhagem do primeiro corte e folhagem e colmos do segundo corte), edáficos (pH, e teores de C-total e N-total no solo, no início e no final do experimento) e tecnológicos [volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>) do primeiro parcelamento das adubações]; e outro onde foi avaliando a evolução da secagem das folhas do primeiro corte do capim-citronela em sala com desumidificador de ar.

Todos os experimentos tiveram o mesmo delineamento experimental.

### 2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental consistiu de blocos casualizados com quatro repetições, em arranjo fatorial 2 x 4 + 1. Os fatores foram duas fontes de N (ureia PA e fertilizante de gliricídia) e quatro doses de N-total (80, 160, 240, 320 kg ha<sup>-1</sup> de N). O tratamento adicional consistiu do controle (ausência de adubação nitrogenada).

### 2.3 Obtenção do Fertilizante de Gliricídia e suas Características Químicas

O fertilizante de gliricídia foi obtido pela desidratação e moagem de folhas de gliricídia derivadas de aléias de árvores com cerca de seis anos de idade, situadas no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (ALMEIDA et al., 2003), manejadas em regime recepa alta (±1,8 m de altura) a cada 4 ou 6 meses. Em 2 de janeiro de 2008, foram recepadas três árvores. Galhos foram separados de folhas manualmente sobre plástico preto. A desidratação das folhas foi realizada a pleno sol em casa de vegetação, até 7,6% de umidade (base úmida), e a moagem em moinho de facas equipado com peneira de 2 mm. Foram produzidos 12 kg desse fertilizante que, depois de homogeneizado, foi armazenado em sacolas de polietileno, sendo retiradas nove amostras para análise.

O teor de N foi determinado após digestão sulfúrica pelo método Kjeldahl (ALVES et al. 1999). Os teores de P, K, Ca, Mg e S foram determinados após digestão nítrico-perclórica (BATAGLIA et al., 1983), sendo o teor de P determinado em espectrofotômetro, após formação do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico; o teor de K, em espectrofotômetro de chama; e os teores de Ca, Mg e S foram determinados em plasma.

### 2.4 Implantação e Condução do Experimento nos Vasos com Capim-citronela

#### 2.4.1 Características do local do experimento

O experimento em vasos com capim-citronela (*Cymbopogon nardus*) foi conduzido em casa de vegetação dotada de cobertura de polietileno transparente e laterais revestidas com tela antiafídica, situada em área da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ (latitude 22° 45' 31,92" S; longitude 43° 40' 50,99" W; altitude 31 m. Fonte: GOOLE EARTH, 2012).

Os vasos foram mantidos sobre mesas, sendo cada mesa um bloco. Aos pés das mesas foi colocado polvilho antisséptico, a fim de repelir a subida de formigas.

#### 2.4.2 Preparo da terra e enchimento dos vasos

Vasos de plástico rígido com capacidade volumétrica de 21 L, 29,5 cm de diâmetro e fundo perfurado receberam camada de 3 cm de britas e 19 kg de terra, oriunda de camada arável (0-20 cm) de um Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006), situado no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ.

A terra foi previamente peneirada em malha de 7 mm, homogeneizada e adubada em betoneira com termofosfato sílico-magnésiano (126 kg ha<sup>-1</sup> de P-total), fosfato natural reativo (210 kg ha<sup>-1</sup> de P-total) e sulfato de potássio (75 kg ha<sup>-1</sup> de K). As dosagens foram estipuladas, por planta/vaso, considerando uma população de 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>, referente ao espaçamento 0,5 x 0,5 m – o mais produtivo segundo Marco et al. (2006). Essas dosagens equivaleriam em campo a aplicação de 336, 181, 915, 116, 75 e 31 kg ha<sup>-1</sup> de P-total, P-solúvel em ácido cítrico a 2%, Ca, Mg, K e S, respectivamente, e de 1,7; 2,0; 0,1; 9,1; 0,8 kg ha<sup>-1</sup> de B, Mn, Mo, Zn e Cu, respectivamente. Adubações complementares com soluções de sulfato de potássio, como fonte de K e S, foram realizadas ao longo da condução do experimento, visando garantir o fornecimento da mesma quantidade de K (260 kg ha<sup>-1</sup> de K) em todos os tratamentos, haja vista que as adubações com os fertilizante de glicíndia aportam quantidades consideráveis desse elemento. Esse conjunto de adubações teve como objetivo elevar os teores de macro e micronutrientes no solo, deixando-se N como o principal nutriente limitante.

Amostras da terra foram coletadas antes e depois da adubação e analisadas em laboratório, conforme procedimentos descritos em Silva et al. (1998). A terra foi caracterizada como de textura média (EMBRAPA, 2006) por apresentar 618, 296 e 86 g kg<sup>-1</sup> de areia, argila e silte, respectivamente. A **Tabela 32** apresenta os demais resultados das análises realizadas.

**Tabela 32.** Resultados da análise química da terra antes e depois da adubação inicial.

| Terra              | pH*                | C    | N    | Al                                    | Ca  | Mg  | P                      | K     |
|--------------------|--------------------|------|------|---------------------------------------|-----|-----|------------------------|-------|
|                    | (H <sub>2</sub> O) | (%)  |      | (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) |     |     | (mg dm <sup>-3</sup> ) |       |
| Antes da adubação  | 5,2                | 1,06 | 0,11 | 0,1                                   | 2,8 | 0,7 | 6,4                    | 65,0  |
| Depois da adubação | 5,7                | 1,04 | 0,11 | 0,0                                   | 3,9 | 1,2 | 74,6                   | 138,3 |

\*Determinação de pH em H<sub>2</sub>O; extração de Al, Ca e Mg em KCl (1 mol L<sup>-1</sup>); extração de P e K em solução Mehlich-1; extração de H+Al em solução de acetato de cálcio (SILVA et al., 1998).

Em 4 de janeiro de 2008, os vasos foram enchidos de terra e desde então mantidos molhados. Quatro dias depois, foram coletadas amostras (0-10 cm) no centro de cada vaso, formando quatro amostras compostas de nove subamostras, uma de cada bloco. Essas amostras foram levadas para o laboratório e, ainda úmidas, peneiradas em malha de 2 mm, dando-se procedência as determinações dos teores de C e N da biomassa microbiana do solo (CBM, VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988; CBM-plus, DE-POLLI et al., 2007; NBM, BROOKES et al., 1985) e respiração basal do solo (RBS, JENKINSON & POWLSON, 1976). Em seguida, determinou-se o quociente metabólico, qCO<sub>2</sub> (ANDERSON & DOMSCH, 1990). Os resultados dessas análises são apresentados na **Tabela 33**.

**Tabela 33.** Atributos biológicos do solo, antes do plantio da citronela.

| Terra            | CBM                    | CBM-plus     | NBM         | RBS  | qCO <sub>2</sub>  |
|------------------|------------------------|--------------|-------------|--|---|
|                  | (mg kg <sup>-1</sup> ) |              |             | (mg C-CO <sub>2</sub> h <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ) | (mg C-CO <sub>2</sub> h <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> CBM) |
| Antes do plantio | 140,7 ± 8,50           | 529,7 ± 4,75 | 22,1 ± 0,75 | 0,172 ± 0,007  | 1,22 ± 0,38   |

Média±desvio padrão de quatro repetições do CBM: carbono da biomassa microbiana; do NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; da RBS: respiração basal do solo; e do qCO<sub>2</sub>: coeficiente metabólico do solo.

### 2.4.3 Do plantio ao primeiro corte

Em 12 de janeiro de 2008, propágulos (perfilhos) padronizados de capim-citronela (*Cymbopogon nardus*), oriundos da divisão de touceiras do campo experimental de plantas medicinais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), foram plantados no centro dos vasos (um por vaso) à profundidade de 7 cm. Os perfilhos foram selecionados e padronizados levando-se em consideração o diâmetro basal e comprimento das hastes com as folhas cortadas a 10 cm da bainha. Aos 25 dias após o plantio (DAP), para fins de padronização e controle fitossanitário, foi realizado corte das plantas a 21 cm de altura.

As adubações nitrogenadas foram parceladas em duas aplicações, aos 51 e 100 DAP. Na primeira, foi realizado revolvimento da terra a 2,5 cm de profundidade, com um miniancinho. Esse revolvimento foi realizado antes da aplicação da ureia (em solução), depois da aplicação do fertilizante de gliricídia e nos vasos do tratamento controle. Na segunda, não houve revolvimento da terra para evitar a danificação do sistema radicular do capim-citronela. Imediatamente após cada adubação foi aplicada água.

Adubações em cobertura com solução de sulfato de potássio foram parceladas em duas aplicações, aos 83 e 117 DAP, estipuladas de modo a complementar as adubações com o fertilizante de gliricídia e garantir o fornecimento de 6,5 g vaso<sup>-1</sup> de K (adubação inicial + adubações em cobertura) a todos os tratamentos.

Água foi aplicada quase que diariamente, para evitar encolhimento da terra e passagem preferencial da água entre a terra e o vaso. Os casos foram mantidos livres de plantas espontâneas, por remoção manual.

### 2.4.4 Primeiro corte das folhas do capim-citronela e avaliações

O primeiro corte da citronela foi realizado em 4 de julho de 2008, aos 174 DAP, entre 9:00 e 11:00 horas, período do dia em que a planta encontra-se com maior conteúdo de óleo essencial. Um dia antes do corte, os vasos foram preenchidos com água, próximo à saturação, buscando-se máxima turgidez das folhas no momento da colheita.

As folhas foram cortadas a 25 cm de altura, colocadas em engradados de feira previamente tarados e numerados, sendo imediatamente pesados, obtendo-se a massa de matéria fresca. Esses engradados foram imediatamente levados para um laboratório, onde foi montado o experimento para avaliação da dinâmica de secagem das folhas do capim-citronela em sala com desumidificador de ar.

Nas folhas do primeiro corte foram avaliados: matéria fresca, matéria seca, percentual de matéria seca na matéria fresca teores e acúmulos de N na matéria seca, dinâmica de secagem das folhas em sala com desumidificador de ar, teor, produtividade e qualidade do óleo essencial.

#### 2.4.5 Entre o primeiro e segundo corte do capim-citronela

Após o primeiro corte nenhuma adubação foi realizada, para que fosse possível a avaliação do efeito residual das adubações, sendo mantida a remoção de plantas espontâneas e a aplicação de água.

#### 2.4.6 Segundo corte das folhas do capim-citronela e avaliações

O segundo corte foi realizado em 15 de janeiro de 2009, 195 dias após o primeiro. No dia anterior ao corte, os vasos foram preenchidos com água, próximo à saturação, buscando-se máxima turgidez das folhas no momento da colheita.

As folhas foram cortadas a 25 cm de altura, sendo imediatamente pesadas, acondicionadas em sacos de papel pré-identificados e levadas para estufa com ventilação forçada de ar e regulada a 65°C, onde permaneceram por cinco dias.

Nas folhas do segundo corte foram avaliados: matéria fresca, matéria seca, percentual de matéria seca na matéria fresca e teores e acúmulos de N na matéria seca.

#### 2.4.7 Corte dos colmos do capim-citronela e avaliações

No dia seguinte do segundo corte das folhas, os colmos foram cortados rente a terra, sendo acondicionados em sacos de papel pré-identificados, os quais foram mantidos em estufa com ventilação forçada e regulada a 65° C até ficarem secos. Nesses colmos foram determinados a matéria seca e os teores e acúmulos de N na matéria seca.

### 2.5 Experimento para Avaliação da Dinâmica de Secagem das Folhas do Primeiro Corte

Engradados de plástico com as folhas recém-cortadas do primeiro corte do capim-citronela, foram levados para sala com desumidificador de ar, situada na UFRRJ. Os engradados foram empilhados em torno do desumidificador de ar, respeitando o delineamento estatístico do experimento de origem.

Pesagens foram realizadas imediatamente antes da entrada das caixas na sala e a cada 24 h (exceto do 7º para o 9º dia: 48 h), sendo a folhagem revirada a cada pesagem.

A perda acumulada de massa fresca foi calculada pela Equação (I) e a perda de umidade da folhagem pela Equação (II).

$$PAMF_{ij} (\%) = \frac{(MF_i - M_{ij})}{MF_i} \cdot 100 \quad (I)$$

Onde: PAMF<sub>ij</sub> (%) = perda acumulada de massa fresca da parcela “i” no dia “j”; MF<sub>i</sub> (g) = massa fresca da parcela “i” assim que colhida (pesagem na casa de vegetação); M<sub>ij</sub> (g) = massa da parcela “i” no dia “j”; 100 = fator de conversão para porcentagem.

$$U_{ij} (\%) = \frac{(M_{ij} - MS_i)}{M_{ij}} \cdot 100 \quad (II)$$

Onde: U<sub>ij</sub> (%) = umidade da folhagem da parcela “i” no dia “j”; M<sub>ij</sub> (g) = massa da parcela “i” no dia “j”; MS (g) = massa seca da parcela “i” após secagem em estufa a 65°C; 100 = fator de conversão para porcentagem.

Após verificação da massa constante, as folhas foram picadas com tesoura, em pedaços entre 1 e 5 cm, sendo posteriormente homogêneas e acondicionadas em sacos de plástico. Antes disso subamostras foram retiradas, pesadas e mantidas em estufa com ventilação forçada de ar e regulada a 65°C, por cinco dias, para determinação da matéria seca e umidade. A partir dessas amostras foi determinado o teor de N das folhas do primeiro corte.

## 2.6 Análise do Óleo Essencial das Folhas do Primeiro Corte do Capim-citronela

Devido ao elevado custo das análises de extração e determinação da quantidade e qualidade do óleo essencial, foi encaminhada para análise uma composta de cada tratamento, constituída pela mistura das amostras/repetições picadas (não-secadas em estufa) do experimento para avaliação da dinâmica de secagem das folhas do primeiro corte do capim-citronela. Essas amostras foram acondicionadas em sacos de plástico e encaminhadas para Embrapa Agroindústria de Alimentos, onde foram realizadas a extração e análise do óleo essencial. A extração do óleo essencial foi realizada em aparelho Clevenger modificado, sendo utilizadas 100,0 g de cada amostra. A identificação e a quantificação das substâncias que compunham o óleo essencial da citronela foi realizada por cromatografia gasosa de alta resolução acoplada à espectrometria de massas.

## 2.7 Determinação da Quantidade de Amônia Volatilizada do Solo

Imediatamente após o primeiro parcelamento das adubações com as fontes de N e no tratamento controle, aos 51 DAP, foram instaladas câmaras coletoras de amônia ( $\text{NH}_3$ ) – câmara coletora semiaberta livre estática (ARAUJO et al., 2009) –, sendo uma por vaso e mais uma por bloco (**Figura 23**). Esta última foi utilizada como o branco das determinações.



**Figura 23.** Câmaras coletoras de amônia ( $\text{NH}_3$ ) instaladas no experimento de capim-citronela.

A câmara coletora foi confeccionada com garrafa PET de 2 L e diâmetro médio da base de 9,8 mm. No interior da câmara, foi colocado um sistema absorvedor de amônia, constituído de uma lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, suspensa verticalmente com o auxílio de um fio rígido de 1,5 mm de diâmetro. A espuma, antes de ser colocada no interior da câmara, era embebida dentro de um frasco plástico de 45 mL, com 10 mL de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) + glicerina (2% v/v). A espuma era esticada no fio e o frasco ficava preso com elástico na parte inferior do fio com a ponta da espuma em seu interior. A cada avaliação a espuma foi recolhida para dentro do frasco, que era imediatamente tampado, sendo colocada uma nova espuma na câmara coletora para avaliação subsequente (para maiores detalhes ver Araujo et al., 2009). Não houve distância entre a terra e a base da câmara coletora, para evitar captura da amônia volatilizada ao seu redor.

A determinação da quantidade de  $\text{N-NH}_3$  foi realizada no mesmo dia da retirada da espuma, após destilação direta a vapor do  $\text{NH}_3$  adsorvido na espuma e contido no restante da solução de embebição (não é preciso digestão sulfúrica). Ou seja, a espuma foi inserida no frasco de mistura do Kjeldahl (de 250 mL) e o frasco de plástico foi rinsado várias vezes com água destilada, de modo a deslocar o restante da solução de embebição para o frasco do Kjeldahl. Esse procedimento, só foi possível por se tratar de um destilador manual. Em destilador automático ou semiautomático, deve ser usada apenas a solução, conforme descrito em Araujo et al. (2009). Os procedimentos para captura da solução com amônia destilada e quantificação do  $\text{N-NH}_3$  são descritos em Alves et al. (1999).

As avaliações de volatilização de  $\text{N-NH}_3$  foram realizadas aos 2, 4, 7, 10, 14, 18 e 23 dias após o primeiro parcelamento da adubação.

Os valores obtidos foram corrigidos pela eficiência de captura dos coletores no ambiente em que foi conduzido o experimento, conforme o recomendado por Araujo et al., 2006. Para determinar essa eficiência foi utilizado o método descrito a seguir.



### 2.7.1 Determinação da eficiência de captura da amônia volatilizada

Para mensuração da eficiência de captura da amônia volatilizada foi utilizado o método da seringa (não publicado). Câmaras coletoras foram acopladas em cima de bases de garrafas PET. Essas bases foram obtidas pelo corte de garrafas PET a 8 cm da base. Após o corte, foi realizado a 1 cm da extremidade superior um pequeno orifício, com auxílio de um perfurador de papel (**Figura 24**).



**Figura 24.** Detalhe do acoplamento da câmara coletora de amônia sobre base de garrafa PET e do rífcio destinado à entrada da agulha da seringa (cículo vermelho).

Antes do acoplamento, utilizando-se uma pipeta automática calibrada, foi inserida uma alíquota de 10 mL de solução de sulfato de amônio levemente acidificada<sup>‡</sup>, em quatro das bases. Em seguida, base e câmara coletora foram lacradas com fita adesiva. Na sequência, com auxílio de uma seringa, foi inserido pelo orifício, deixado na base, 50 mL de solução de

<sup>‡</sup>A solução de sulfato de amônio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  levemente acidificada foi preparada em balão volumétrico de 1.000 mL, sendo adicionados 28,4642 g de sulfato de amônio  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4; \text{PA}]$ , água destilada e 5 mL de ácido sulfúrico  $(\text{H}_2\text{SO}_4; \text{PA})$ , formando uma solução nitrogenada ácida com aproximadamente  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

hidróxido de sódio<sup>§</sup> (NaOH), sendo o furinho tampado com fita adesiva. No dia seguinte, foi inserido mais 50 mL da solução de NaOH, sendo o furinho novamente tampado com a fita. Esse procedimento foi realizado para possibilitar volatilização gradual e total do N contido na solução de sulfato de amônio. Após 48 h a quantidade de N capturado pela esponja da câmara coletora de NH<sub>3</sub> foi determinada diretamente em Kjeldahl. Como brancos do método foram utilizadas quatro bases acopladas às câmaras coletoras, que receberam apenas os 100 mL da solução de NaOH.

Como a eficiência da câmara coletora semiaberta livre estática é mantida, mesmo com aumento da taxa de volatilização de NH<sub>3</sub>, tanto em casa de vegetação como em condições de campo (ARAUJO et al., 2009), utilizou-se apenas uma dose de N (80 kg ha<sup>-1</sup>), em quatro repetições, para determinação da eficiência de captura de NH<sub>3</sub>.

A eficiência do coletor (E<sub>c</sub>) foi estimada pela Equação (III).

$$E_c (\%) = (N\text{-NH}_3 \text{ volatilizado} / N\text{-NH}_3 \text{ aplicado}) \times 100 \quad (\text{III})$$

A eficiência estimada para o coletor foi de 91,5±0,9% (média ± erro padrão da média de quatro repetições). Essa eficiência foi utilizada para correção (divisão) dos valores de N-NH<sub>3</sub> volatilizado das adubações.

## 2.8 Análise da Terra ao Final do Experimento

Em 21 de abril de 2009 (1 ano após a segunda adubação), a terra dos vasos encontrava-se seca em forma de um grande torrão. Essa terra foi desenhada, sendo cortada uma secção de 10 cm de espessura da parte superior. Esse corte foi realizado com auxílio de um molde de 10 cm de espessura, um facão e um pedaço de madeira. A terra foi destorroada, desenraizada e peneirada em malha de 2 mm.

Foi realizada determinação de pH e dos teores de C-total e N-total da terra. O pH foi determinado em H<sub>2</sub>O (SILVA et al., 1998); o teor de C-total, por dicromatometria (TEDESCO et al., 1995) e o teor de N-total, pelo método Kjeldahl, após digestão sulfúrica (ALVES et al., 1999).

## 2.9 Preparo das Amostras de Tecido Vegetal e Análises de Macronutrientes

As amostras foram secadas em estufa com ventilação forçada de ar e regulada a 65°C. Em seguida foram finamente moídas em moinho Wiley e armazenadas em frascos de acrílico, hermeticamente fechados.

Os teores de P, K, Ca e Mg foram determinados após digestão nítrico-perclórica (BATAGLIA et al., 1983). O P em espectrofotômetro, após formação do complexo fosfato-molibdato na presença de ácido ascórbico como redutor; Ca e Mg por espectrometria de absorção atômica; e o K em espectrofotômetro de chama. O N foi determinado pelo método Kjeldahl, após digestão sulfúrica (ALVES et al., 1999). O teor de C, pelo método da perda por ignição (KIEHL, 1985), adotando-se 4 h em estufa a 105°C, e 2,5 h em mufla a 550°C.

---

<sup>§</sup>A solução de hidróxido de sódio (NaOH) foi preparada diluindo-se 12 g de NaOH (PA) em água destilada, em balão volumétrico em 2.000 mL, formando uma solução básica com aproximadamente 0,15 mol L<sup>-1</sup> de NaOH.

## 2.10 Determinação da Eficiência das Adubações (N derivado do fertilizante)

A eficiência das adubações foi determinada pelo método da diferença de N descrita em Handayanto et al. (1997), estimando o percentual de N na matéria seca da parte aérea da planta derivado das adubações. O percentual de N derivado das adubações com ureia e fertilizante de gliricídia foi calculado com a Equação (II).

$$\text{N derivado do fertilizante (\%)} = (\text{NacT} - \text{NacC}) \times 100 / \text{dose} \quad (\text{II})$$

Onde:

NacT = N acumulado na matéria seca da parte aérea do tratamento que recebeu adubação com nitrogênio;

NacC = N acumulado na matéria seca da parte aérea do controle; e

dose = dose de N do tratamento.

## 2.11 Análises Estatísticas

Depois de verificado o atendimento às pressuposições de normalidade e homogeneidade da variância dos erros, os dados de cada variável foram submetidos à análise de variância ( $P < 0,05$ ), seguida por análise de regressão quando o fator foi de natureza quantitativa. As análises foram realizadas com auxílio dos softwares Microsoft<sup>®</sup> Office Excel<sup>®</sup>, Sisvar<sup>®</sup> (Sistema de Análise de Variância) da Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2000) e SigmaPlot<sup>®</sup>.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Primeiro Corte das Folhas do Capim-citronela

No primeiro corte das folhas de capim-citronela, verificou-se que o contraste entre o controle e os tratamentos que receberam N foi altamente significativo ( $P < 0,0001$ ) para todas as variáveis fitotécnicas avaliadas (**Tabela 34**), significando que as adubações nitrogenadas promoveram alterações expressivas na magnitude de resposta da planta.

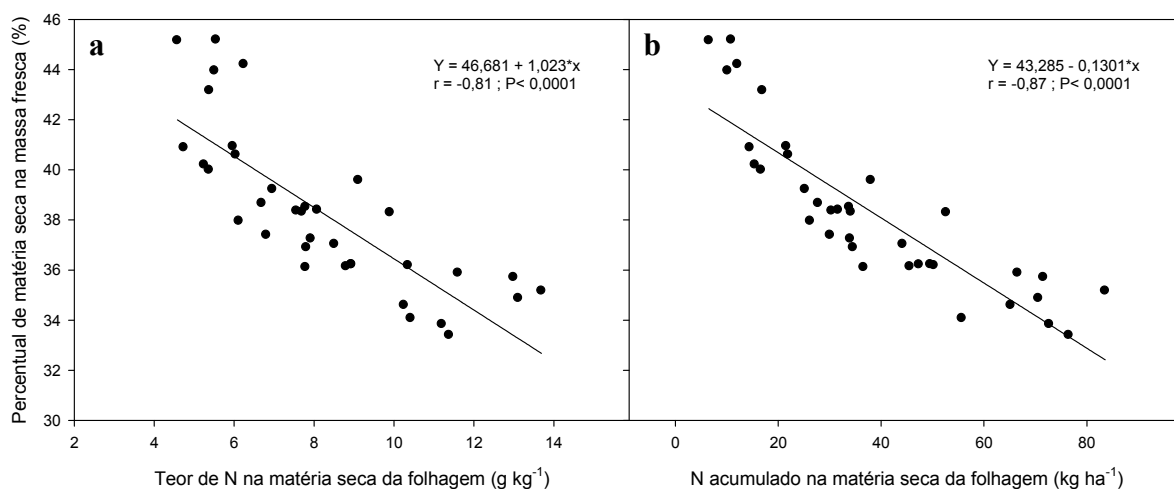
**Tabela 34.** Médias, erro padrão e resultados da análise de variância das avaliações fitotécnicas na folhagem do primeiro corte do capim-citronela em função dos níveis dos fatores e do tratamento adicional.

| Fonte de variação                |                            | Matéria fresca         | Matéria seca      |                             | Quantidade de perfilhos                     | Teor de N na matéria seca | N acumulado na folhagem | Quantidade de óleo essencial |
|----------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|---|---------------------------|-------------------------|------------------------------|
|                                  |                            | (Mg ha <sup>-1</sup> ) | (%)               | (nº toceira <sup>-1</sup> ) | (g kg <sup>-1</sup> )                       | (kg ha <sup>-1</sup> )    |                         |                              |
| Adicional                        | Controle                   | 4,0                    | 1,8               | 44,6                        | 19,6  | 5,5                       | 9,9                     | 86,5                         |
|                                  | Ureia                      | 14,7                   | 5,3               | 36,1                        | 37,8  | 10,2                      | 54,9                    | 235,5                        |
|                                  | Fertilizante de gliricídia | 10,5                   | 4,1               | 38,9                        | 32,5  | 6,9                       | 29,0                    | 190,0                        |
| Fonte de N                       | 80                         | 8,8                    | 3,5               | 40,0                        | 26,4  | 6,4                       | 23,3                    | 153,5                        |
|                                  | 160                        | 12,6                   | 4,7               | 37,7                        | 34,0  | 8,0                       | 39,1                    | 211,9                        |
|                                  | 240                        | 13,8                   | 5,0               | 36,5                        | 36,5  | 9,6                       | 48,9                    | 249,4                        |
| Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> ) | 320                        | 15,4                   | 5,5               | 35,9                        | 43,8  | 10,1                      | 56,4                    | 236,2                        |
|                                  | Erro padrão (Adicionais)   | 0,655                  | 0,204             | 0,448                       | 1,399                                       | 0,510                     | 3,535                   | 9,193                        |
|                                  | Erro padrão (Fonte de N)   | 0,328                  | 0,102             | 0,224                       | 0,699                                       | 0,255                     | 1,767                   | 4,597                        |
|                                  | Erro padrão (Dose de N)    | 0,463                  | 0,145             | 0,317                       | 0,989                                       | 0,361                     | 2,499                   | 6,501                        |
| <b>Análise de variância</b>      |                            |                        |                   |                             | <b>Significância do teste F<sup>†</sup></b> |                           |                         |                              |
| Fonte de N                       |                            | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b>           | <b>&lt;0,0001</b>                           | <b>&lt;0,0001</b>         | <b>&lt;0,0001</b>       | <b>&lt;0,0001</b>            |
| Dose de N                        |                            | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b>           | <b>&lt;0,0001</b>                           | <b>&lt;0,0001</b>         | <b>&lt;0,0001</b>       | <b>&lt;0,0001</b>            |
| Fonte*Dose                       |                            | 0,3056                 | 0,5217            | 0,5030                      | 0,0730                                      | 0,4194                    | 0,0784                  | <b>0,0135</b>                |
| Fatorial vs Controle             |                            | <b>&lt;0,0001</b>      | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b>           | <b>&lt;0,0001</b>                           | <b>&lt;0,0001</b>         | <b>&lt;0,0001</b>       | <b>&lt;0,0001</b>            |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos ( $P < 0,05$ ) na análise de variância.

Verificou-se também que o capim-citronela respondeu positivamente ao aumento das doses de N para as variáveis: matéria fresca, matéria seca, quantidade de perfilhos e teor e acúmulo de nitrogênio, sendo a magnitude da resposta mais positiva quando a fonte de N foi a ureia (**Tabela 34**).

O percentual de matéria seca foi a única variável que decresceu com a aplicação de ureia e aumento das doses de N. Essa variável apresentou correlação negativa com teor e acúmulo de N (**Figura 25**). Correlação negativa para essas variáveis também foi verificada por Almeida et al. (2009) e Lixa et al. (2009) para rúcula (*Eruca sativa*), que apontaram o percentual de matéria seca na massa fresca como um eficaz indicador do teor e do acúmulo de N na parte aérea da rúcula, em condições de experimento nas quais N foi o principal nutriente limitante. Tudo indica que com aumento das concentrações de N as folhas fiquem mais turgidas.



**Figura 25.** Correlações entre o percentual de matéria seca na massa fresca em função do teor de nitrogênio (a) e do acúmulo de nitrogênio (b) na matéria seca da folhagem do primeiro corte do capim-citronela.

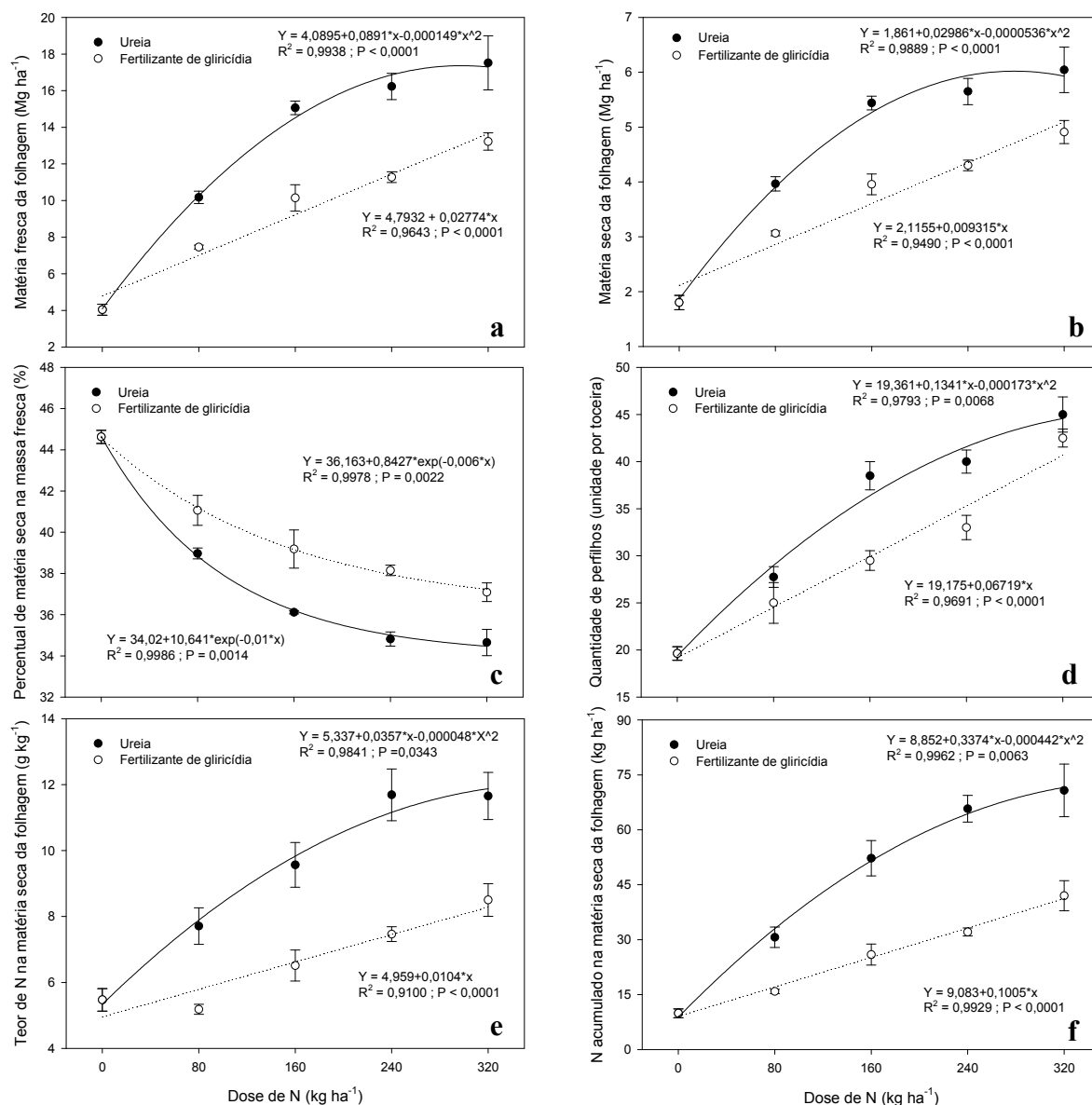
Com respeito à produção de óleo essencial, a ocorrência de interação entre fonte e dose de N ( $P = 0,0135$ ) (**Tabela 34**) indica que as fontes de N apresentaram efeito de magnitude diferenciada dentro dos níveis do fator dose, sendo necessário para o correto entendimento do fenômeno o desdobramento da interação.

No tópico a seguir são estudados os modelos de regressão de cada variável, sendo incluso o controle como dose de  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

### 3.1.1 Análises de regressão

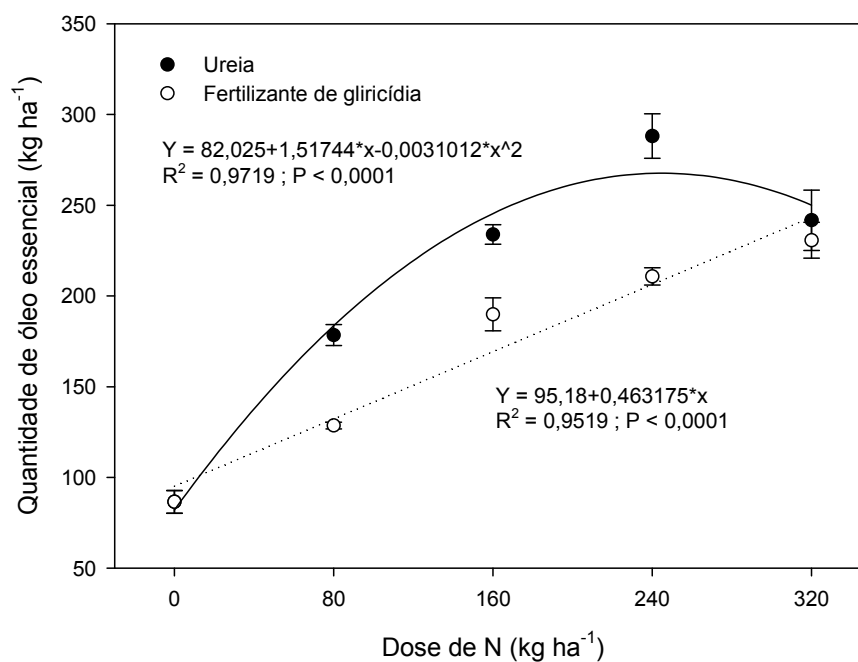
A **Figura 26** mostra os resultados das análises de regressão para as variáveis do primeiro corte do capim-citronela: matéria fresca, matéria seca e percentual de matéria seca na massa fresca da folhagem, quantidade de perfilhos e teor e acúmulo de nitrogênio na matéria seca. Com exceção do percentual de matéria seca (**Figura 26c**), todas as outras variáveis apresentaram resposta quadrática ao aumento das doses de ureia e resposta linear ao aumento das doses de fertilizante de gliricídia. Isso significa que com as doses mais altas de ureia tendeu a ocorrer o chamado consumo de luxo, onde não é percebido retorno significativo da adubação ou até mesmo decréscimo de produtividade. Com o fertilizante de gliricídia as doses poderiam ter sido mais altas, pois até  $320 \text{ kg ha}^{-1}$  de N os acréscimos de produtividade em função das doses de N não foram decrescentes.

O percentual de matéria seca foi mais bem explicado pelo modelo de decaimento exponencial, em ambas as fontes de N. Isso ocorreu porque a proporção de matéria seca tendeu a se estabilizar em um valor mínimo com o aumento das doses de N, fenômeno que não seria explicado pela equação quadrática.



**Figura 26.** Matéria fresca (a), matéria seca (b) e percentual de matéria seca na massa fresca da folhagem (c), quantidade de perfilhos (d), teor de nitrogênio na matéria seca (e) e acúmulo de nitrogênio na folhagem (f) do primeiro corte do capim-citronela, em função das fontes e doses de nitrogênio. Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições.

Sabe-se que o principal interesse econômico no cultivo do capim-citronela está na produção do óleo essencial. A **Figura 27** mostra que as doses de N-ureia aplicadas foram suficientes para ultrapassar a quantidade de N requerida pela cultura para alcançar o ponto máximo de rendimento de óleo essencial, a partir do qual a produtividade de óleo essencial tendeu a cair. Pelo modelo de regressão quadrático, a produtividade máxima (267,6 kg ha<sup>-1</sup> de óleo essencial) é alcançada com a dose de 245 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia. As adubações com o fertilizante de glicírcia resultaram em incremento linear da produtividade de óleo essencial, alcançando a maior média observada (230,7 kg ha<sup>-1</sup> de óleo essencial) com a dose de 320 kg ha<sup>-1</sup> de N. Pelo modelo das adubações com fertilizante de glicírcia, a produtividade máxima (238,4 kg ha<sup>-1</sup> de óleo essencial) é alcançada com a dose de 320 kg ha<sup>-1</sup> de N, correspondendo a 89,1% da produtividade máxima estimada pelo modelo das adubações com ureia.



**Figura 27.** Produtividade de óleo essencial na folhagem do primeiro corte do capim-citronela em função das fontes e doses de nitrogênio. Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições.

### 3.1.2 Qualidade do óleo essencial

Outra característica importante diz respeito à qualidade do óleo essencial. A análise de cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas identificou a presença de 27 substâncias orgânicas no óleo essencial das folhas de capim-citronela (**Tabela 35**).

**Tabela 35.** Teor e qualidade do óleo essencial de citronela (*Cymbopogon nardus*) na folhagem do primeiro corte, em função das fontes e doses de nitrogênio.

| Ranking <sup>†</sup> | Substância orgânica        | Controle    | Ureia (kg ha <sup>-1</sup> de N) |      |      |      |             | Fertilizante de gliricídia (kg ha <sup>-1</sup> de N) |      |      |      |             |
|----------------------|----------------------------|-------------|----------------------------------|------|------|------|-------------|---|------|------|------|-------------|
|                      |                            |             | 80                               | 160  | 240  | 320  | Média       | 80  | 160  | 240  | 320  | Média       |
|                      |                            |             | Participação <sup>‡</sup> (%)    |      |      |      |             |   |      |      |      |             |
| 1                    | Citronelal                 | <b>30,9</b> | 28,4                             | 23,8 | 25,9 | 23,2 | <b>25,3</b> | 28,0  | 29,0 | 28,1 | 26,1 | <b>27,8</b> |
| 2                    | Geraniol                   | <b>15,4</b> | 15,1                             | 15,4 | 13,5 | 14,5 | <b>14,6</b> | 14,0  | 13,4 | 11,8 | 14,1 | <b>13,3</b> |
| 3                    | Elemol                     | <b>8,4</b>  | 9,9                              | 11,9 | 13,9 | 12,8 | <b>12,1</b> | 9,5   | 11,7 | 11,8 | 11,4 | <b>11,1</b> |
| 4                    | Citronelol                 | <b>11,5</b> | 11,2                             | 10,4 | 10,2 | 9,8  | <b>10,4</b> | 11,3  | 11,6 | 11,8 | 11,2 | <b>11,5</b> |
| 5                    | Alfa-cadinol               | <b>6,0</b>  | 5,8                              | 5,8  | 6,3  | 6,2  | <b>6,0</b>  | 6,2   | 5,8  | 6,4  | 6,1  | <b>6,1</b>  |
| 6                    | Germacreno D               | <b>2,0</b>  | 2,6                              | 3,4  | 3,9  | 3,7  | <b>3,4</b>  | 2,3   | 2,8  | 3,4  | 3,1  | <b>2,9</b>  |
| 7                    | Delta-cadieno              | <b>2,4</b>  | 2,5                              | 2,9  | 3,4  | 3,0  | <b>3,0</b>  | 2,5   | 2,9  | 3,3  | 2,9  | <b>2,9</b>  |
| 8                    | Bulnesol                   | <b>2,6</b>  | 2,6                              | 2,6  | 2,5  | 3,0  | <b>2,7</b>  | 2,8   | 2,4  | 2,7  | 2,9  | <b>2,7</b>  |
| 9                    | Epi-alfa-muurolol          | <b>2,5</b>  | 2,6                              | 2,7  | 2,7  | 2,9  | <b>2,7</b>  | 2,7   | 2,5  | 2,6  | 2,8  | <b>2,7</b>  |
| 10                   | Beta-elemenol              | <b>2,1</b>  | 2,4                              | 2,7  | 3,1  | 2,7  | <b>2,7</b>  | 2,4   | 2,8  | 2,9  | 2,7  | <b>2,7</b>  |
| 11                   | Gama-eudesmol              | <b>2,6</b>  | 2,2                              | 2,2  | 1,8  | 2,4  | <b>2,2</b>  | 2,6   | 2,1  | 1,9  | 2,3  | <b>2,2</b>  |
| 12                   | Germacren-D-4-ol           | <b>1,2</b>  | 1,8                              | 2,8  | 2,3  | 3,3  | <b>2,6</b>  | 1,7   | 1,8  | 2,0  | 2,5  | <b>2,0</b>  |
| 13                   | Geranial                   | <b>2,3</b>  | 2,0                              | 1,8  | 1,1  | 1,7  | <b>1,7</b>  | 2,1   | 2,6  | 1,0  | 2,1  | <b>2,0</b>  |
| 14                   | Beta-eudesmol              | <b>1,8</b>  | 1,7                              | 1,6  | 1,6  | 1,7  | <b>1,7</b>  | 1,8   | 1,6  | 1,7  | 1,7  | <b>1,7</b>  |
| 15                   | Acetato de citronelila     | <b>1,2</b>  | 1,3                              | 1,2  | 0,9  | 0,9  | <b>1,1</b>  | 1,3   | 1,0  | 1,1  | 1,1  | <b>1,1</b>  |
| 16                   | Limoneno                   | <b>1,4</b>  | 0,9                              | 0,2  | 0,8  | 0,9  | <b>0,7</b>  | 0,6   | 1,2  | 1,0  | 1,1  | <b>1,0</b>  |
| 17                   | Gama-cadieno               | <b>0,7</b>  | 0,7                              | 0,8  | 1,0  | 0,9  | <b>0,9</b>  | 0,9   | 0,9  | 1,0  | 0,9  | <b>0,9</b>  |
| 18                   | Isopulegol                 | <b>1,0</b>  | 0,8                              | 0,7  | 0,8  | 0,6  | <b>0,7</b>  | 0,9   | 1,0  | 0,9  | 0,8  | <b>0,9</b>  |
| 19                   | Acetato de geranila        | <b>0,9</b>  | 1,0                              | 1,0  | 0,6  | 0,7  | <b>0,8</b>  | 1,0   | 0,5  | 0,4  | 0,8  | <b>0,7</b>  |
| 20                   | Germacreno A               | <b>0,8</b>  | 0,8                              | 0,7  | 0,7  | 0,8  | <b>0,8</b>  | 0,8   | 0,6  | 0,8  | 0,7  | <b>0,7</b>  |
| 21                   | Neral                      | <b>0,6</b>  | 0,6                              | 0,5  | 0,4  | 0,5  | <b>0,5</b>  | 0,7   | 0,8  | 0,5  | 0,6  | <b>0,7</b>  |
| 22                   | Alfa-muuroleno             | <b>0,5</b>  | 0,5                              | 0,6  | 0,6  | 0,6  | <b>0,6</b>  | 0,5   | 0,6  | 0,6  | 0,6  | <b>0,6</b>  |
| 23                   | Linalol                    | <b>0,6</b>  | 0,5                              | 0,4  | 0,5  | 0,5  | <b>0,5</b>  | 0,5   | 0,6  | 0,5  | 0,5  | <b>0,5</b>  |
| 24                   | Eugenol                    | <b>0,0*</b> | 1,0                              | 1,1  | 0,0  | 0,7  | <b>0,7</b>  | 1,2   | 0,0  | 0,0  | 0,0  | <b>0,3</b>  |
| 25                   | Alfa-humuleno              | <b>0,0</b>  | 0,0                              | 0,2  | 0,2  | 0,2  | <b>0,2</b>  | 0,0   | 0,0  | 0,2  | 0,0  | <b>0,1</b>  |
| 26                   | Alfa-cadieno               | <b>0,0</b>  | 0,0                              | 0,0  | 0,2  | 0,2  | <b>0,1</b>  | 0,0   | 0,0  | 0,0  | 0,0  | <b>0,0</b>  |
| 27                   | Alfa-muurolol              | <b>0,0</b>  | 0,0                              | 0,0  | 0,0  | 0,0  | <b>0,0</b>  | 0,0   | 0,0  | 0,0  | 0,0  | <b>0,0</b>  |
| -                    | Teor de óleo essencial (%) | <b>4,8</b>  | 4,5                              | 4,3  | 5,1  | 4,0  | <b>4,5</b>  | 4,2   | 4,8  | 4,9  | 4,7  | <b>4,7</b>  |

<sup>†</sup>Ranking realizado com a média das nove amostras (dados não mostrados). <sup>‡</sup>Valores expressos em base seca. \*0,0 = valor positivo resultante de arredondamento.

As principais substâncias encontradas foram: citronelal (23,2-30,9%), geraniol (11,8-15,4%), elemol (8,4-13,9%), citronelol (9,8-11,8%) e alfa-cadinol (5,8-6,4%), que perfizeram juntos 66,5-72,2% da composição do óleo essencial (**Tabela 35**).

Castro et al. (2007) em experimento de campo em Tocantins identificaram a presença de 15 substâncias no óleo essencial em *C. nardus*. As cinco principais foram as mesmas encontrados neste trabalho, mas com ranking e magnitude dos valores um pouco diferentes: citronelal (36,7%), geraniol (25,1%), citronelol (11,4%), elemol (7,0%) e alfa-cadinol (2,2%). Mahalwal & Ali (2003) identificaram 35 substâncias em *C. nardus*, sendo também os principais o citronelal (29,7%) e o geraniol (24,2%). Puttanna et al. (2001), em Bangalore, Índia, encontraram como principais constituintes o citronelal (34,0%), o geraniol (26,1%), o citronelol (9,2%) e o acetato de geranila (3,3%), sendo que as concentrações dessas substâncias não diferiram ( $P \geq 0,05$ ) entre tratamentos que tiveram a combinação de cinco doses de N-ureia (0, 150, 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup> de N ano<sup>-1</sup>), com a aplicação ou não de inibidores de nitrificação, em cinco cortes do capim-citronela (*Cymbopogon winterianus*).



Apesar de as amostras não terem repetições parece que os teores de citronelal e elemol são afetados pela provisão de N. O teor de citronelal tendeu a diminuir com aumento das doses de N, sendo encontrado em menor concentração quando aplicada a ureia. No comparativo dose a dose do fertilizante de gliricídia com a ureia, a concentração de citronelal só é maior com a aplicação de ureia na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N. O teor de elemol tendeu a aumentar com aumento da quantidade de N absorvida pela planta, sendo encontrado mais alto com a aplicação de ureia em todas as doses do comparativo com o fertilizante de gliricídia e mais alto ainda que os teores apresentados no controle.

O teor de geraniol apesar de aparentemente não ter relação muito íntima com as doses de N, é encontrado mais alto com a aplicação de ureia em todas as doses do referido comparativo.

O teor de óleo essencial alcança seu valor mais alto na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia (5,1%) e seu valor mais baixo na dose de 320 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia (4,0%). Os teores de óleo extraído foram relativamente altos em comparação com dados da literatura: 1,15% em base seca (CASTRO et al., 2007); 0,39% em amostra parcialmente desidratada (MAHALWAL & ALI, 2003) e variando de 3,3 a 4,1%, em base seca, ao longo cinco cortes (PUTTANNA et al., 2001). As condições de ambiente deste experimento (vasos e casa de vegetação) podem ter contribuído para o elevado teor de óleo essencial. Em experimento com diferentes doses de N-ureia e adição ou não de inibidores de nitrificação, Puttanna et al. (2001) relatam não ter havido variação significativa do teor de óleo essencial extraído entre os tratamentos.

Devido à proximidade das médias e não haver repetições nas avaliações das amostras dos tratamentos, não foi possível afirmar com segurança se as fontes ou doses de N, incluindo o controle, tiveram efeito significativo sobre a qualidade do óleo essencial de citronela.

### 3.2 Volatilização de Amônia (NH<sub>3</sub>) das Adubações

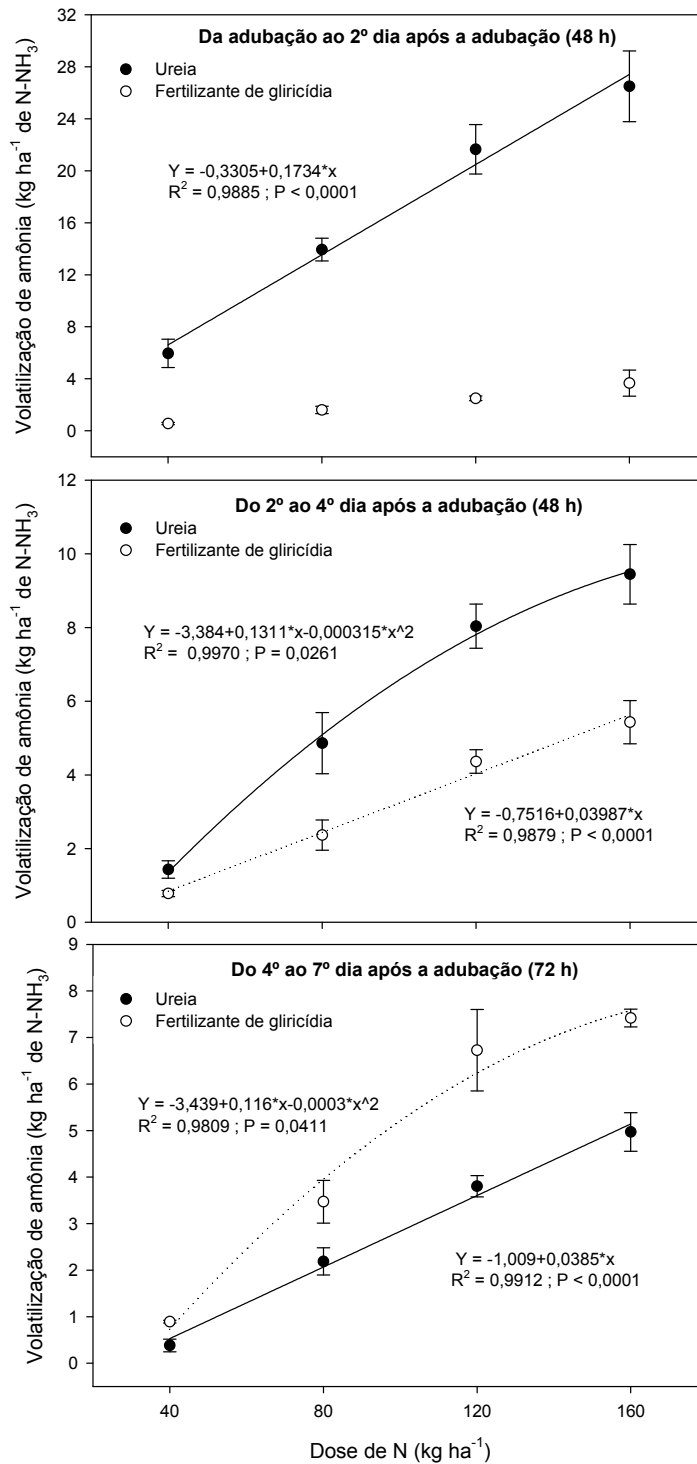
As determinações da volatilização de amônia foram realizadas aos 2, 4, 7, 10, 14, 18 e 23 dias após o primeiro parcelamento das adubações nitrogenadas, sendo avaliadas as quantidades absolutas e as quantidades relativas de amônia volatilizada em função das fontes e doses de N empregadas.

Os dados derivados do tratamento controle não foram utilizados nas análises, devido à quantidade de N-NH<sub>3</sub> determinada/volatilizada ter ficado próxima a zero em todas as avaliações, se equiparando às determinações em branco do experimento.

#### 3.2.1 Quantidade de N-NH<sub>3</sub> volatilizado das adubações

A análise de variância indicou interação entre fonte e dose de N para as três primeiras datas de avaliação da quantidade de amônia volatilizada (**Figura 28**). Na primeira avaliação, a quantidade de N-NH<sub>3</sub> volatilizado dos tratamentos com ureia foi muito alta, crescendo linearmente com aumento da dose de N. Isso ocorreu porque a ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] quando aplicada ao solo é rapidamente hidrolisada a amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), promovendo aumento do pH. Entretanto, na sequência geralmente ocorre o processo de nitrificação, onde o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é oxidado a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), liberando prótons (H<sup>+</sup>) ao solo (BOLAN & HEDLEY, 2003). Em consequência disso, nas avaliações subsequentes é verificada diminuição drástica da volatilização de NH<sub>3</sub>. Com o fertilizante de gliricídia a história é diferente. Nos primeiros dois dias a volatilização é bastante sutil, não diferindo estatisticamente com o aumento da dose de N aplicada. Contudo do segundo ao quarto dia a volatilização de amônia fica mais alta e cresce linearmente com o aumento da dose aplicada. Do quarto ao sétimo dia, ocorre

diminuição da taxa de volatilização de  $\text{NH}_3$  do fertilizante de gliricídia, entretanto, superando a volatilização do  $\text{NH}_3$  da ureia, sobretudo nas doses mais altas.



**Figura 28.** Quantidade de amônia volatilizada ( $\text{N-NH}_3$ ) durante três períodos consecutivos das adubações com ureia e fertilizante de gliricídia (primeiras 48 h, 48-96 h e 96-168 h). Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições.

Nas avaliações subsequentes, a quantidade de amônia volatilizada continuou caindo, mesmo com o aumento do período de captura da amônia (**Tabela 36**). Do 7º ao 10º e do 18º ao 23º dia após a adubação, a volatilização de NH<sub>3</sub> foi encontrada mais alta ( $P < 0,05$ ) com uso do fertilizante de gliricídia do que com uso de ureia. Efeito de dose não foi observado apenas na última avaliação (do 18º ao 23º dia após adubação), quando a quantidade de amônia volatilizada durante cinco dias variou em média± erro padrão de 0,01±0,003 a 0,18±0,080 kg ha<sup>-1</sup> de N.

**Tabela 36.** Quantidade de amônia volatilizada (N-NH<sub>3</sub>) do 7º ao 23º dia após as adubações com ureia e fertilizante de gliricídia.

| Fonte de variação                   |                            | Período após a adubação   |                   |                   |                   |
|-------------------------------------|----------------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                     |                            | Do 7º ao 10º dia  | Do 10º ao 14º dia | Do 14º ao 18º dia | Do 18º ao 23º dia |
|                                     |                            | Volatilização de amônia (kg ha <sup>-1</sup> de N-NH <sub>3</sub> ) |                   |                   |                   |
| Fonte                               | Ureia                      | 0,95  | 0,17              | 0,15              | 0,03              |
|                                     | Fertilizante de gliricídia | 2,07  | 0,42              | 0,24              | 0,10              |
|                                     | 40                         | 0,20  | 0,04              | 0,02              | 0,03              |
| Dose de N<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | 80                         | 0,83  | 0,12              | 0,10              | 0,04              |
|                                     | 120                        | 2,06  | 0,38              | 0,31              | 0,08              |
|                                     | 160                        | 2,96  | 0,64              | 0,35              | 0,11              |
| Erro padrão do fator Fonte (n = 16) |                            | 0,206   | 0,089             | 0,055             | 0,021             |
| Erro padrão do fator Dose (n = 8)   |                            | 0,291   | 0,126             | 0,077             | 0,029             |
| <b>Análise de variância</b>         |                            | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u>                         |                   |                   |                   |
| Fonte                               |                            | <b>0,0009</b>   | 0,0692            | 0,3048            | <b>0,0347</b>     |
| Dose                                |                            | <b>&lt;0,0001</b>   | <b>0,0129</b>     | <b>0,0166</b>     | 0,1464            |
| Fonte*Dose                          |                            | 0,0897  | 0,3872            | 0,8665            | 0,3049            |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos ( $P < 0,05$ ) na análise de variância.

### 3.2.2 Percentual relativo de N-NH<sub>3</sub> volatilizado das adubações

Não houve interação entre fonte e dose de N para nenhuma das datas de avaliação, podendo o percentual de N-NH<sub>3</sub> volatilizado das adubações ser explicado pelos efeitos individuais dos níveis dos fatores (**Tabela 37**). Verificou-se que nos dois primeiros dias após adubação, 16,73% do nitrogênio das adubações com ureia foi perdido por volatilização de NH<sub>3</sub>, contra apenas 1,94% das volatilizações de NH<sub>3</sub> do fertilizante de gliricídia, havendo efeito da fonte de N, sem haver efeito significativo para dose de N. Nas três avaliações subsequentes, há efeito de dose, sendo os percentuais crescentes até a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Do 10º ao 14º dia não é mais observado efeito de dose, sendo observado apenas um pequeno efeito estatisticamente relevante para fonte de N, evidenciando maior volatilização de N-NH<sub>3</sub> das adubações com fertilizante de gliricídia. Nos dois períodos subsequentes, não ocorre mais efeito de fonte nem de dose, ficando as médias da última avaliação abaixo do erro padrão do experimento, sendo por isso encerradas as determinações de volatilização de amônia no experimento.

**Tabela 37.** Percentual relativo de amônia volatilizada das adubações, por período de avaliação após a adubação e no total dos períodos avaliados.

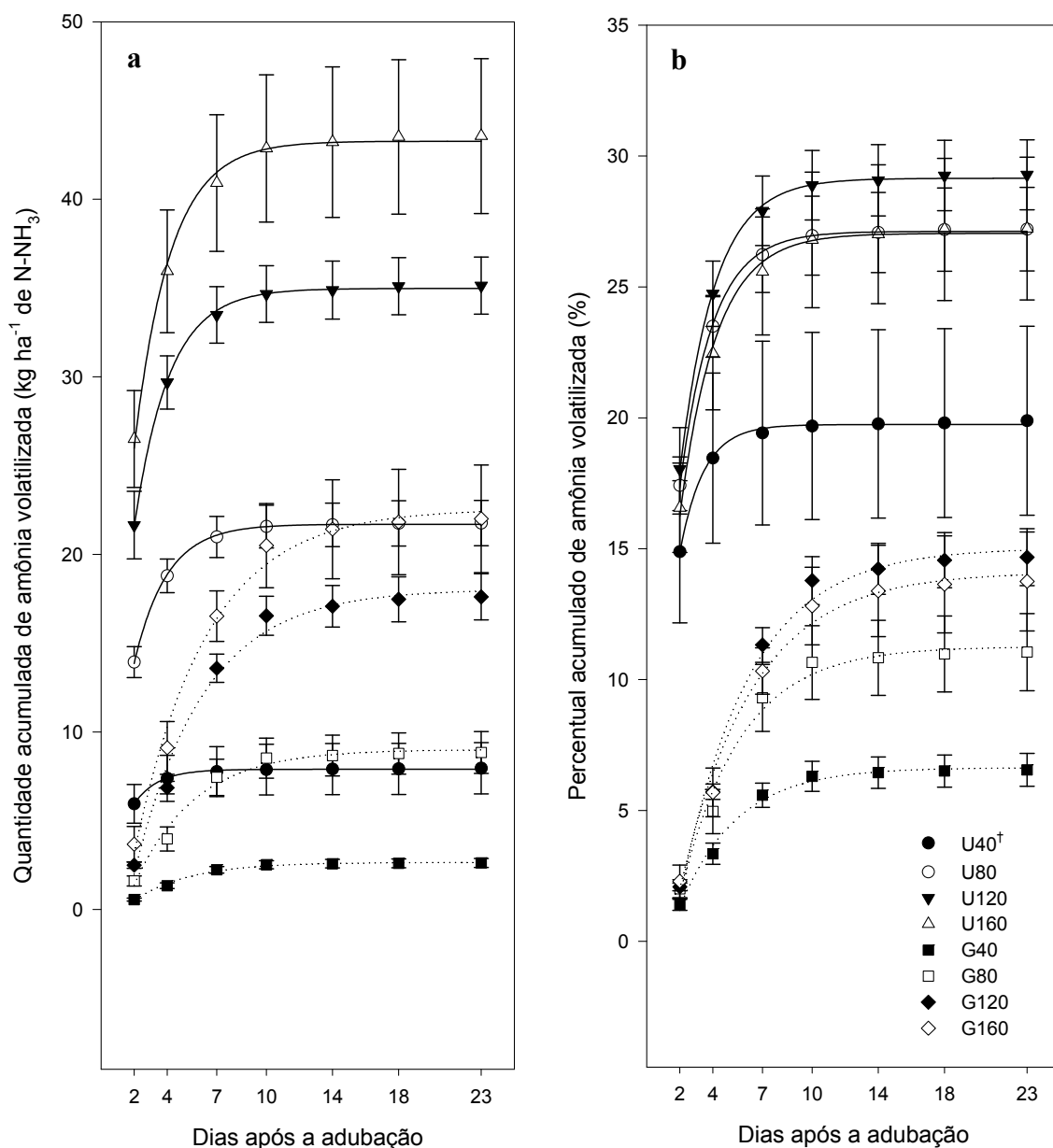
| Fonte de variação                   |                            | Período após a adubação                           |                   |                   |                  |                   |                   |                   | Total             |
|-------------------------------------|----------------------------|---|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                     |                            | Da adubação ao 2º dia                             | Do 2º ao 4º dia   | Do 4º ao 7º dia   | Do 7º ao 10º dia | Do 10º ao 14º dia | Do 14º ao 18º dia | Do 18º ao 23º dia |                   |
|                                     |                            | Percentual de amônia volatilizada da adubação (%) |                   |                   |                  |                   |                   |                   |                   |
| Fonte                               | Ureia                      | 16,73   | 5,56              | 2,49              | 0,80             | 0,15              | 0,13              | 0,04              | 25,90             |
|                                     | Fertilizante de gliricídia | 1,94  | 2,99              | 4,20              | 1,75             | 0,34              | 0,20              | 0,09              | 11,51             |
| Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )    | 40                         | 8,14  | 2,77              | 1,59              | 0,50             | 0,11              | 0,05              | 0,07              | 13,22             |
|                                     | 80                         | 9,71  | 4,52              | 3,54              | 1,04             | 0,15              | 0,13              | 0,04              | 19,13             |
|                                     | 120                        | 10,06   | 5,17              | 4,39              | 1,72             | 0,32              | 0,26              | 0,07              | 21,98             |
|                                     | 160                        | 9,43  | 4,65              | 3,87              | 1,85             | 0,40              | 0,22              | 0,07              | 20,49             |
| Erro padrão do fator Fonte (n = 16) |                            | 0,687   | 0,212             | 0,209             | 0,134            | 0,058             | 0,041             | 0,019             | 0,930             |
| Erro padrão do fator Dose (n = 8)   |                            | 0,971   | 0,300             | 0,296             | 0,189            | 0,082             | 0,058             | 0,027             | 1,316             |
| <b>Análise de variância</b>         |                            | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u>       |                   |                   |                  |                   |                   |                   |                   |
| Fonte de N                          |                            | <b>&lt;0,0001</b>                                 | <b>&lt;0,0001</b> | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0001</b>    | <b>0,0355</b>     | 0,2407            | 0,1015            | <b>&lt;0,0001</b> |
| Dose de N                           |                            | 0,5371  | <b>0,0001</b>     | <b>&lt;0,0001</b> | <b>0,0001</b>    | 0,0701            | 0,0765            | 0,8799            | <b>0,0007</b>     |
| Fonte*Dose                          |                            | 0,8043  | 0,2888            | 0,5507            | 0,1952           | 0,4875            | 0,8874            | 0,3054            | 0,8634            |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos ( $P < 0,05$ ) na análise de variância.

No total de amônia volatilizada no período, verificou-se que a perda média de N-NH<sub>3</sub> das adubações com ureia (25,9%) foi significativamente maior que a das adubações com gliricídia (11,5%) ( $P < 0,0001$ ), havendo também efeito da dose de N ( $P = 0,0007$ ), sendo o percentual relativo das perdas crescente até a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Nesse sentido pode-se inferir que as perdas de N por volatilização de amônia das adubações com ureia são cerca de 125% maiores que as das adubações com fertilizante de gliricídia.

### 3.2.3 Perda acumulada, absoluta e relativa de N-NH<sub>3</sub> das adubações

A **Figura 29** faz um apanhado geral das análises anteriores da quantidade (a) e do percentual (b) de N-NH<sub>3</sub> perdido das adubações com ureia e das adubações com fertilizante de gliricídia. Devido à volatilização de NH<sub>3</sub> ser elevada no início tendendo a valores próximos a zero com o passar do tempo, o acumulado dos dados de perdas (absoluta e relativa) de NH<sub>3</sub> tendeu a se estabilizar em um valor máximo. Portanto, o modelo exponencial crescente até um máximo se adequou perfeitamente para caracterizar as perdas de N por volatilização de amônia ao longo do tempo (**Tabela 38**).



**Figura 29.** Quantidade acumulada (a) e percentual acumulado (b) de amônia volatilizada do primeiro parcelamento das adubações com ureia e fertilizante de gliricídia – Seropédica – março de 2008. <sup>†</sup>U = adubação com ureia e G = adubação com fertilizante de gliricídia, nas doses de 40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N. Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições. As curvas foram traçadas com as equações descritas na **Tabela 38**.

**Tabela 38.** Equações de regressão da quantidade e do percentual acumulado de amônia volatilizada das adubações com Ureia e Fertilizante de gliricídia.

| Tratamento <sup>†</sup>   | Modelo                                 | R <sup>2</sup> | P       |
|---|--|----------------|---------|
| Quantidade acumulada de amônia volatilizada (kg ha <sup>-1</sup> de N-NH <sub>3</sub> ) |  |                |         |
| G40   | Y = -1,1826+3,8370*[1-exp(-0,2921*x)]  | 0,9923         | <0,0001 |
| G80   | Y = -4,2192+13,2275*[1-exp(-0,2747*x)] | 0,9848         | 0,0002  |
| G120  | Y = -7,8388+25,8760*[1-exp(-0,2388*x)] | 0,9870         | 0,0002  |
| G160  | Y = -8,1242+30,6900*[1-exp(-0,2287*x)] | 0,9906         | <0,0001 |
| U40   | Y = 7,8965*[1-exp(-0,6958*x)]          | 0,9968         | <0,0001 |
| U80   | Y = 21,6964+[1-exp(-0,5089*x)]         | 0,9994         | <0,0001 |
| U120  | Y = 34,9781*[1-exp(-0,4766*x)]         | 0,9991         | <0,0001 |
| U160  | Y = 43,2702*[1-exp(-0,4583*x)]         | 0,9960         | <0,0001 |
| Percentual acumulado de amônia volatilizada (%)   |  |                |         |
| G40   | Y = -2,9565+9,5926*[1-exp(-0,2921*x)]  | 0,9923         | <0,0001 |
| G80   | Y = -5,274+16,5344*[1-exp(-0,2747*x)]  | 0,9848         | 0,0002  |
| G120  | Y = -6,5323+21,5633*[1-exp(-0,2388*x)] | 0,9870         | 0,0002  |
| G160  | Y = -5,0776+19,1813*[1-exp(-0,2287*x)] | 0,9906         | <0,0001 |
| U40   | Y = 19,7413*[1-exp(-0,6958*x)]         | 0,9968         | <0,0001 |
| U80   | Y = 27,1205*[1-exp(-0,5089*x)]         | 0,9994         | <0,0001 |
| U120  | Y = 29,1484*[1-exp(-0,4766*x)]         | 0,9991         | <0,0001 |
| U160  | Y = 27,0439*[1-exp(-0,4583*x)]         | 0,9960         | <0,0001 |

<sup>†</sup>U = adubação com ureia e G = adubação com fertilizante de gliricídia, nas doses de 40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Os dados de volatilização da ureia apuradas neste trabalho foram relativamente baixos. Vitti et al. (2007) reporta para ureia aplicada em faixa no cultivo de cana-de-açúcar perda de 46% do N aplicado e perda de 37% quando aplicado em área total.

Neste trabalho a ureia foi favorecida comparativamente às condições de campo, pois foi aplicada em solução junto à água de irrigação, promovendo sua rápida incorporação ao solo e, conseqüentemente, reduzindo as chances de perda por volatilização de amônia.

### 3.3 Segundo Corte das Folhas de Capim-citronela

O contraste entre os tratamentos do fatorial e o controle foi significativo para matéria fresca, matéria seca e N acumulado na folhagem do segundo corte (**Tabela 39**), indicando ter havido efeito residual das adubações.

**Tabela 39.** Resultados da análise de variância referentes aos dados das variáveis derivadas das folhas do segundo corte do capim-citronela.

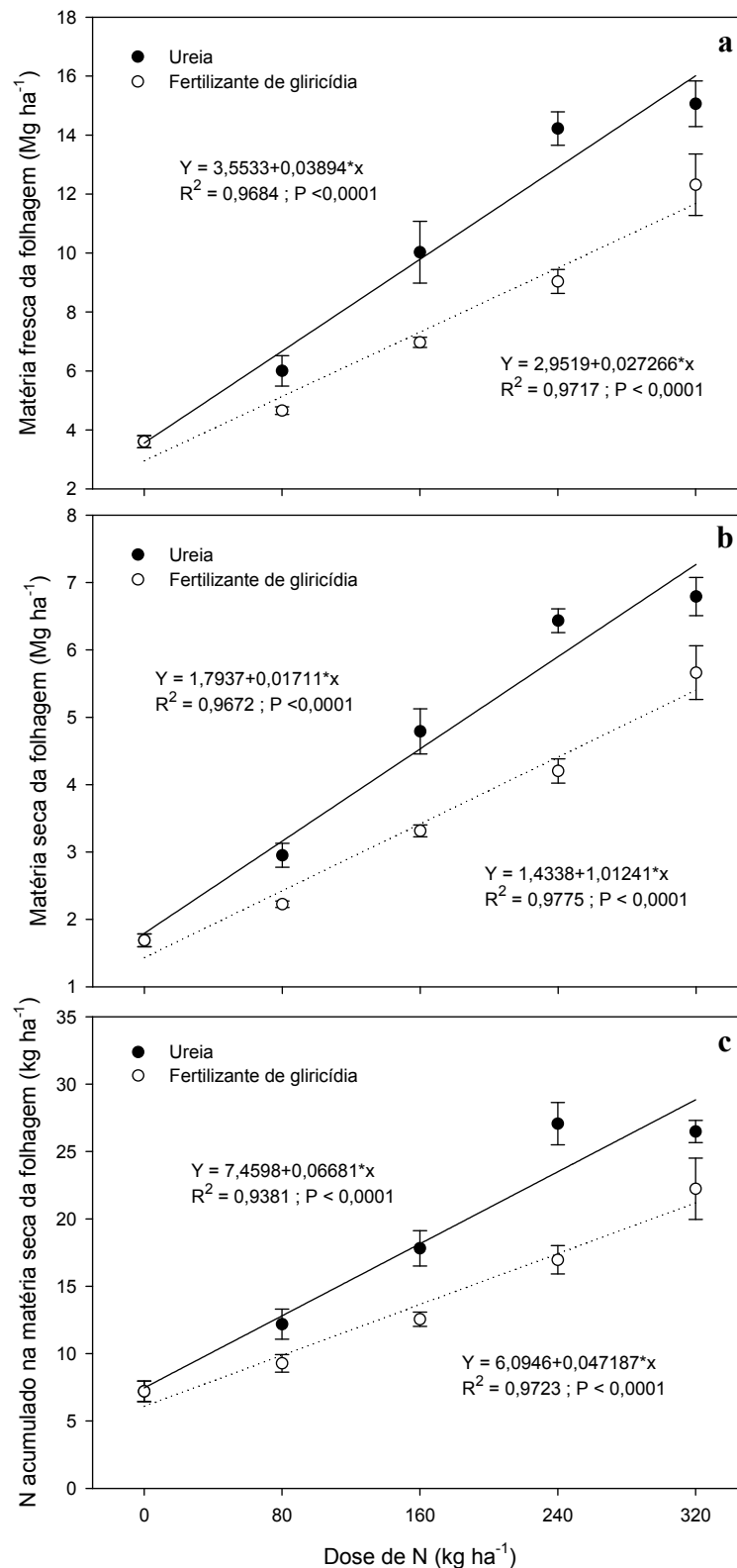
| Fonte de variação    | Matéria fresca                        | Matéria seca  | %Matéria seca na massa fresca | Teor de N na matéria seca | N acumulado nas folhas |
|----------------------|---------------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
|                      | Significância do teste F <sup>†</sup> |               |                               |                           |                        |
| Bloco                | 0,3954                                | 0,5282        | 0,1761                        | 0,3028                    | 0,7773                 |
| Fonte de N           | <b>0,0000</b>                         | <b>0,0000</b> | 0,9039                        | 0,8923                    | <b>0,0000</b>          |
| Dose de N            | <b>0,0000</b>                         | <b>0,0000</b> | <b>0,0082</b>                 | 0,2356                    | <b>0,0000</b>          |
| Fonte*Dose           | <b>0,0439</b>                         | <b>0,0223</b> | 0,3580                        | 0,9324                    | 0,0501                 |
| Fatorial vs Controle | <b>0,0000</b>                         | <b>0,0000</b> | 0,9399                        | 0,2572                    | <b>0,0000</b>          |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos ( $P < 0,05$ ) na análise de variância.

Não houve efeito das adubações ( $P \geq 0,05$ ) sobre o teor de N na matéria seca da folhagem do capim-citronela (**Tabela 39**), sendo a média geral igual a  $3,91 \text{ g kg}^{-1}$  de N. Matéria fresca e matéria seca apresentaram interação entre fonte e dose de N. O percentual de matéria seca na massa fresca apresentou efeito de dose e o N acumulado nas folhas, foi influenciado tanto pela dose como pela fonte de N. Para aprofundamento do estudo, as variáveis, cuja análise de variância detectou algum tipo de efeito ( $P < 0,05$ ) foram avaliadas por intermédio de análise de regressão, sendo utilizado o tratamento controle como a dose de  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

O percentual de matéria seca na massa fresca, apesar de ter apresentado efeito de dose (**Tabela 39**) não apresentou regressões significativas ( $P \geq 0,05$ ) para nenhuma das fontes de N, sendo a média geral dos tratamentos igual a 47,1%.

A **Figura 30** mostra que o efeito residual das fontes de N – utilizando-se matéria fresca e seca e o acúmulo de N na folhagem do capim citronela da segundo corte como variáveis-resposta – cresceu linearmente com o aumento das doses de N aplicadas, independente da fonte de N.

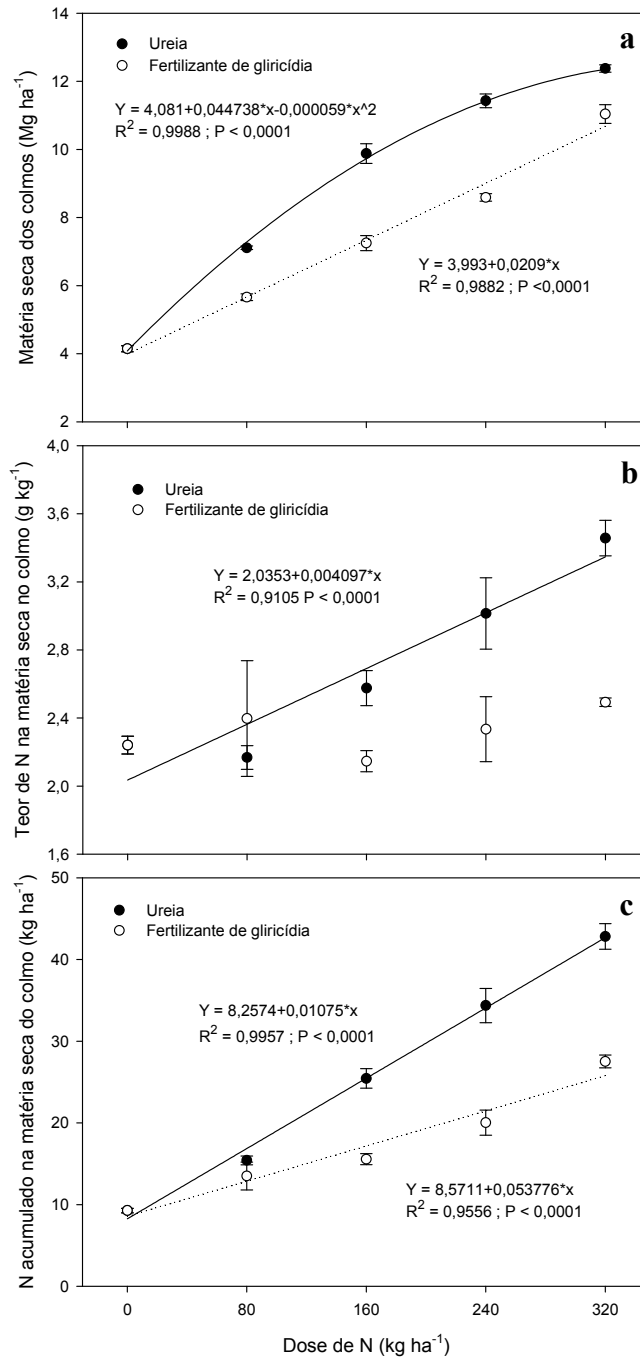


**Figura 30.** Efeito residual das adubações sobre matéria fresca (a), matéria seca (b) e acúmulo de nitrogênio (c) na matéria seca da folhagem do segundo corte do capim-citronela, em função das fontes e doses de nitrogênio. Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições.



### 3.4 Colmos do Capim-citronela

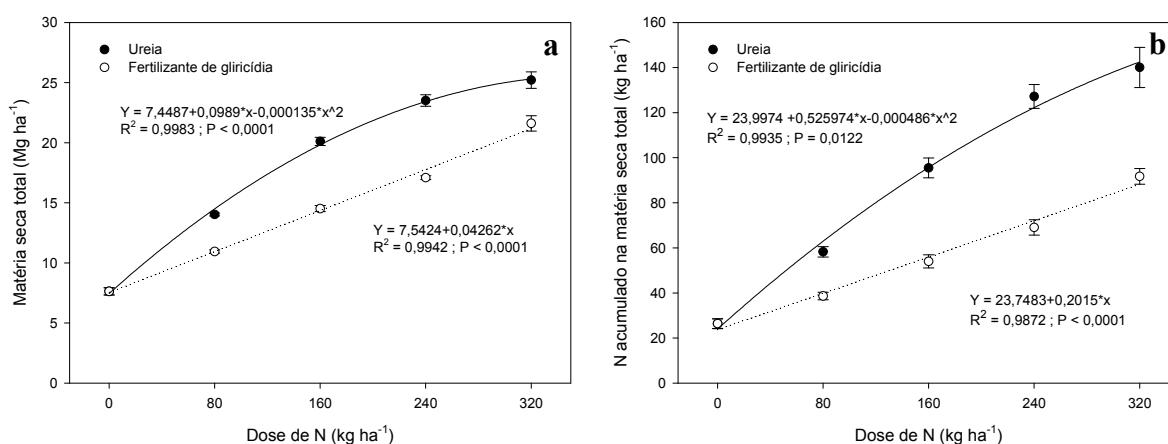
As três variáveis dos colmos receberam influência significativa da interação entre e dose e fonte de N. A **Figura 31** mostra que as adubações com ureia produziram efeitos mais pronunciados que as com fertilizante de glicíndia para todas as variáveis do colmo.



**Figura 31.** Matéria seca (a), teor de nitrogênio (b) e acúmulo de nitrogênio (c) na matéria seca dos colmos de capim-citronela em funças das fontes e doses de nitrogênio. Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições.

### 3.5 Matéria Seca Total do Capim-citronela

A **Figura 32** mostra que a ureia resultou em resposta quadrática da matéria seca total (matéria seca da folhagem do primeiro e do segundo corte mais a matéria seca dos colmos) e do total de N acumulado na matéria seca dessa biomassa, enquanto o fertilizante de glicircídia resultou em resposta linear. Pode-se inferir que o uso do fertilizante de glicircídia, por ter eficiência menor, requer doses de N maiores para resultar em índices de produtividade mais elevados. É bastante notável que a diferença entre as adubações com ureia e fertilizante de glicircídia é menor na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, provavelmente por essa dose sofrer maior influência relativa do N contido na terra. Na matéria seca essa amplitude é menor na primeira e última dose de N (80 e 320 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente), isto porque, como já discutido, matéria seca não é um indicador eficaz para a quantidade de N absorvido pela planta.

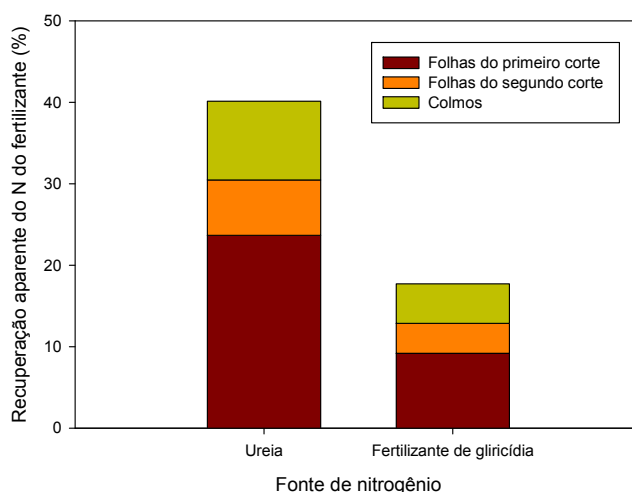


**Figura 32.** Matéria seca total (matéria seca da folhagem do primeiro e do segundo corte mais a matéria seca dos colmos) (a) e quantidade total de N acumulado na matéria seca total (b) do capim-citronela em função das fontes e doses de nitrogênio.

#### 3.5.1 Nitrogênio recuperado das adubações na matéria seca total

A análise de variância indicou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da fonte de N sobre a recuperação de nitrogênio das adubações, não havendo efeito de dose nem interação entre esses fatores ( $P \geq 0,05$ ). Para essa análise foram considerados os dados da matéria seca total do capim-citronela (matéria seca da folhagem do primeiro e do segundo corte mais a matéria seca dos colmos).

Em média  $40,1 \pm 1,42\%$  (média ± erro padrão de 16 repetições) do N fornecido nas adubações com ureia foram encontrados na matéria seca total, contra apenas  $17,7 \pm 0,87\%$  do N oriundo do fertilizante de glicircídia. A **Figura 33** mostra como esse percentual de N recuperado ficou dividido entre as partes que compuseram a matéria seca total.



**Figura 33.** Recuperação aparente do nitrogênio derivado dos fertilizantes em função das fontes de N, nas folhas do primeiro e do segundo corte e nos colmos.

Verificou-se que foi nas folhas do primeiro corte onde ficou alocada a maior parte do N derivado dos fertilizantes (**Figura 33**). Quando usado ureia essa quantidade foi de  $23,7 \pm 1,42\%$  e quando usado o fertilizante de gliricídia,  $9,2 \pm 0,59\%$  (média  $\pm$  erro padrão da média de 16 repetições). Nas folhas do segundo corte, a quantidade de N derivado dos fertilizantes foi de  $6,8 \pm 0,46\%$  e  $3,7 \pm 0,34\%$ ; para as adubações com ureia e fertilizante de gliricídia, respectivamente, e nos colmos de  $9,7 \pm 0,44\%$  e  $4,8 \pm 0,54\%$ , respectivamente. Efetuando uma relação entre o N derivado do fertilizante de gliricídia com o N derivado da ureia, verifica-se que o fertilizante de gliricídia teve menor desempenho quando usado os dados das folhas do primeiro corte (0,388) e desempenho mais elevado como os dados das folhas do segundo corte (0,541).

A ureia proporciona quase que imediata disponibilização de  $\text{NH}_4^+$  e na sequência  $\text{NO}_3^-$  que podem ser prontamente absorvidos em grande quantidade pela planta, podendo o excesso de  $\text{NO}_3^-$  ser armazenado nos vacúolos dos colmos. Contudo as perdas de  $\text{N-NH}_3$  das adubações com ureia, pelo menos do primeiro parcelamento, foram muito maiores que as do fertilizante de gliricídia (cerca de 125% maiores). Por outro lado, as adubações com fertilizante de gliricídia resultam em aumento do pH do solo, enquanto as adubações com ureia resultam diminuição do pH, conforme foi mostrado no **Capítulo II** e conforme será visto no **Título 3.6** do presente capítulo. Nesse sentido, a segunda aplicação do fertilizante de gliricídia deve ter tido maior volatilização de amônia que a primeira, devido ao aumento de pH na camada superficial.

A melhoria do desempenho do fertilizante de gliricídia no segundo corte, pode ser explicada pela mineralização do N do fertilizante de gliricídia que ainda não tinha sido mineralizado e pela liberação de N da biomassa microbiana do solo, que cresce abundantemente com a aplicação do fertilizante de gliricídia (ALMEIDA, 2007).

### 3.6 Impacto das Adubações sobre o pH e os Teores de C-total e N-total do Solo

Os contrastes entre Fatorial vs Controle indicam que as adubações nitrogenadas promoveram alterações significativas do pH e dos teores de C-total do solo (**Tabela 40**). O pH do solo sofreu influência da interação entre fonte e dose de N. O teor de C-total apresentou efeito para as doses de N e o teor de N-total foi influenciado apenas pela fonte de N.

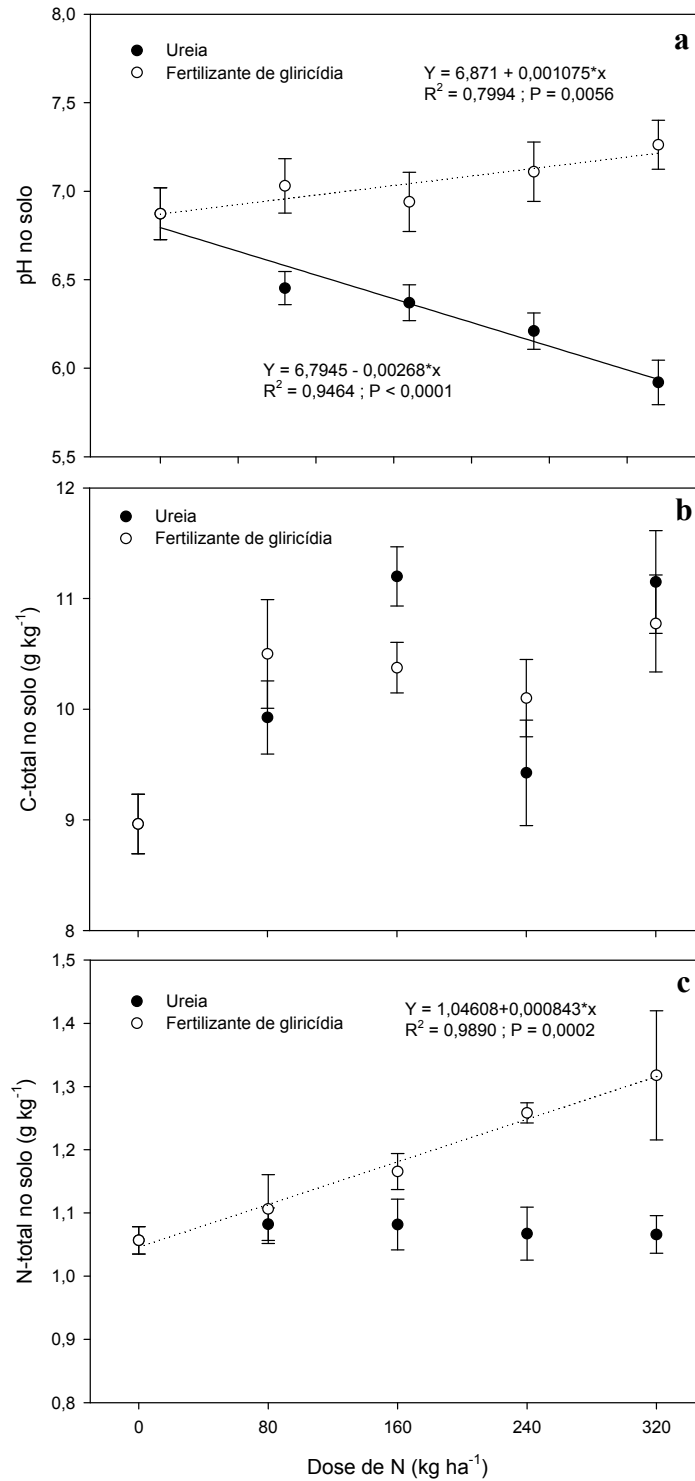
**Tabela 40.** Médias, erros padrão, análises de variância e contrastes ortogonais dos dados de pH e teores de C-total e N-total do solo um ano após o segundo parcelamento da adubação.

| Fonte de variação           |                            | pH                | C-total                                     | N-total       |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------|---|---------------|
|                             |                            |                   | (g kg <sup>-1</sup> )                       |               |
| Adicional                   | Controle                   | 6,87              | 8,96  | 1,06          |
|                             | Ureia                      | 6,24              | 10,43                                       | 1,07          |
|                             | Fertilizante de gliricídia | 7,09              | 10,44                                       | 1,21          |
| Fonte                       | 80                         | 6,74              | 10,21                                       | 1,09          |
|                             | Dose de N 160              | 6,66              | 10,79                                       | 1,12          |
|                             | (kg ha <sup>-1</sup> ) 240 | 6,66              | 9,76  | 1,16          |
|                             | 320                        | 6,59              | 10,96                                       | 1,19          |
| Erro padrão (Adicionais)    |                            | 0,0894            | 0,4003                                      | 0,0488        |
| Erro padrão (Fonte de N)    |                            | 0,0447            | 0,2001                                      | 0,0244        |
| Erro padrão (Dose de N)     |                            | 0,0632            | 0,2830                                      | 0,0345        |
| <b>Análise de variância</b> |                            |                   | <u>Significância do teste F<sup>†</sup></u> |               |
| Fonte de N                  |                            | <b>&lt;0,0001</b> | 0,9651                                      | <b>0,0005</b> |
| Dose de N                   |                            | 0,4340            | <b>0,0240</b>                               | 0,2286        |
| Fonte*Dose                  |                            | <b>0,0006</b>     | 0,1996                                      | 0,1126        |
| Fatorial vs Controle        |                            | <b>0,0360</b>     | <b>0,0020</b>                               | 0,1083        |

<sup>†</sup>Em negrito estão assinalados os valores significativos (P < 0,05) na análise de variância.

Para estudar mais profundamente os impactos das adubações, foi realizada análise de regressão desdobrando as doses nas fontes de N, sendo incluído o tratamento controle como a dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> de N.

O pH do solo aumentou linearmente com o incremento das doses do fertilizante de gliricídia e decresceu linearmente com o incremento das doses de ureia (**Figura 34**). O teor de N-total também cresceu linearmente com o aumento das doses de gliricídia, mas não sofreu influência das adubações com ureia. Esses resultados se assemelham bastante com os resultados obtidos no experimento de milho (**Capítulo II**), onde a discussão foi bastante profunda. Com referência ao teor de C-total, não foi possível ajustar um modelo de regressão adequado. Provavelmente, pequenos pedaços de raízes nas amostras da terra, tenham comprometido a exatidão das análises.

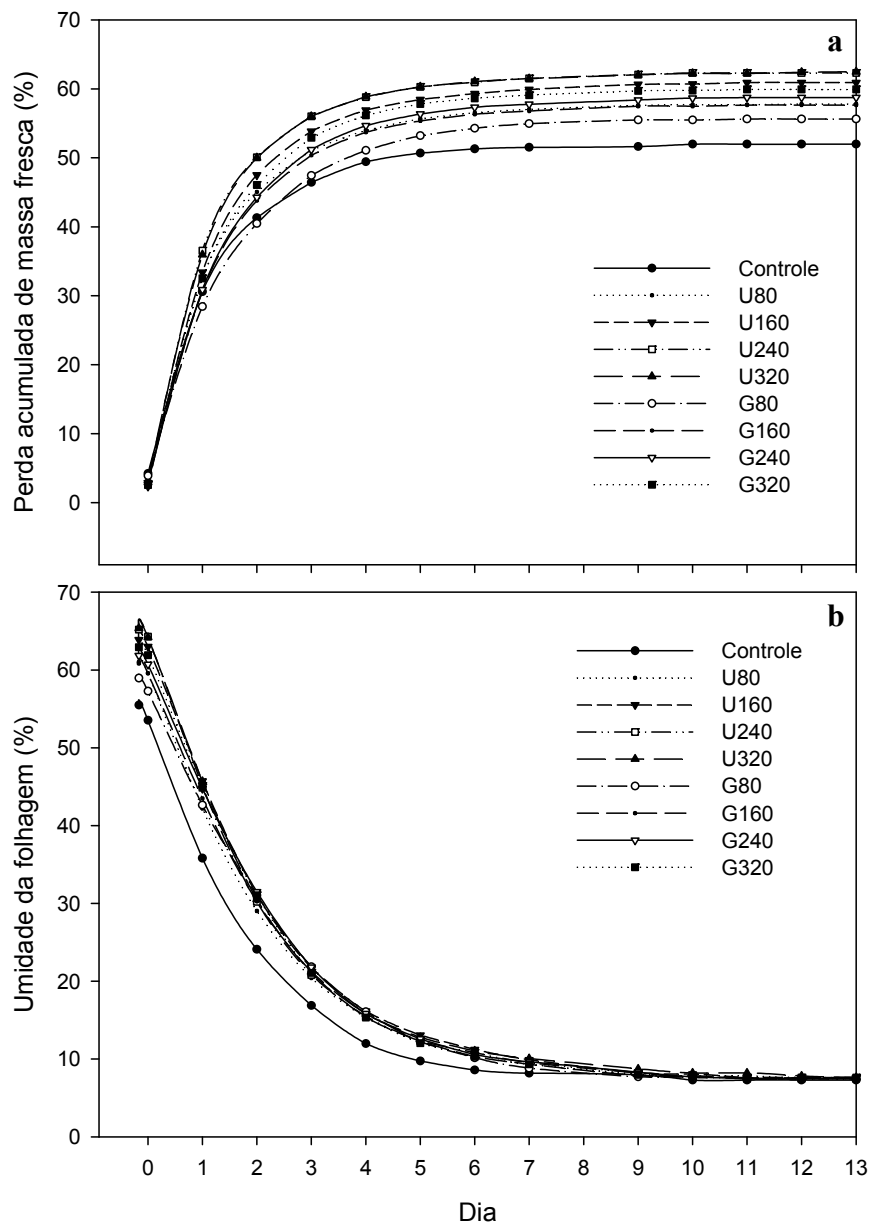


**Figura 34.** Impacto das adubações sobre o pH (a) e teores de C-total (a) e N-total (a) do solo (0-10 cm). Barras verticais representam o erro padrão da média de quatro repetições.

### 3.7 Dinâmica de Secagem das Folhas de Capim-citronela

A **Figura 35 (a)** mostra que os tratamentos que receberam maior dosagem de N foram os que tiveram maior perda acumulada de massa fresca. Mostra também que as perdas mais elevadas de massa fresca ocorreram quando a fonte de N foi a ureia.

Com referência as curvas umidade, **Figura 35 (b)**, verificou-se que os tratamentos que receberam N, indiferentemente da fonte ou dosagem, apresentaram curvas de perda de umidade muito próximas entre si e distintas apenas do tratamento controle. Todavia, a estabilização da umidade em todos os tratamentos, aos 12 dias, ocorreu ao redor do mesmo conteúdo de água: 7,5%.



**Figura 35.** Perda acumulada de massa fresca (a) e umidade das folhagens do capim-citronela (b) ao longo do tempo em sala com desumidificador de ar.

## 4 CONCLUSÕES

1. Há um atraso da volatilização de amônia das adubações com fertilizante de gliricídia em relação às adubações com ureia. Enquanto a maior taxa de volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) da ureia ocorre nos dois primeiros dias a partir da adubação, a do fertilizante de gliricídia ocorre do segundo ao quarto dia.
2. A volatilização de amônia das adubações com ureia é cerca de 125% mais alta que a das adubações com fertilizante de gliricídia.
3. A quantidade total de N recuperado das adubações na parte aérea do capim-citronela é da ordem de 40,1% para ureia e de 17,7% para o fertilizante de gliricídia, independentemente da dose de N aplicada.
4. As adubações com ureia resultam em resposta quadrática da produtividade de óleo essencial de citronela, promovendo máxima produtividade ( $267,6 \text{ kg ha}^{-1}$  de óleo essencial) com a dose de  $245 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Enquanto, as adubações com fertilizante de gliricídia promovem resposta linear crescente da produtividade do óleo essencial, alcançando o valor máximo ( $238,4 \text{ kg ha}^{-1}$  de óleo essencial) na dose mais alta utilizada no experimento ( $320 \text{ kg ha}^{-1}$  de N).
5. Foram identificadas 27 substâncias no óleo essencial das folhas de capim-citronela, havendo pouca variação na participação dessas substâncias (qualidade do óleo essencial) em função da dose ou da fonte de nitrogênio empregada nas adubações.
6. O fertilizante de gliricídia promove aumento linear do pH e do teor de N-total do solo com aumento das doses aplicadas, enquanto a ureia promove decréscimo linear do pH e não aumenta os valores de N-total do fim do experimento.
7. Quanto maior o teor e quantidade de N acumulada na folhagem de capim-citronela maior é o teor de água na matéria fresca, logo maior quantidade de água é perdida durante a secagem das folhas. Nesse sentido, adubações nitrogenadas em doses mais elevadas, assim como fontes de nitrogênio mais eficientes promovem maior acúmulo de água na planta e maior perda de água durante a desidratação. De todo modo, a umidade das folhas do capim-citronela se estabiliza em um mesmo conteúdo de umidade, independentemente da dose ou da fonte de nitrogênio utilizada nas adubações.

## CONCLUSÕES GERAIS

A tecnologia dos fertilizantes de leguminosas concilia a funcionalidade da adubação verde com leguminosas com a praticidade do uso de um fertilizante orgânico. Ela possibilita que o produtor produza seu próprio fertilizante, armazenando e fazendo seu uso em quantidade, época e forma mais adequada. Desse modo, a autossuficiência de nitrogênio passa a ser uma questão de dimensionamento do sistema, equilibrando a produção do fertilizante de leguminosas com a demanda de nutrientes das culturas comerciais.

Nesta tese, foi dada especial ênfase a adubações com fertilizantes de gliricídia, sendo comparadas a adubações com ureia, em condições que de certa forma favoreceram a eficiência do fertilizante nitrogenado sintético em prover N às culturas, como o parcelamento e a imediata aplicação de água após as adubações, reduzindo a magnitude das perdas de nitrogênio por volatilização de amônia. Mesmo assim, as adubações com os fertilizantes de gliricídia foram capazes de prover N às culturas de forma a garantir produtividades comparáveis à ureia, contudo, em doses de N maiores do fertilizante orgânico.

Por ser uma fonte efetiva de N e admitida pelas normativas da produção orgânica, os fertilizantes de leguminosas assumem fundamental relevância para provisão de N em sistemas orgânicos, assim como em sistemas em transição para agricultura orgânica. Para esses dois tipos de sistemas as fontes de N admitidas pelas normas técnicas vigentes são escassas e cada vez menos disponíveis. Nesse sentido, a deficiência N tem sido relatada como uma das principais causas para baixa produtividade das culturas, sobretudo porque os demais nutrientes podem ser providos por fontes minerais, como calcário, fosfato de rocha e sulfato de potássio. Desse modo, o uso de fertilizantes de leguminosas, com destaque ao fertilizante de gliricídia, que teve aqui sua eficácia comprovada, emerge como uma alternativa eficaz para solucionar o problema da provisão de N em sistemas orgânicos e em transição.

Além da capacidade de substituição da ureia, adubações com fertilizantes de gliricídia apresentaram vantagens ambientais frente à fonte sintética de N. Enquanto adubações com ureia acidificam e não aumentam os teores de C-total e N-total do solo, adubações com fertilizantes de gliricídia possibilitam aumentos significativos do pH e dos teores de C-total e N-total do solo. Além disso, adubações com ureia resultam em mais que o dobro das perdas de N por volatilização de amônia, comparativamente às adubações com fertilizante de gliricídia.

Também deve ser levado em consideração que os fertilizantes de leguminosas além de introduzirem grande quantidade de N ao sistema, via fixação biológica de  $N_2$ , também são excelentes fontes de K, que por não estar ligado covalentemente a nenhuma molécula é rapidamente liberado ao solo, sendo também fontes de todos os demais nutrientes essenciais para as plantas. Considerando que leguminosas fixadoras de  $N_2$  têm a capacidade de solubilizar e extrair nutrientes de formas minerais menos solúveis, essas leguminosas poderiam ser cultivadas com objetivo de extrair nutrientes de fontes minerais pouco usadas na agricultura – como rochas fosfáticas, silicáticas ou ornamentais –, e exportá-los em formas menos recalcitrantes para outros locais via fertilizantes de leguminosas.

A produção de fertilizantes de gliricídia e leucena em bancos adensados é uma estratégia para se maximizar a quantidade de  $N_2$  fixado biologicamente e a produtividade de biomassa, além de proporcionar produção concentrada de biomassa, o que facilita a sistematização dos processos para produção dos fertilizantes de leguminosas. Outro aspecto relevante desses bancos de leguminosas é a elevada produtividade de madeira nos troncos remanescentes no campo, abaixo da altura de corte, que podem ser utilizados, parcial ou integralmente, para produção de energia (lenha e carvão, por exemplo), ou outros usos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 3. ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1998. 35p. (ANDA. Boletim Técnico, 3).
- ALLISON, G. E.; SIMONS, A. J. Propagation and Husbandry. In: STEWART, J. L.; ALLISON, G. E.; SIMONS, A. J. (Ed.). *Gliricidia sepium*: genetic resources for farmers. Oxford: Oxford Forestry Institute/University of Oxford, 1996. p. 49-71.
- ALMEIDA, D. L. de.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D. **Sistema integrado de produção agroecológica**: um a experiência de pesquisa em agricultura orgânica. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 37 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 169).
- ALMEIDA, M. M. T. B. **Fertilizantes de leguminosas**: tecnologia inovadora de adubação verde para provisão de nitrogênio em sistemas orgânicos de produção. 2007. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.
- ALMEIDA, M. M. T. B.; LIXA, A. T.; SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. da; DE-POLLI, H. Avaliação da eficiência de fontes de nitrogênio para produção orgânica de rúcula: fertilizantes de leguminosas versus cama de aviário industrial. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, 2007a.
- ALMEIDA, M. M. T. B.; LIXA, A. T.; SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. da; DE-POLLI, H. Fertilizantes de leguminosas como fontes alternativas de nitrogênio para produção orgânica de rúcula. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007b, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007b.
- ALMEIDA, M. M. T. B.; LIXA, A. T.; SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. da; DE-POLLI, H.; RIBEIRO, R. de L. D. Fertilizantes de leguminosas como fontes alternativas de nitrogênio para produção orgânica de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 6, p. 675-682, 2008.
- ALMEIDA, M. M. T. B.; LIXA, A. T.; SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. Atributos fitotécnicos como indicadores do teor e acúmulo de nitrogênio em rúcula: experimento 1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.
- ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.
- ALVES, B. J. R.; BAËTA, A. M.; ALVES, J. V. **Protocolo da Embrapa Agrobiologia para análise de nitrogênio em adubos orgânicos, solo e tecidos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1999. 17 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 100).

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F. M.; HECKLER, J. C.; MACEDO, R. A. T. de; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 449-456, 2006.

AMER, A.; MEHLHORN, H. Repellency effect of forty-one essential oils against *Aedes*, *Anopheles*, and *Culex* mosquitoes. **Parasitology Research**, v. 99, p. 478-490, 2006.

ANDA. **Setor de fertilizantes**: anuário estatístico 2011. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos. 178 p.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 251-255, 1990.

ARAÚJO, E. DA S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. DE B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. MICHAEL; ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 7, p. 769-776, 2009.

ARF, O.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E. de; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeito da época de semeadura da mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) e lab-lab (*Dolichos lablab*) intercaladas na cultura do milho (*Zea mays*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 4, p. 898-904, 2000.

AWONAIKE, K. O.; HARDARSON, G. Biological nitrogen fixation of *Gliricidia sepium* /*Rhizobium* symbiosis as influenced by plant genotype, bacterial strain and their interactions. **Tropical Agriculture**, v. 69, n. 4, p. 381-385, 1992.

BAGGIO, A. J.; HEUVELDOP, J. Implantação, manejo e utilização do sistema agroflorestal cercas vivas de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. na Costa Rica. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 5, p. 19-52, 1982.

BALA, A.; MURPHY, P. J.; OSUNDE, A. O.; GILLER, K. E. Nodulation of tree legumes and the ecology of their native rhizobial populations in tropical soils. **Applied Soil Ecology**, v. 22, p. 211-223, 2003.

BALASUBRAMANIAN, V.; ALVES, B.; AULAKH, M. S.; BEKUNDA, M.; ZUCONG, C.; DRINKWATER, L.; MUGENDI, D.; VAN KESSEL, C.; OENEMA, O. Environmental and management factors affecting fertilizer N use efficiency. I In: MOSIER, A. R.; SYERS, J. K.; FRENEY, J. R. (Ed.). **Agriculture and the nitrogen cycle**: assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment. California: Island Press, p. 19-33, 2004. (SCOPE report, 65).

BAREKZAI, A.; MENGEL, K. Effect of microbial decomposition of mature leaves on soil pH. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 156, n.1, p. 93-94, 1993.

BARRETO, A. C.; CHAER, G. M.; FERNANDES; M. F. Hedgerow pruning frequency effects on soil quality and maize productivity in alley cropping with *Gliricidia sepium* in Northeastern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 120, p. 112-120, 2012.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1287-1293, 2001.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48 p. (Instituto Agronômico. Boletim, 78).

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; KOLHI, R. K. Allelopathic tree-croop interactions under agroforestry systems. In: BATISH, D. R.; KOLHI, R. K.; JOSE, S.; SINGH, H. P. **Ecological basis of agroforestry**. New York: CRC Press, 2007. p. 37-50.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.

BERRY, P.M.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; PHILIPPS, L.; HATCH, D.J.; CUTTLE, S.P.; RAYNS, F.W.; GOSLING, P. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? **Soil Use and Management**, v.18, p. 248-255, 2002.

BODDEY, R. M., ALVES, B. J. R., SOARES, L. H. de B., JANTALIA, C. P., URQUIAGA, S. Biological nitrogen fixation and mitigation of greenhouse gas emissions. In: EMERICH, D. W.; KRISHNAN, H. B. (Ed.) Nitrogen Fixation in Crop Production. **Agronomy Monograph 52**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. p. 387-413, 2009.

BOLAN, N. S.; HEDLEY, M. J. Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification. In: RENGEL, Z. (Ed.). **Handbook of soil acidity**. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 29-56.

BRASIL. Lei 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 dez. 2003. Seção 1, p. 8-9.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 46 de 6 de outubro de 2011. Estabelecer o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção animal e vegetal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 out. 2011, Seção 1, p. 4-11.

BRAY, R. A. The leucaena psyllid. In: In: GUTTERIDGE, R. C.; SHELTON, H. M. **Forage tree legumes in tropical agriculture**. Queensland: Tropical Grassland Society of Australia, 1998.

BREWBAKER, J. L. Registration of the Hawaiian Giant K8 *Leucaena*. **Crop Science**, v. 15, p. 885-886, 1975.

BREWBAKER, J. L. Species in the genus *Leucaena*. **Leucaena Research Reports**, v. 7, p. 6-20, 1987.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology Biochemistry**, v. 17, p. 837-842, 1985.

- BULLOCK, D. G.; BULLOCK, D. S. Quadratic and quadratic-plus-plateau models for predicting optimal nitrogen rate of corn: a comparison. **Agronomy Journal**, v. 86. p. 191-195, 1994.
- CAMERO, L. A. Poró (*Erythrina poeppigiana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) como suplementos protéicos em la producción de leche. **Agroforesteria em las Américas**, v. 1, n. 1, p. 6-8, 1994.
- CAMPBELL, C. A.; MYERS, R. J. K.; CURTIN, D. Managing nitrogen for sustainable crop production. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 42, p. 277-296, 1995.
- CAREW, B. A. R. *Gliricidia sepium* as sole feed for small ruminants. **Tropical Grasslands**, v. 17, p. 181-184, 1983.
- CASTRO, H. G. DE; PERINI, V. B. DE M.; SANTOS, G. R. DOS; LEAL, T. C. A. B. Avaliação do teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.) em diferentes épocas de colheita. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 2, p. 308-314, 2010.
- CASTRO, H. G.; BARBOSA, L. C. A.; LEAL, T. C. A. B.; SOUZA, C. M.; NAZARENO, A.C. Crescimento, teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 9, n. 4, p. 55-61, 2007.
- CATCHPOOLE, D. W.; BLAIR, G. J. Forage tree legumes. I. Productivity and nitrogen economy of *Leucaena*, *Gliricidia*, *Calliandra* and *Sesbania* and tree/green panic mixtures. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 41, n. 3, p. 521-30, 1990.
- CEOTTO, E. Grasslands for bioenergy production: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, p. 47-55, 2008.
- CERRATO, M. E.; BLACKMER, A. M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal**, v. 82, p. 138-143, 1990.
- CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose**. 2. Ed.. Porto Alegre: L&PM, 1999. 272p.
- CHUNGSAMARNYART, N.; JIWAJINDA, S. Acaricidal activity of volatile oil from lemon and citronella grasses on tropical cattle ticks. **Kasetsart Journal (National Science Supplement)**, v. 26, p. 46-51, 1992.
- CIAMPITTI, I. A.; VYN; T. J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. **Field Crops Research**, v. 121, p. 2-18, 2011.
- CNPGC. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. Uso da leucena em pastagens. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1996. (**Gado de Corte Divulga**, 19).
- COLWELL, J. D. **Estimating fertilizer requirements: a quantitative approach**. Wallingford: CAB International, 1994. 262 p.

COOK, B. G.; PENGELLY, B. C.; BROWN, S. D.; DONNELLY, J. L.; EAGLES, D. A.; FRANCO, M. A.; HANSON, J.; MULLEN, B. F.; PARTRIDGE, I. J.; PETERS, M.; SCHULTZE-KRAFT, R. 2005. **Tropical Forages**: an interactive selection tool. Brisbane: CSIRO, DPI&F(Qld), CIAT and ILRI, 2005.

CORDEIRO, L. Fixação do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A., 2004. p. 76-93.

COSTA, C. M. G. R.; SANTOS, M. da S., BARROS, H. M. M.; AGRA, P. F. M.; FARIAS, M. A. de A. Óleo essencial de citronela no controle da bactéria fitopatogênica *Erwinia carotovora*. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 2, n. 2, p. 11-14, 2008.

COSTA, M. B. B. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346 p.

COSTA, N. de L.; PAULINO, V. T.; COSTA, R. S. C. da. **Resposta de *Sesbania sesban* à inoculação de micorrizas arbusculares e adubação com fosfato de rocha**. Macapá: Embrapa Amapá, 2000. 3 p. (Embrapa Amapá. Comunicado Técnico, 48).

CREWS T. E.; PEOPLES M. B. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. **Agriculture Ecosystems Environmental**, v. 102, p. 279-297, 2004.

CREWS, T. E.; PEOPLES, M. B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, p. 101-120, 2005.

CRUZ, P. Annual dry matter and nutrient yields in a *Dichanthium* sward with or without *Gliricidia* shrubs. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. Disponível em: <[www.internationalgrasslands.org/publications/2001/id1802.pdf](http://www.internationalgrasslands.org/publications/2001/id1802.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2012.

DELWICHE, C. C.; JOHNSON, C. M.; REISENAUER, H. M. Influence of cobalt on nitrogen fixation by medicago. **Plant Physiology**, v. 36, n. 1, 73-78, 1961.

DE-POLLI, H.; CHADA, S. S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solos de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 287-293, 1989.

DE-POLLI, H.; COSTANTINI, A.; ROMANIUK, R.; PIMENTEL, M. S. Chloroform fumigation-extraction labile C pool (microbial biomass C “plus”) shows high correlation to microbial biomass C in argentinian and brazilian soils. **Ciencia del Suelo**, v. 25, n. 1, 2007.

DE-POLLI, H.; FRANCO, A. A. **Inoculação de leguminosas**. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 1985. (Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 1).

DIEROLF, T. S.; YOST, R. S. Survival rates of three species in a four year old alley cropping trial. **Nitrogen Fixing Tree Research Reports**, v. 7, p. 12-13, 1989.

DILWORTH, M. J.; ROBSON, A. D.; CHATEL, D. L. Cobalt and nitrogen fixation in *Lupinus angustifolius*. II. Nodule formation and function. **New Phytologist**, v. 83, n. 1, p. 63-79, 1979.

DIVITO, G. A.; ROZAS, H. R. S.; ECHEVERRÍA, H. E.; STUDDERT, G. A.; WYNGAARD, N. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 114, p. 117-126, 2011.

DRINKWATER, L. E.; WAGONER, P.; SARRANTONIO, M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. **Nature**, v. 396, p. 262-265, 1998.

DRUMOND, M. A.; CARVALHO FILHO, O. M.; OLIVEIRA, V. R. Introdução e seleção de espécies arbóreas forrageiras exóticas na região semi-árida do Estado de Sergipe. **Acta Botânica Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 3, p. 251-256, 1999.

DUNSDON, A. J. Y.; SIMONS, A. J. Provenance and progeny trials. In: STEWART, J. L.; ALLISON, G. E.; SIMONS, A. J. (Ed.). ***Gliricidia sepium*: genetic resources for farmers**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1996. (Tropical Forestry Papers, 33).

ELEVITCH, C. R.; FRANCIS, J. K. *Gliricidia sepium* (gliricidia): Fabaceae (legume family). **Species Profiles for Pacific Island Agroforestry**, v. 2, 2006.

ELLA, A.; BLAIR, G. J.; STÜR, W. W. Effect of age of forage tree legumes at the first cutting on subsequent production. **Tropical Grasslands**, v. 25, p. 275-280, 1991.

ELLA, A.; JACOBSEN, C.; STÜR, W. W.; BLAIR, G. Effect of plant density and cutting frequency on the productivity of four tree legumes. **Tropical Grasslands**, v. 23, p. 28-34, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; ABOUD, A. C. de S. **Adução verde com leguminosas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 49p. (Coleção Saber).

FAGBOLA, O.; OSONUBI, O.; MULONGOY K.; ODUNFA, S. A. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhiza on the growth of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp, and *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. in simulated eroded soil conditions. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 215-223, 2001.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. **Resources: land**. 2009. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/377/DesktopDefault.aspx?PageID=377#ancor>> Acesso em: 10 mar. 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. **Top production – World (total) – 2010a**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

FAO. **Guidelines for the production, processing, labelling and marketing of organically produced foods**. rev. amp. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, 2010b. (Codex Alimentarius. CAC/GL, 32).

FERRARIS, R. Productivity of *Leucaena leucocephala* in the wet tropics of North Queensland. **Tropical Grasslands**, v. 13, p. 20-27, 1979.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. 66 p.

FILLERY, I. R. P. The fate of biologically fixed nitrogen in legume-based dryland farming systems: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, p. 361-381, 2001.

FRANCO, A. A. **Uso de *Gliricidia sepium* como moirão vivo**. Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 1988. 5 p. (EMBRAPA-UAPNPBS. Comunicado Técnico, 3).

FRANCO, A. A.; DIAS, L. E., FARIA, S. M. de; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. da. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida no solo: um modelo tecnológico. **Oecologia Brasiliensis**, v. 1, p. 459-467, 1995.

FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. The contribution of N<sub>2</sub> fixing tree legumes to land reclamation and sustentability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5-6, p. 897-903, 1997.

FRANCO, A. A.; SOUTO, S. M. ***Leucaena leucocephala*: uma leguminosa com múltiplas utilidades para os trópicos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1986. 7 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 2).

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.

GAGNON, B.; ZIADI, N. Grain corn and soil nitrogen responses to sidedress nitrogen sources and applications. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 3, p. 1014-1022, 2010.

GALINDO, W.F.; ROSALES, M.; MURGUEITIO, E. et al. Sustancias antinutricionales em las hojas de Guano, Nacedero y Matarratón. **Livestock Research for Rural Development**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 1989. On line edition. Disponível em: <http://www.cipav.org.co//lrrd>> Acesso em: 10 set. 2007.

GALLOWAY, J. N.; TOWNSEND, A. R.; ERISMAN, J. W.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; FRENEY, J. R.; MARTINELLI, L. A.; SEITZINGER, S. P.; SUTTON, M. A. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. **Science**, v. 320, p. 889-892, 2008.

GALLOWAY, J.N.; DENTENER, F.J.; CAPONE, D. G.; BOYER, E. W.; HOWARTH, R. W.; SEITZINGER, S. P.; ASNER, G. P.; CLEVELAND, C. C.; GREEN, P. A.; HOLLAND, E. A.; KARL, D. M.; MICHAELS, A. F.; PORTER, J. H.; TOWNSEND, A. R.; VÖRÖSMARTY, C. J. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, v. 70, p. 153-226, 2004.

GARDNER, J. B, DRINKWATER, L. E. The fate of nitrogen in grain cropping systems: a meta-analysis of 15N field experiments. **Ecological Applications**, v. 19, p. 2167-2184, 2009.

GILLER, K. E.; CADISCH, G. Future benefits from biological nitrogen fixation: an ecological approach to agriculture. **Plant and Soil**, v. 174, p. 255-277, 1995.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 653p.

GLOVER, N. FACT net. **Growing gliricidia**. NFT Highlights a quick guide to useful nitrogen fixing trees from around the world, 2003. 3p. Disponível em: <[http://www.winrock.org/fnrm/factnet/factpub/FACTSH/Grow\\_gliricid.html](http://www.winrock.org/fnrm/factnet/factpub/FACTSH/Grow_gliricid.html)>. Acesso em: 10 set. 2007.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G. DA; ASSIS, R. L. DE; PIRES, F. R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, 2007.

GÓMEZ, M. E.; MOLINA, C. H.; MOLINA, E. J.; MURGUEITIO, E. Producción de biomasa en seis ecotipos de matarratón (*Gliricidia sepium*). **Livestock Research for Rural Development**, v.2, n.2, 1990.

GÓMEZ, M. E.; PRESTON, T. R. Ciclaje de nutrientes en un banco de proteína de matarratón (*Gliricidia sepium*). **Livestock Research for Rural Development**, v. 8, n. 1, 1996.

GÓMEZ, M. E.; RODRIGUEZ, E.; MURGUEITIO, E. et al. **Arboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente protéica**. Cali: CIPAV, 1995. 129p.

GOULDING, K. Pathways and losses of fertilizer nitrogen at different scales. In: MOSIER, A. R.; SYERS, J. K.; FRENEY, J. R. (Ed.). **Agriculture and the nitrogen cycle**: assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment. California: Island Press, p. 209-219, 2004. (SCOPE report, 65).

GUEVARRA, A. B.; WHITNEY, A. S.; THOMPSON, J. R. Influence of intra-row spacing and cutting regimes on the growth and yield of leucaena. **Agronomy Journal**, v. 70, p. 1035-1037, 1978.

GUTTERIDGE, R. C.; SHELTON, H. M. The role of forage tree legumes in cropping and grazing systems. In: GUTTERIDGE, R. C.; SHELTON, H. M. **Forage tree legumes in tropical agriculture**. Queensland: Tropical Grassland Society of Australia, 1998.

HALLSWORTH, E. G.; WILSON, S. B.; GREENWOOD, E. A. N. Copper and cobalt in nitrogen fixation. **Nature**, v. 187, p. 79-80, 1960.

HANDAYANTO, E.; GILLER, K. E.; CADISCH, G. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p. 1417-1426, 1997.

HENSLEIGH, T. E.; HOLOWAY, B. K. **Agroforestry species for the Philippines**. Washington DC: Peace Corps, 1988. 404 p.

HOWARTH, R. W. Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally. **Harmful Algae**, v. 8, p. 14-20, 2008.

HOYT, P. B.; TURNER, R. C. Effects of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH<sub>4</sub> and crop yields. **Soil Science**, v. 119, n. 3, p. 227-237, 1975.



HUGHES, C. E. Biological considerations in designing a seed collection strategy for *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. (Leguminosae). **Commonwealth Forestry Review**, v. 66, n. 1, p. 31-48, 1987.

HUGHES, C. E. **Leucaena**: a genetic resources handbook. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1998a. 274 p. (Tropical Forestry Paper, 37).

HUGHES, C. E. Monograph of *Leucaena* (Leguminosae: Mimosoideae). **Systematic Botany Monographs**, v. 55, p. 1-244, 1998b.

HURTADO, S. M. C.; RESENDE, Á. V. de; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1011-1017, 2011.

HUTTON, E. M.; GRAY, S. G. Problems of adapting *Leucaena glauca* as a forage for the Australian tropics. **Empire Journal of Experimental Agriculture**, v. 27, p. 187-196, 1959.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.)]. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

ISARASENEE, A.; SHELTON, H. M.; JONES, R. M.; BUNCH, G. A. Accumulation of edible forage of *Leucaena leucocephala* cv. Peru over late summer and autumn for use as dry season feed. **Leucaena Research Reports**, v. 5, p. 34, 1984.

ISRAEL, D. W.; JACKSON, W. A. Ion balance, uptake, and transport processes in n<sub>2</sub>-fixing and nitrate- and urea-dependent soybean plants. **Plant Physiology**, v. 69, n. 1, p. 171-178, 1982.

JAMA, B.; NAIR, P. K. R. Effect of cutting height of *Leucaena leucocephala* hedges on production of seeds and green leaf manure at Machakos, Kenya. **Leucaena Research Reports**, v. 10, p. 46-48, 1989.

JANTAN, I.; ZAKI, Z. M. Development of environment-friendly insect repellents from the leaf oils of selected Malaysian plants. **ASEAN Review of Biodiversity and Environmental Conservation**, 1999.

JARVIS, S. C.; HATCH, D. J. Rates of hydrogen ion efflux by nodulated legumes grown in flowing solution culture with continuous pH monitoring and adjustment. **Annals of Botany**, v. 55, p. 41-51, 1985.

JAYASUNDARA, H. P. S.; DENNETT, M. D.; SANGAKKARA, U. R. Biological nitrogen fixation in *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* and transfer of fixed nitrogen to an associated grass. **Tropical Grasslands**, v.31, p. 529-537, 1997.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal on metabolism in soil – V: a method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, p.209-213, 1976.

JENSEN, E. S.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M.; GRESSHOFF, P. M.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; ALVES, B. J. R.; MORRISON, M. J. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 2011.

JESUS, E. L. de. **Caracterização de leguminosas tropicais utilizadas como adubos verdes com relação ao padrão de absorção de nutrientes e mobilização de fósforo a partir de fosfato de rocha**. Tese (Doutorado em Agronomia), Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 1993.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres LTDA, 1985. 492 p.

KILL, L. H. P.; DRUMOND, M. A. Biologia floral e sistema reprodutivo de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. (Fabaceae - Papilionoidae) na região de Petrolina, Pernambuco. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 597-601, 2001.

KIRKBY, E. Introduction, definition and classification of nutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. San Diego: Elsevier, 2012.

KLUTHCOUSKI, J. **Leucena: alternativa para a pequena e média agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-DID. 1982. 12 p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular Técnica, 6).

KRISHNA, M. K.; MUNEGOWDA, M. K. Effect of cutting frequency regimes on the herbage yield of *Leucaena*. **Leucaena Research Reports**, v. 3, p. 31-32, 1982.

KWESIGA, F. Performance of 15 provenances of *gliricidia-sepium* in Eastern Zambia. **Forest Ecology and Management**, v. 64, n. 2-3, p. 161-170, 1994.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N. de; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 460-467, 2006.

LATT, C. R.; NAIR, P. K. R.; KANG, B.T. Interactions among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*. **Agroforestry Systems**, v. 50, n. 1, p. 27-46, 2000.

LENNÉ, J. M.; BOA, E. R. Diseases of tree legumes. In: GUTTERIDGE, R. C.; SHELTON, H. M. **Forage tree legumes in tropical agriculture**. Queensland: Tropical Grassland Society of Australia, 1998.

LESLEIGHTER, L. C.; SHELTON, H. M. A method for enhancing establishment of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit in infertile acid soils. **Tropical Grasslands**, v. 20, n. 1, 1986)

LIASU, M.O.; ATAYESE, M.O.; OSONUBI, O. Effect of mycorrhiza and pruning regimes on seasonality of hedgerow tree mulch contribution to alley-cropped cassava in Ibadan, Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 14, p. 1341-1349, 2006.

LIEBHARDT, W. C.; ANDREWS, R. W.; CULIK, M. N.; HARWOOD, R. R.; JANKE, R. R.; RADKE, J. K.; REIGER-SCHWARTZ, S. L. Crop production during conversion from conventional to low-input methods. **Agronomy Journal**, v. 81 n. 2, p. 150-159, 1989.

LIMA, J. A. de; EVANGELISTA, A. R. **Leucena (*Leucaena leucocephala*)**, 2009. Disponível em: <[http://www.editora.ufla.br/BolExtensao/pdfBE/bol\\_50.pdf](http://www.editora.ufla.br/BolExtensao/pdfBE/bol_50.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2009.

LINS, C. E. de L.; MAIA, L. C.; CAVALCANTE, U. M. T.; SAMPAIO, E. V. de S. B. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de mudas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. em solos de Caatinga sob impacto de mineração de cobre. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 355-363, 2007.

LITTLE, E. L. **Common fuelwood crops: a handbook for their identification**. Morgantown: Communi-Tech Associates, 1983. 356 p.

LIXA, A. T.; ALMEIDA, M. M. T. B.; SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H.; RIBEIRO, R. de L. D. Atributos fitotécnicos como indicadores do teor e acúmulo de nitrogênio em rúcula: experimento 2. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

LIYANAGE, L. V. K.; WIJERATNE, A. M. U. Uses and management of *Gliricidia sepium* in coconut plantations of Sri Lanka. In: WITHINGTON, D.; GLOVER, N.; BREWBAKER, J.L. (Eds.). ***Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., management and improvement**. Turrialba: NFTA, 1987. p. 95-101 (Special Publication 87-01).

LIYANAGE, M. de S.; DANSO, S. K. A.; JAYASUNDARA, H. P. S. Biological nitrogen fixation in four *Gliricidia sepium* genotypes. **Plant and Soil**, v. 161, n. 2, 1994.

LUPWAYI, N. Z.; HAQUE, I. *Leucaena* hedgerow intercropping and cattle manure application in the Ethiopian highlands - III. Nutrient balances. **Biology and Fertility of Soils**, v. 28, n. 2, p. 204-211, 1999.

MACHADO, A. T.; MACHADO, C. T. de T.; COELHO; C. H. M.; ARCANJO, J. N. **Manejo da diversidade genética do milho e melhoramento participativo em comunidades agrícolas nos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 22 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento; 32).

MAHALWAL, V. S.; ALI, M. Volatile constituents of *Cymbopogon nardus* (Linn.) Rendle. **Flavour and Fragrance Journal**, v.18, p. 73-76, 2003.

MARCO, C. A.; INNECCO, R.; MATTOS, S. H.; BORGES, N. S. S.; NAGAO, E. O. Características do óleo essencial de capim-citronela em função de espaçamento, altura e época de corte. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 429-432, 2007.

MARTINS, R. M. Estudio in vitro de la acción acaricida del aceite esencial de La gramínea Citronela de Java (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) em la garrapata *Boophilus microplus*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. 2, p.71-78, 2006.

MATOS, L. V.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. de; PEREIRA, J. A. R., FRANCO, A. A. **Plantio de leguminosas arbóreas para produção de moirões vivos e construção de cercas ecológicas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. (Embrapa Agrobiologia. Sistemas de Produção, 3).

MCCOY, S. **Organic agriculture**: strategic opportunities for Western Australia. rev. Western Australia: Department of Agriculture, 2006. 23 p. (Department of Agriculture. Bulletin, 4622).

MEDICE, R.; ALVES, E.; ASSIS, R. T. de; MAGNO JÚNIOR, R. G.; LOPES, E. A. das G. L. Óleos essenciais no controle da ferrugem asiática da soja *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 83-90, 2007.

MENDONÇA, M. M. de; URQUIAGA, S. S.; REIS, V. M. Variabilidade genotípica de milho para acumulação de nitrogênio e contribuição da fixação biológica de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1681-1685, 2006.

MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. **Annual Review of Phytopatology**, v. 11, p. 171-196, 1973.

MUCHERU-MUNA, M.; MUGENDI, D.; KUNG'U, J.; MUGWE, J.; BATIONO, A. Effects of organic and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya. **Agroforestry Systems**, v. 69, n. 3, p. 189-197, 2007.

MULVANEY, R. L.; KHAN, S. A.; ELLSWORTH, T. R. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. **Journal of Environmental Quality**, v. 38, p. 2295-2314, 2009.

NAKAHARA, K.; ALZOREKY, N. S.; YOSHIHASHI, T.; NGUYEN, H. T. T.; TRAKOONTIVAKORN, G. Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Cymbopogon nardus* (Citronella Grass). **JARQ**, v. 37, n. 4, p. 249-252, 2003.

NAS. National Academy of Sciences. **Firewood crops, shrub and tree species for energy production**. Washington, 1980. 237 p.

NASCIMENTO, M. P. S. C. B. **Germinação de leguminosas forrageiras nativas submetidas a tratamentos para quebra da impermeabilidade do tegumento**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 1982. 37p. (Embrapa Meio Norte. Boletim de Pesquisa, 5).

NGULUBE, M. R. Evaluation of *Gliricidia sepium* provenances for alley cropping in Malawi. **Forest Ecology and Management**, v. 64, n. 2-3, p. 191-198, 1994.

NITIS, I. M.; LANA, K.; SUARNA, M.; SUKANTEN, W.; PUTRA, S. **Three strata system for cattle feeds and feeding in dryland farming area in Bali**. Bali: Udayana University. 252 p. (Final report).

NOCHEBUENA, G.; O'DONOVAN, P. B. The nutritional value of high protein forage from *Gliricidia sepium*. **World Animal Review**, v. 57, p. 48-49, 1986.

NYATSANGA, T.; PIERRE, W. H. Effect of nitrogen by legumes on soil acidity. **Agronomy Journal**, v. 65, p. 936-940, 1973.

OLADEJI, O. O.; KOLAWOLE, G. O.; ADEOYE, G. O.; TIAN, G. Effects of plant residue quality, application rate, and placement method on phosphorus availability from Sokoto rock phosphate. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 2006.

OLIVO, C. J.; CARVALHO, N. M. de; SILVA, J. H. S. da; VOGEL, F. F.; MASSARIOL, P.; MEINERZ, G.; AGNOLIN, C.; MOREL, A. F.; VIAU, L. V. Óleo de citronela no controle do carrapato de bovinos. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 406-410, 2008.

PADMA, V.; SATYANARAYANA, G.; REDDY, B. M. Effect of scarification treatments on the germination of *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebbeck* and *Samanea saman* [*Albizia saman*]. **Seed Research**, v. 22, p. 54-57, 1994.

PAMO, E. T.; FONTEH, F. A.; TENDONKENG, F.; KANA, J. R.; BOUKILA, B.; DJAGA, P. J.; FOMEWANG, G. Influence of supplementary feeding with multipurpose leguminous tree leaves on kid growth and milk production in the West African dwarf goat. **Small Ruminant Research**, v. 63, n. 1-2, p. 142-149, 2006.

PARROTTA, J. A. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. **Gliricidia, mother of cocoa. Leguminosae (Papilionoideae). Legume family**. New Orleans: USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry, 1992. 7 p. (SO-ITF-SM; 50).

PATHAK, P. S.; RAI, P.; DEB ROY, R. Forage production from koo-babool *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.). 1. Effect of plant density, cutting intensity and interval. **Forage Research**, v. 6, p.83-90, 1980.

PAULINO, G. M.; ALVES, B. J. R.; BARROSO, D. G.; URQUIAGA, S.; ESPINDOLA, J. A. A. Fixação biológica e transferência de nitrogênio por leguminosas em pomar orgânico de mangueira e gravioleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1598-1607, 2009.

PCARR. Philippine Council for Agriculture And Resources Research. **Ipil-lpil the wonder tree**. Los Banos Laguna, Philippines, 1977. 17p.

PEOPLES, M. B., PALMER, B., LILLEY, D. M.; DUC, L. M.; HERRIDGE, D. F. Application of <sup>15</sup>N and xylem ureide methods for assessing N<sub>2</sub> fixation of three shrub legumes periodically pruned for forage. **Plant and Soil**, v. 182, p. 125-137, 1996.

PEOPLES, M. B.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; JENSEN, E. S. The potential environmental benefits and risks derived from legumes in rotations. In: EMERICH, D. W.; KRISHNAN, H. B. (Ed.) Nitrogen fixation in crop production. **Agronomy Monograph 52**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2009. p. 349-385.

PEREZ, S. C. J. G. de A.; FANTI; S. C. Crescimento e resistência à seca de leucena em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 6, p. 933-944, 1999.

PERSSON, J.; KIRCHMANN, H. Carbon and nitrogen in arable soils as affected by supply of N fertilizers and organic manures. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 51, p. 249-255, 1994.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 303 p.

POCKNEE, S.; SUMNER, M. E. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. **Soil Science Society of America Journal**, v. 161, p. 86-92, 1997.

PUGER, A. W.; LANA, K.; SUKANTEN, I. W.; SUARNA, M.; NITIS, I. M. Effect of cutting interval on the growth and yield of *Gliricidia sepium* planted in guardrow system. In: VIÑA, A. C. de la; MOOG, F. A. **Integrated Crop-Livestock Production Systems and Fodder Trees**. Legaspi City: FAO/BAI/DAPGA, 1998. p. 69-75.

PUTTANNA, K.; GOWDA, N. M. N.; PRAKASA RAO, E. V. S. Effects of applications of N fertilizers and nitrification inhibitors on dry matter and essential oil yields of Java citronella (*Cymbopogon winterianus* Jowitt.). **Journal of Agricultural Science**, v. 136, p. 427-431, 2001.

QUEIROZ, L. R.; COELHO, F. C.; BARROSO, D. G.; QUEIROZ, V. A. V. Avaliação da produtividade de fitomassa e acúmulo de N, P e K em leguminosas arbóreas no sistema de aléias, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 383-390, 2007.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

RAVEN, J.; FRANCO, A. A.; JESUS, E. L.; JACOB-NETO, J. H<sup>+</sup> extrusion and organic acids synthesis in N<sub>2</sub>-fixing symbiosis involving vascular plants. **New Phytologist**, v. 114, n. 3, p. 369-390, 1990.

REIS, V. M.; OLIVEIRA, A. L. de M. de; BALDANI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.153-174.

REISENAUER, H. M. Cobalt in nitrogen fixation by a legume. **Nature**, v. 186, p. 375-376, 1960.

REY, A. C.; IBRAHIM, M. Bancos de proteína de poró (*Erythrina berteroana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*). **Agroforesteria en las Américas**, v. 2, n. 8, 1995.

RHODES, L.H.; GERDEMANN, J.W. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. **NewPhytologist**, v.75, p.755-761, 1975.

RICE, K.C.; HERMAN, J. S. Acidification of earth: an assessment across mechanisms and scales. **Applied Geochemistry**, v. 27, p. 1-14, 2012.

ROBERTSON, G. P.; VITOUSEK, P. M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, p. 97-125, 2009.

ROCHETTE, P.; JANZEN, H. H. Towards a revised coefficient for estimating N<sub>2</sub>O emissions from legumes. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 73, p. 171-179, 2005.

SAKALAA, G. M.; ROWELLA, D. L.; PILBEAMA, C. J. Acid–base reactions between an acidic soil and plant residues. **Geoderma**, v. 123, p. 219-232, 2004.

SANGINGA, N.; DANSO, S. K. A.; BOWEN, G. D. Variation in growth, sources of nitrogen and n-use efficiency by provenances of gliricidia-sepium. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n.10, p. 1021-1026, 1992.

SANGINGA, N.; MULONGOY, K.; AYANABA A. Nodulation and growth of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit as affected by inoculation and N fertilizer. **Plant and Soil**, v. 112, n. 1, p. 129-135, 1988.

SEIFFERT, N. F. **Leguminosas para pastagens no Brasil Central**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1984. 131 p. (EMBRAPA-CNPQC. Documentos, 7).

SEIFFERT, N. F. **Métodos de escarificação de sementes de leguminosas forrageiras tropicais**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1982. 6p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 13).

SEIFFERT, N. F.; THIAGO, L. R. L. S. **Legumineira**: cultura forrageira para produção de proteína. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1983. (Embrapa Gado de Corte. Circular Técnica, 13).

SEUFERT, V.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. **Nature**, v. 485, p. 229-234, 2012.

SHASANY, A. K.; LAL, R. K.; PATRA, N. K.; DAROKAR, M. P.; GARG, A.; KUMAR, S.; KHANUJA, S. P. S. Phenotypic and RAPD diversity among *Cymbopogon winterianus* Jowitt accessions in relation to *Cymbopogon nardus* Rendle. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 47, p. 553-559, 2000.

SHELTON, H. M.; BREWBAKER, J. L. *Leucaena leucocephala* - the most widely used forage tree legume. In: GUTTERIDGE, R. C.; SHELTON, H. M. **Forage tree legumes in tropical agriculture**. Queensland: Tropical Grassland Society of Australia, 1998.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F. C. A.; ESPINAL, F. S. C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009.

SILVA, E. E. da; DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; RESENDE, A. L. S.; OLIVEIRA, F. L.; RIBEIRO, R. L. D. Sucessão entre cultivos orgânicos de milho e couve consorciados com leguminosas em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 57-62, 2011.

SILVA, F. C. da; EIRA, P. A. da; BARRETO, W. de O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. **Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**: métodos usados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1998. 40 p. (Embrapa Solos. Documentos, 3).

SILVA, T. R. B. da. Acidificação de um Neossolo Quartzarênico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia e sulfato de amônio. **Cascavel**, v. 2, n. 1, p. 32-37, 2009.

SIMONS, A. J. Ecology and reproductive biology. In: STEWART, J. L.; ALLISON, G. E.; SIMONS, A. J. (Ed.). ***Gliricidia sepium***: genetic resources for farmers. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1996. (Tropical Forestry Papers, 33).

SKERMAN, P. J. **Tropical forage legumes**. Roma: FAO, 1977. 609 p. (FAO. Plant Production and Protection Series, 2).

SMIL, V. Detonator of the population explosion. **Nature**, v. 400, p. 415, 1999.

SMIL, V. **Enriching the earth**: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production. Cambridge: MIT Press, 2004. 358 p.

SMITH, B. E. Nitrogenase reveals its inner secrets. **Science**, v. 297, n. 5587, p. 1654-1655, 2002.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227-250, 2011.

SOARES, W. L. **Uso dos agrotóxicos e seus impactos à saúde e ao ambiente: uma avaliação integrada entre a economia, a saúde pública, a ecologia e a agricultura**. 2010. 150 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública e Meio Ambiente). Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

SOBRAL, L. F.; NOGUEIRA, L. C. Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1675-1682, 2008.

SOUZA, L. A. G. de; BEZERRA NETO, E.; SANTOS, C. E. de R. SILVA; STAMFORD, N. P. Desenvolvimento e nodulação natural de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.2, p. 207-217, 2007.

STANDLEY, P. C.; STEYERMARK, F. **Flora of Guatemala**. Chicago: Natural History Museum, 1945. 502 p.

STEWART, J. L. Variación genética en arboles forrajeros. In: **Conferencia electrónica FAO-CIPAV sobre Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica**. Oxford: Instituto Forestal de Oxford/Universidad de Oxford, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/livestock/agap/frg/afris/espanol/document/agrofor1/Stewart15.htm>>. Acesso em: 23 out. 2007.

SUTTIE, J. M. *Gliricidia sepium* (Jacq.). In: SKERMAN, P. J., CAMERON, D. G.; RIVEROS, F. **Tropical forage legumes**. 2. ed. Roma: Food and Agriculture Organization, 1988.

SZOTT, L. T.; PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Agroforestry in acid soils of the humid tropics. **Advances in Agronomy**, v. 45, p. 275-301, 1991.

TADROS, M. J.; SAMARAH, N. H.; ALQUDAH, A. M. Effect of different pre-sowing seed treatments on the germination of *Leucaena leucocephala* (Lam.) and *Acacia farnesiana* (L.). **New Forests**, v. 42, p. 397-407, 2011.

TANG, C. Factors affecting soil acidification under legumes I. Effect of potassium supply. **Plant and Soil**, v. 199, n. 2, p. 275-282, 1998.

TANG, C.; YU, Q. Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of a soil after residue incorporation. **Plant and Soil**, v. 215, p. 29-38, 1999.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 329-335, 1988.



TAWATSIN, A.; WRATTEN, S. D.; SCOTT, R. R.; THAVARA, U.; TECHADAMRONGSIN, Y. Repellency of volatile oils from plants against three mosquito vectors. **Journal of Vector Ecology**, p. 76-82, 2001.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TELES, M. M.; ALVES, A. A., OLIVEIRA, J. C. G. de; BEZERRA, A. M. E. Métodos para quebra da dormência em sementes de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p.387-391, 2000.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, 2002.

TOWNSEND, A. R.; HOWARTH, R. W.; BAZZAZ, F. A.; BOOTH, M. S.; CLEVELAND, C. C.; COLLINGE, S. K.; DOBSON, A. P.; EPSTEIN, P. R.; HOLLAND, E. A.; KEENEY, D. R.; MALLIN, M. A.; ROGERS, C. A.; WAYNE, P.; WOLFE, A. H. Human health effects of a changing global nitrogen cycle. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 5, p. 240-246, 2003.

TREWAVAS, A. Urban myths of organic farming. **Nature**, n. 410, p. 409-410, 2001.

USDA. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. **Plants Database**. 2011. Disponível em: <<http://plants.usda.gov>>. Acesso em: 18 nov. 2011.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VILELA, H. Portal Agronomia. 2009. **Série leguminosas tropicais: gênero *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*)**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd>>. Acesso em: 14 jun. 2009.

VITOUSEK, P. M.; ABER, J. D.; HOWARTH, R. W.; LIKENS, G. E.; MATSON, P. A.; SCHINDLER, D. W.; SCHLESINGER, W. H.; TILMAN, D. G. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. **Ecological Applications**, v. 7, n. 3, p. 737-750, 1997.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. DE C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 491-498, 2007.

WHITEMAN, P. C.; OKA, G. M.; MARMIN, S.; CHAND, S.; GUTTERIDGE, R. C. Studies on the germination, growth and winter survival of *Gliricidia maculata* in southeastern Queensland. **International Tree Crops Journal**, v. 3, p. 245-255, 1986.

WIKIPÉDIA. **Fabaceae**, 2011. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Fabaceae>>. Acesso em: 18 fev. 2012.

WIKIPEDIA. ***Gliricidia sepium***, 2011. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Gliricidia\\_sepium](http://en.wikipedia.org/wiki/Gliricidia_sepium)>. Acesso em: 20 dez. 2011.

WIKIPEDIA. *Leucaena leucocephala*, 2009. Disponível em: <[http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Leucaena\\_leucocephala&oldid=42137409](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Leucaena_leucocephala&oldid=42137409)> Acesso em: 17 jun. 2009.

WIKIPÉDIA. **Lignina**, 2012. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Lignina>>. Acesso em: 18 fev. 2012.

WILLER, H.; KILCHER, L. (Ed.). **The world of organic agriculture: statistics and emerging trends 2012**. Frick: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL); Bonn: International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), 2012.

WILLIAMS, M. J. Establishment and winter survival of *Leucaena* spp. and *Gliricidia sepium* in cold subtropics. **Leucaena Research Reports**, v. 8, p. 79-81, 1987.

WONG, C. C. Assessment of *Gliricidia sepium* provenance Retalhuleu for forage production at two cutting heights and intervals. In: VIÑA, A. C. de la; MOOG, F. A. **Integrated Crop-Livestock Production Systems and Fooder Trees**. Legaspi City: FAO/BAI/DAPGA, 1998. p. 87-88.

XAVIER, D. F. **Leucena**: procedimentos e cuidados para um bom estabelecimento. Coronel Pacheco: Embrapa Gado de Leite, 1989. 3 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 4).

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 4-5, p. 617-624, 1996.

YASSIN, N.; MORAIS, A. R. de; MUNIZ, J. A. Análise de variância em um experimento fatorial de dois fatores com tratamentos adicionais. **Ciência e Agrotecnologia**, Edição Especial, p.1541-1547, 2002.

YOUKHANA, A.; IDOL, T. First-year biomass production and soil improvement in leucaena and robinia stands under different pollarding systems. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 20, n. 3, p. 181-187, 2008.

YOUKHANA, A.; IDOL, T. Tree pruning mulch increases soil C and N in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 2527-2534, 2009.

ZÁRATE, P. S. Taxonomic identity of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit with a new combination. **Phytologia**, v. 63, p. 304-306, 1987.