

WELLINGTON BRESSAN

MICORRIZA, FÓSFORO E NITROGÊNIO NO SORGO E SOJA CONSORCIADOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras (UFLA), como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia, para a obtenção do Título de Doutor.

Orientador

Prof. Dr. JOSÉ OSWALDO SIQUEIRA

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

1996

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da
Biblioteca Central da UFLA

Bressan, Wellington

Micorriza, fósforo e nitrogênio no sorgo e soja
consoiciados / Wellington Bressan. -- Lavras :
UFLA, 1996.

160 p. : il.

Orientador: José Oswaldo Siqueira.

Tese (doutorado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Sorgo - Soja - Consoicição. 2. Micorriza.
3. Fósforo. 4. Nitrogênio. 5. Fixação de nitrogê-
nio. 6. Simbiose. 7. Metabolismo. 8. Nutriente.
- I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.174

WELLINGTON BRESSAN

MICORRIZA, FÓSFORO E NITROGÊNIO NO SORGO E SOJA CONSORCIADOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras (UFLA), como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia, para a obtenção do Título de Doutor.

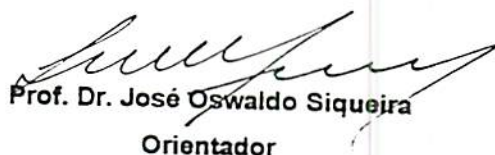
APROVADA em 10 Setembro de 1996:


Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade


Pesq. Dr. Gonçalo Evangelista de Souza


Pesq. Dr. Carlos Alberto Vasconcellos


Prof. Dr. Fátima Maria de Souza Moreira


Prof. Dr. José Oswaldo Siqueira
Orientador

AGRADECIMENTOS

Aos membros do Comitê de orientação Prof. Dr. José Oswaldo Siqueira, Dr. Carlos Alberto Vasconcellos e Dr. Antonio Alvaro Corsetti Purcino pela orientação segura, respeitosa e amigável.

Ao Pesquisador Dr. Gonçalo Evangelista de Souza pelo apoio, sugestões e contribuições no desenvolvimento dos experimentos.

Ao Prof. Dr. Maurício de Souza pelo apoio e amizade à minha participação no curso de Doutorado em Fitotecnia na UFLA.

Aos Professores Dr. Messias José Bastos de Andrade e Dra. Fátima Maria de Souza Moreira e ao Dr. João Baptista da Silva pela colaboração e amizade.

Ao Pesquisador Dr. Antonio Carlos de Oliveira pela ajuda na elaboração das análises estatísticas.

Aos meus pais Elza e Mauro Bressan (em memória) pela minha vida e estímulo aos meus estudos.

Aos meus filhos Jean Paul, Patrick e Philippe que fizeram este árduo objetivo tornar-se mais ameno e uma realidade com as suas presenças sempre constantes e confortantes.

Aos colegas do CPD, Biblioteca e pessoal de apoio de campo e laboratórios do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) / EMBRAPA pela concessão na utilização dos computadores , elaboração na revisão bibliográfica e ajuda na instalação dos experimentos e análises laboratoriais.

Ao CNPMS / EMBRAPA pela oportunidade concedida à realização do curso.

A todos aqueles que colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

página

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Consorciação entre plantas.....	3
2.1.1 Aspectos gerais.....	3
2.1.2 Diferenças nutricionais.....	5
2.2 Associações micorrízicas arbusculares.....	8
2.2.1 Aspectos gerais.....	8
2.2.2 A simbiose e seus efeitos nas plantas.....	10
2.2.3 Transferência de nutrientes entre plantas.....	12
2.2.3.1 Transferência de nitrogênio.....	13
2.2.3.2 Transferência de fósforo.....	18
2.3 Metabolismo do nitrogênio e do carbono em plantas.....	18
2.3.1 Enzimas do metabolismo do nitrogênio.....	19
2.3.2 Enzimas do metabolismo do carbono.....	21
3.CAPÍTULO 1 ESPÉCIES DE FUNGOS MAS E DOSES DE P NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO SORGO GRANÍFERO (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) E DA SOJA (<i>Glycine max</i> L.) CONSORCIADOS.....	24
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
3.1 Produção de matéria seca e de grãos.....	27
3.2 Peso de nódulos.....	33
3.3 Colonização das raízes.....	35
3.4 Concentração de nutrientes.....	37

4. CAPÍTULO 2 INTERAÇÃO FÓSFORO, NITROGÊNIO E MICORRIZA NO CRESCIMENTO DO SORGO GRANÍFERO (<i>Sorgo bicolor</i> (L.) E DA SOJA (<i>Glycine max</i> L.), EM MONOCULTIVO E CONSORCIADOS.....	44
1. INTRODUÇÃO.....	44
2. MATERIAIS E METODOS.....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
3.1 Peso da matéria seca da parte aérea.....	47
3.1.1. Sorgo.....	47
3.1.2 Soja.....	50
3.2 Peso de grãos.....	51
3.2.1 Sorgo.....	51
3.2.2 Soja.....	54
3.3 Índice de Colheita.....	55
3.4 Peso de nódulos secos.....	57
3.5 Colonização micorrízica e densidade de esporos.....	59
3.5.1 Colonização micorrízica.....	59
3.5.2 Densidade de esporos.....	61
3.6 Concentrações foliares de nutrientes.....	65
3.6.1 Nitrogênio e fósforo no sorgo.....	66
3.6.2 Nitrogênio e fósforo na soja.....	71
3.6.3 Relação P/N no tecido foliar.....	76
3.7 Outros nutrientes.....	78
3.8 Teor de proteína nos grãos.....	81
3.8.1 Sorgo.....	82
3.8.2 Soja.....	83
5. CAPÍTULO 3 EFEITO DA INOCULAÇÃO COM FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR NA TRANSFERÊNCIA DE N NA CONSORCIAÇÃO SORGO GRANÍFERO (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) E SOJA (<i>Glycine max</i> L.).....	87
1. INTRODUÇÃO.....	87
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	88
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
3.1 Produção de matéria seca.....	90
3.2 Colonização das raízes.....	92
3.3 Concentração de nitrogênio.....	92
6. CAPÍTULO 4 PROTEÍNA E ATIVIDADE DE ENZIMAS DÃ ASSIMILAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SORGO (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) E SOJA (<i>Glycine max</i> L.) SOB INFLUÊNCIA DE P, N E MICORRIZA.....	95
1. INTRODUÇÃO.....	95
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	96
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	99
3.1 Peso da matéria seca da parte aérea.....	99
3.1.1 Sorgo.....	99
3.1.2 Soja.....	103
3.2 Colonização das raízes do sorgo e da soja.....	105

3.3 Teor de proteínas solúveis totais e nitrogênio.....	107
3.3.1 Sorgo.....	107
3.3.2 Soja.....	109
3.4 Concentração da RUBISCO.....	112
3.4.1 Sorgo.....	112
3.4.2 Soja.....	114
3.5 Atividade da Glutamina Sintetase.....	116
3.5.1 Sorgo.....	116
3.5.2 Soja.....	118
3.6 Teores de P.....	120
3.6.1 Sorgo.....	120
3.6.2 Soja.....	122
3.7 Atividade da PEPC.....	122
3.7.1 Sorgo.....	122
3.7.2 Soja.....	125
7. CONCLUSÕES GERAIS.....	128
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
9. APÊNDICE.....	159

LISTA DE FIGURAS

página

CAPÍTULO 1

FIGURA

- | | |
|---|----|
| 1. Matéria seca da parte aérea e peso dos grãos secos do sorgo (a) e da soja (b), consorciados e inoculados e não inoculados com espécies de fungos micorrízicos sob diferentes doses de P. (GE) <i>Glomus etunicatum</i> , (GM) <i>Gigaspora margarida</i> , (GC) <i>Glomus clarum</i> , (SE) sem inoculação. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1994 | 29 |
| 2. Matéria seca e produção de grãos relativos ao controle sem inoculação para o sorgo (a) e a soja (b) consorciados e inoculados com espécies de fungos micorrízicos em diferentes níveis de P disponível no solo. (GE) <i>Glomus etunicatum</i> , (GM) <i>Gigaspora margarida</i> , (GC) <i>Glomus clarum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1994 | 30 |
| 3. Relação entre o peso da matéria seca do sorgo e da soja inoculados (a) e não inoculados (b) com fungos micorrízicos em diferentes níveis de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994..... | 31 |
| 4. Peso dos nódulos secos das raízes da soja inoculada e não inoculada com fungos micorrízicos em diferentes doses de P. (GE) <i>Glomus etunicatum</i> , (GM) <i>Gigaspora margarida</i> , (GC) <i>Glomus clarum</i> , (SI) sem inoculação. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994 | 34 |
| 5. Aumento no peso dos nódulos secos da soja inoculada com fungos micorrízicos, em relação a soja, em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994 | 35 |
| 6. Efeitos das doses de P sobre a colonização das raízes do sorgo (a) e da soja (b) por fungos micorrízicos. (GE), <i>Glomus etunicatum</i> , (GM)) <i>Gigaspora margarida</i> , (GC) <i>Glomus Clarum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994..... | 36 |

CAPÍTULO 2

FIGURA

- | | |
|---|----|
| 1. Peso da matéria seca da parte aérea do sorgo , em monocultivo (a) e consorciado (b) em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N. (IN) Inoculado + N, (ISN) inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N, (NSN) Não inoculado sem N. Sete Lagoas, (MG). 1995 | 49 |
|---|----|

2	Peso da matéria seca da parte aérea da soja, em função de (a) sistema de cultivo x inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> , (b) Sistema de cultivo x aplicação de N em cobertura. (MI) monocultivo Inoculada, (MNI) monocultivo não inoculada, (CI) Consórcio inoculada, (CNI) Consórcio não inoculada, (MN) monocultivo + N, (MSN) monocultivo sem N, (CN) Consórcio com N, (CSN) Consórcio sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG) 1995.....	50
3	Peso dos grãos secos do sorgo em função do sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> , em diferentes doses de P. (MI) monocultivo inoculado, (MNI) monocultivo não inoculado, (CI) Consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado, (NI) Não inoculado. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	52
4	Peso dos grãos secos do sorgo em Monocultivo (a) e Consórcio (b) em função das doses de P, inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N. (IN) Inoculado + N, (ISN) Inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N, (NSN) Não inoculado sem N. CPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	53
5	Peso dos grãos secos da soja em diferentes níveis de P e sistema de cultivo. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	54
6	Peso dos nódulos secos das raízes da soja, em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N em cobertura. (a) Monocultivo, (b) Consórcio. (I) Inoculado, (NI) Não inoculado. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	57
7	Colonização média das raízes do sorgo e da soja por fungo micorrízico, em monocultivo e consorciados. Médias com letras diferentes nas plantas de sorgo e soja diferem significativamente a nível de 5%. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	59
8	Colonização ds raízes do sorgo (a) e da soja (b) por fungo micorrízico em diferentes doses de P. (CN) Com N, (SN) Sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	60
9	Número de esporos no solo no sorgo e soja em monocultivo ou consorciados. Médias com letras nas plantas de sorgo e soja, diferem significativamente a nível de 5%. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	62
10	Número de esporos no solo com sorgo (a) e com soja (b), em função das doses de P e aplicação de N. (CN) Com N, (SN) Sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	62
11	Relação entre o número de esporos no solo e colonização micorrízica no sorgo e na soja em monocultivo e consorciados. CNPMS., Sete Lagoas, (MG). 1995.....	64
12	Teor de N nas folhas do sorgo em função das interações: (a) sistema de cultivo x inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> x P; (b) sistema de cultivo x P x N; P x inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> x N. (C+I) consórcio + inoculação; (C-N) Consórcio - N; (M+N) monocultivo + N; (M-N) monocultivo - N; (I+N) Inoculado + N; (I - N) Inoculado - N; (NI +N) Não inoculado + N; (NI-N) Não inoculado sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	67
13	Variação na concentração foliar de N no sorgo consorciado e inoculado com <i>Glomus etunicatum</i> . (CN) com N e (SN) sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	68

14	Teor de P nas folhas do sorgo em função do sistema de cultivo (a = monocultivo; b= consórcio), doses de P, inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N. (IN) inoculado + N, (I) inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N e (N) Não inoculado sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	69
15	Teor de N nas folhas da soja em função do (a) sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e (b) Inoculação e aplicação de N em diferentes doses de P. (MI) Monocultivo inoculado, (MNI) Monocultivo não inoculado, (CI) Consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado, (IN) Inoculado + N, (ISN) Inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N, (NSN) Não inoculado sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	72
16	Teor de P nas folhas da soja em função do sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> . (MI) Monocultivo inoculado, (MNI) Monocultivo não inoculado, (CI) Consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado. Inoculada, (NI) Não inoculada. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	75
17..	Relação P /N nas folhas do sorgo e da soja, em função do sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG) . 1995.....	77
18	Teor de proteína bruta nos grãos de sorgo em função do (a) sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> , (b) inoculação e aplicação de N, em diferentes doses de P. (MI) Monocultivo inoculado, (MNI) Monocultivo não inoculado, (CI) Consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado, (IN) Inoculado + N, (ISN) inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N, (NSN) Não inoculado sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	83
19	Teor de proteína bruta nos grãos da soja em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N, em diferentes doses de P. (IN) Inoculada + N, (ISN) inoculada sem N, (NN) Não inoculada + N, (NSN) Não sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	85
20	Teor de N nas folhas da soja em em função do P, inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N. (N) Com N, (SN) Sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	84

CAPÍTULO 3

FIGURA

1	Esquema do vaso com compartimentos utilizados na consorciação sorgo - soja. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	89
---	---	----

CAPÍTULO 4

FIGURA

1	Peso da matéria seca da parte aérea do sorgo em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> (a) e aplicação de N (b) em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	102
2	Colonização das raízes do sorgo e da soja em função das doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	106

3	Teor de proteínas nas folhas do sorgo em monocultivo (a) e consorciado (b) em função das doses de P. inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	107
4	Teor de N nas folhas do sorgo em função do sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N. Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente, a nível de 5%. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	109
5	Teor de proteínas nas folhas da soja em monocultivo e consorciada, em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995).....	110
6	Teor de N nas folhas da soja em função do sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	111
7	Concentração da RUBISCO nas folhas do sorgo em monocultivo e consorciado em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N. Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente, a nível de 5%. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	113
8	Concentração da RUBISCO nas folhas do sorgo em função do sistema de cultivo, aplicação de N e doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	114
9	Concentração da RUBISCO nas folhas da soja em função do sistema de cultivo (a) e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> (b) em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	115
10	Atividade da Glutamina sintetase (GS) nas folhas do sorgo em monocultivo (a) e em consórcio (b) em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	117
11	Teores de P nas folhas do sorgo . (a) sistema de cultivo x doses de P x inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> , (b) sistema de cultivo x doses de P x aplicação de N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	121
12	Teores de P nas folhas do sorgo em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	121
13	Teores de P nas folhas da soja em monocultivo e em consórcio, em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	122
14	Atividade da PEPC nas folhas do sorgo em função da aplicação de N em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	123
15	Atividade da PEPC nas folhas do sorgo em função do sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	125
16	Atividade da PEPC nas Folhas da soja, em função do sistema de cultivo. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	126

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

TABELA

página

- | | | |
|----|--|-----|
| 1a | Resumo das análises de variancia (Quadrado médio, nível de significancia e coeficiente de variação) do peso matéria seca da parte aérea do sorgo e da soja, peso dos grãos secos do sorgo e da soja e peso dos nódulos secos em diferentes níveis de fósforo e espécies de fungos micorrízicos..... | 158 |
| 2 | Concentração de nutrientes nas folhas das plantas do sorgo granífero inoculado ou não com fungos micorrízicos em diferentes níveis de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994..... | 40 |
| 3 | Concentração de nutrientes nas folhas da soja inoculada ou não com fungos micorrízicos em diferentes níveis de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1994..... | 41 |
| 4 | Resumo das análises de regressão para a concentração foliar de nutrientes no sorgo e na soja em função das doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994..... | 42 |

CAPÍTULO 2

TABELA

- | | | |
|------|---|----|
| 1 | Resumo das análises de variancia (Quadrado médio, nível de significancia e coeficiente de variação) peso da matéria seca da parte aérea e dos grãos do sorgo e da soja, peso dos nódulos secos da soja, colonização das raízes e produção de esporos, em função do sistema de cultivo, doses de fósforo, inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de nitrogênio em cobertura..... | 48 |
| 2 | Peso dos grãos secos da soja (g/planta) em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995..... | 55 |
| 3 | Índice de colheita do sorgo e da soja em função do sistema de cultivo, adição de P ao solo, aplicação de N em cobertura e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995..... | 56 |
| 4... | Resumo das análises de variancia (Quadrado médio, nível de significancia e coeficiente de variação) dos teores de nutrientes nas folhas do sorgo e da soja em função do sistema de cultivo, níveis de fósforo, inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N em cobertura..... | 65 |

5	Concentração de N nas folhas da soja (dag / kg de folha seca) em função do sistema de cultivo x inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> x aplicação de N em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	71
6.	Concentração de P nas folhas da soja em função do sistema de cultivo x inoculação x aplicação de N em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	74
7.	Concentração de nutrientes ns folhas das plantas de sorgo em monocultivo ou consorciado com a soja em função da inoculação <i>Glomus etunicatum</i> , doses de P e aplicação de N em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	79
8	Concentração de nutrientes ns folhas das plantas da soja em monocultivo ou consorciado com o sorgo em função da inoculação <i>Glomus etunicatum</i> , níveis de P e aplicação de N em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.....	80
9	Resumo das análises de variancia (Quadrado médio, nível de significancia e coeficiente de variação) do teor de proteína nos grãos do sorgo e da soja em função do sistema de cultivo, níveis de fósforo, inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N em cobertura.....	82
5	Teor de proteína nos grãos da soja em função do sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e sistema de cultivo x aplicação de N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	84

CAPÍTULO 3

TABELA

1	Resumo das análises de variancia (Quadrado médio, nível de significancia e coeficiente de variação) do peso da matéria seca da parte aérea e peso das raízes secas do sorgo e da soja, e teor de nitrogênio nas folhas em função do sistema de cultivo e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i>	90
2...	Peso da matéria seca da parte aérea e das raízes, do sorgo e da soja e colonização das raízes em diferentes sistemas de cultivo e inoculação com fungo micorrízico. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	91
3..	Peso da matéria seca da parte aérea da soja em monocultivo e em consórcio, ioculada e não inoculada com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	92
4	Concentração de N (dag / kg) no sorgo e na soja, em monocultivo e consorciados, inoculados e não ioculados com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	93
5	Concentração de P (dag / kg) no sorgo e na soja, em monocultivo e consorciados, inoculados e não inoculados com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	94

CAPÍTULO 4

TABELA

1	Resumo das análises de variancia (Quadrado médio, nível de significancia e coeficiente de variação) do peso seco da matéria seca da parte aérea, colonização das raízes, concentração d eproteína total, concentração de RUBISCO, atividade das enzimas PEPC e GS e concentração de N e P nas folhas do sorgo e da soja em função do sistema de cultivo, doses de P e inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N em cobertura.....	100
2	Peso da matéria seca do sorgo (g / planta). em monocultivo e consorciado com a soja, e inoculado e não com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	101
3	...Coeficientes de correlação entre o peso da matéria seca da parte aérea do sorgo e da soja e a atividade das enzimas GS, PEPC e a concentração de proteína RUBISCO. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	102
4	Peso da matéria seca da soja (g / planta). em monocultivo e consorciado com o sorgo, e inoculado ou não com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	103
5	..Peso da matéria seca da soja (g / planta) em função da Inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	104
6	Colonização (%) das raízes da soja, em monocultivo e em consórcio. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	106
7	Teor de proteínas solúveis totais nas folhas da soja (mg / g de matéria verde), em monocultivo e consorciado. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	109
8	Concentração da RUBISCO (mg / g matéria verde) nas folhas da soja em monocultivo e consorciada. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	115
9	Atividade da GS (μmol GHA / g matéria verde / min) nas folhas do sorgo em monocultivo e consorciado, e inoculado ou não com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	116
10	Atividade da GS (μmol GHA / g matéria verde / min) nas folhas da soja em monocultivo e consorciada, e inoculada ou não com <i>Glomus etunicatum</i> . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	119
11	Atividade da PEPC (μmol CO_2 / g matéria verde / min) nas folhas do sorgo em função da inoculação com <i>Glomus etunicatum</i> e aplicação de N em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.....	124

RESUMO

BRESSAN, Wellington. **Micorriza , fósforo e nitrogênio em sorgo e soja consorciados**. Lavras: UFLA, 1996. p.160. (Tese - Doutorado em Agronomia - Fitotecnia). *

Avaliaram-se os efeitos da inoculação com fungo micorrízico, adição de P e aplicação de N em cobertura na consorciação sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) e soja (*Glycine max* L.) em um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, apresentando : pH em água (1: 25)= 5,1; H + Al ($\text{cmol}_c / \text{dm}^3$)= 7,92; Al ($\text{cmol}_c / \text{dm}^3$)= 0,80; Ca ($\text{cmol}_c / \text{dm}^3$)= 1,70; Mg ($\text{cmol}_c / \text{dm}^3$)= 0,33; K (mg / dm^3)= 43; P (mg / dm^3)= 4 e MO (mg / kg)= 43,1. O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação, através de quatro experimentos. No primeiro experimento avaliou-se, em vasos de 16 kg de solo, a eficiência de 3 espécies de fungos micorrízicos para o crescimento, teores de nutrientes e produção de grãos de sorgo e soja em consorciação, em solo com diferentes doses de P. Este experimento constou de fatorial 4 x 5 sendo 3 espécies de fungos micorrízicos e um tratamento sem inoculação combinados com 0, 25, 50, 100 e 200 mg P/ kg de solo, com 4 repetições. No segundo experimento avaliaram-se, em vasos de 16 kg de solo, os efeitos da adição de P, aplicação de N em cobertura e da inoculação com fungo micorrízico sobre o crescimento, teores de nutrientes e produção de grãos do sorgo e da soja em consorciação. O experimento constou de fatorial 2 x 5 x 2 x 2 sendo monocultivo e consórcio; 0, 25, 50, 100 e 200 mg P/ kg de solo; inoculado ou não com fungo micorrízico e aplicação ou não de N em cobertura , com 3 repetições. No terceiro experimento avaliou-se a quantidade de N transferido da soja para o sorgo, consorciados, em função da inoculação com fungos micorrízicos. Os vasos de 2 kg de solo, foram divididos em dois compartimentos por uma tela de nylon de 50 μm , espaçadas de 6 cm. O experimento constou de um fatorial 2 x 2 sendo monocultivo e consórcio; inoculado ou não com fungo micorrízico com 4 repetições. No quarto experimento avaliaram-se, em vasos de 16 kg, os efeitos dos fatores acima mencionados no teor de proteínas e atividade das enzimas do metabolismo do C e N e suas relações com o crescimento e produção de grãos do sorgo e da sojas em diferentes sistemas de cultivo. O experimento constou de fatorial 2 x 3 x 2 x 2, sendo monocultivo e consórcio; 50, 100 e 200 mg de P / kg de solo; inoculado ou não com fungo com fungo micorrízico; aplicação ou não de N em

Comite de Orientação: José Oswaldo Siqueira, Carlos Alberto Vasconcellos, Antonio Álvaro C. Purcino. Membros da Banca: Gonçalo Evangelista de Souza, Fátima Maria de Souza Moreira e Messias José Bastos de Andrade.

cobertura. Os resultados do primeiro experimento evidenciam a contribuição dos fungos micorrízicos sobre o crescimento e produção de grãos de sorgo e soja, porém a eficiência dos fungos micorrízicos variou com a sua espécie em função da adição de P ao solo. No sorgo os ganhos máximos no peso da matéria seca (g / planta) e suas respectivas doses de P disponível (mg / kg de solo), para *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*, foram 15,1 (20,6), 9,11 (20,0) e 0,84 (19,8). O ganho na produção de grãos (g / planta) e suas respectivas doses de P disponível para os mesmos fungos foram para o sorgo 21,0 (20,19), 14,3 (19,8) e 0,8 (18,3) e para a soja 10,8 (18,8) e 6,2 (18,3). A inoculação com *Glomus clarum* não mostrou ganho na produção de grãos no sorgo e na soja. A espécie *Glomus etunicatum* foi a mais eficiente para o sorgo e a soja. No experimento 2, verificou-se que no sorgo consorciado e micorrizado os aumentos no peso da matéria seca foram de 19,1 e 10,7 %, respectivamente, para o sorgo com e sem aplicação de N, enquanto que na soja ocorreu uma redução de 22,1 %. A inoculação com fungo micorrízico aumentou o peso da matéria seca do sorgo consorciado em 32,8 e 25,77% , respectivamente para o sorgo com e sem N. Os máximos pesos dos grãos secos para o sorgo foram atingidos no consórcio com produções de 46,7 e 31,6 g / planta nas doses de 157 e 200 mg P / kg de solo. Na soja consorciada verificou-se uma redução de 27,28 % na produção dos grãos. O sorgo consorciado e inoculado apresentou um acréscimo de 17,39 % no teor de proteína dos grãos em relação ao monocultivo. O consórcio aumentou a concentração de N e P no sorgo e reduziu as suas concentrações na soja. No sorgo e na soja, inoculados com fungo micorrízico, verificou-se redução na concentração foliar de Ca, Zn, e Cu. No experimento 3, verificou-se que, no sorgo em consórcio e inoculado com fungo micorrízico, ocorreu um aumento de 75,7 % na concentração foliar de N, enquanto que na soja houve um decréscimo de 39,4 % . Entretanto, no consórcio não inoculado, não foi verificado uma diferença significativa na concentração foliar de N, no sorgo e na soja. A inoculação com fungo micorrízico, contribuiu para a transferência de N da soja para o sorgo. Os dados do experimento 4, mostraram que o sistema de cultivo afetou a atividade das enzimas GS e PEPC, a concentração de RUBISCO, e o teor de proteína nas folhas do sorgo e da soja. No sorgo em consórcio com a soja, com ou sem N, verificou-se aumento na concentração da RUBISCO de 16,0 %, em relação ao monocultivo, enquanto que na soja verificou-se uma redução de 16,0 %, na sua concentração, em relação ao monocultivo. No sorgo e na soja, verificou-se o mesmo efeito para a atividade das enzimas GS e PEPC. Na soja em consórcio verificou-se redução de 2,6 % no teor de proteína nas folhas. O aumento na atividade das enzimas GS e PEPC, nas folhas do sorgo, resultou em maior peso da matéria seca. Fica evidenciado que micorriza, P e N influenciam o crescimento e a produção de grãos do sorgo e da soja, tanto em monocultivo quanto em consórcio, e que seu efeito está relacionado à atividade das enzimas de assimilação de N e C. O consórcio com a soja beneficiou o sorgo, aumentando a sua produção de matéria seca, de grãos e o seu teor de proteína.

ABSTRACT

Mycorrhiza, phosphorus, and nitrogen in sorghum and soybeans as intercrops.

The effects of inoculation with mycorrhiza fungus, phosphorus, and nitrogen on grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and soybean (*Glycine max.* L. Moench) intercropping were evaluated in a Dark Red Distrophic Latossolo in pots in the greenhouse. The effects of three species of mycorrhiza fungus on plant growth, nutrient content, and production of grain in sorghum and soybeans using three species of mycorrhiza and five rates of P (0, 25, 50, 100, and 200 mg P/kg soil) were evaluated in experiment I. A second experiment evaluated the interaction of intercropping, P, N, and mycorrhiza on plant growth, nutrient content, and production of grain. The amount of N transferred from soybeans to sorghum in intercropping as a result of mycorrhiza inoculations was evaluated in pots with 2 kg of soil divided into 2 compartments with a 50 μ m nylon screen in a experiment III. A final experiment evaluated the effect of the above mentioned factors on protein content and C and N metabolism enzyme activity and this relation with plant growth and grain production. The results of the experiment I demonstrated the positive effect of mycorrhiza fungus on plant growth and grain production in both sorghum and soybeans, however, differences among fungus species and interactions of species and P rates were observed. The maximum gain in dry weight (g/plant) in sorghum and the respective P content (mg/kg soil)(parenthesis) for *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida*, and *Glomus clarum* were 15.1 (30.6), 9.11 (20.0), and 0.84 (19.8) respectively. The increase in grain production (g/plant) and their respective rates of available P (mg/kg soil) for *Glomus etunicatum* and *Gigaspora margarida* were 21.0 (20.2) and 14.3 (19.8), for sorghum and 10.8 (18.8) and 6.2 (18.3), for soybeans respectively. Inoculation with *G. etunicatum* was the most efficient in both crops, whereas inoculation with *G. clarum* did not promote significant increases in grain production in either crop. Results from the experiment II showed a 19.1 and 10.7% increase in plant dry weight in sorghum in the intercropping system inoculated with mycorrhiza with and without N respectively, and a 22.1% reduction in soybean dry weight. The inoculation with mycorrhiza increased the dry weight of intercropped sorghum 32.8 and 25.8% respectively, with and without N. The maximum grain production for sorghum in the intercropping system was 46.7 and 31.6 g/plant at 157 and 200mg P/kg soil respectively. A 27.3% reduction in grain production was observed for the intercropped soybeans. The inoculated sorghum in the intercropped system had a 17.4% increase in grain protein. The N and P contents were increased in sorghum and reduced in soybeans in the intercropping system, where as foliar content of Ca, Zn, and Cu were reduced in both crops. The results from experiment III showed a 75.7% increase in foliar N of the inoculated intercropped sorghum and a 39.4% reduction of the

inoculated intercropped soybeans, whereas no difference was observed in either crop without inoculation, demonstrating that mycorrhiza contributed in the transfer of N from soybeans to sorghum. Data from experiment IV demonstrated that intercropping affected the activity of GS and PEPC enzymes, the concentration of RUBISCO and protein in the leaves of both crops. RUBISCO concentration in sorghum was increased 16.0% and decreased 16.0% in soybeans in the intercropping system relative to the monoculture system. The same relationship was also observed for GS and PEPC enzyme activity. The protein level in leaves of intercropped soybeans was reduced 2.6%. The increase in enzyme activity of GS and PEPC in sorghum leaves was associated with increased plant dry weight. In these experiments mycorrhiza, P and N were observed to influence plant growth and grain production of sorghum and soybeans in both monoculture and intercropping systems. This change in plant growth and grain production was associated with enzyme activity in N and C assimilation. The intercropping system benefited sorghum resulting in increased plant dry weight, grain production and protein content.

1 INTRODUÇÃO

A consorciação de culturas, é uma prática tradicional, principalmente entre pequenos agricultores. A associação de duas culturas propicia uma maior produção de alimentos por área, maior estabilidade de produção, menor incidência de pragas e doenças e melhor proteção do solo contra a erosão. Esta prática tem sido direcionada para culturas mais tradicionais como o milho - feijão, arroz - milho, visando a produção de grãos. A consorciação de para a a produção de silagem é ainda pouco difundida, mas representa uma alternativa para aumentar a produção de proteína em áreas onde a sua produção para a alimentação animal é insuficiente. Além disso a maior produção de massa verde por unidade de área, associada a melhoria do valor da mistura resultante para a produção da silagem, concorre para a um aumento da viabilidade desta.

A cultura do sorgo é considerada de grande importância em regiões com deficiência hídrica. Nestas regiões, como o norte de Minas Gerais e Nordeste do Brasil, a consorciação de duas culturas como o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e uma leguminosa, como o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tem sido utilizada em pequenas propriedades agrícolas por apresentar uma série de vantagens, tais como: a) maior produção de alimentos por área; b) maior estabilidade de produção; c) menor incidência de pragas e doenças; d) melhor proteção do solo contra a erosão.

O sorgo granífero como matéria prima para a produção de grãos e silagem tem se evidenciado principalmente na sua concentração de proteínas que é semelhante a do milho. A consorciação do sorgo com a soja para a produção de silagem, principalmente em regiões de solos e regime hídrico deficientes apresenta dois aspectos importantes : a) a utilização do nitrogênio fixado pela soja levando a uma diminuição da adubação nitrogenada; b) aumento da produção e qualidade da silagem (matéria seca e teor de proteína dos grãos). Contudo, a disponibilidade de N e P constituem fatores importantes para a produção de grãos e alta qualidade da silagem. O suprimento de nitrogênio ao sorgo é importante durante a fase vegetativa da cultura. As plantas sujeitas a deficiência de nitrogênio na fase de germinação e desenvolvimento da plântula, produzem panículas pequenas e menor quantidade de grãos por panícula. Deficiência de N na iniciação da panícula pode causar alto índice de aborto nas flores em formação. Nas fases de polinização, fertilização, desenvolvimento e maturação dos grãos a deficiência de nitrogênio tem pouco efeito na produção de grãos, mas diminui a concentração de proteínas nos grãos, reduzindo sua qualidade como forragem.

A disponibilidade de fósforo constitui um outro fator importante para o sorgo, principalmente para a produção de silagem. O fósforo é denominado “fator de maturação”, porque a sua deficiência retarda a maturação do sorgo, contudo a sua utilização pelos grãos é pequena quando comparado com aquela do nitrogênio. O fósforo é essencial nos estágios iniciais de desenvolvimento da plântula, sendo a partir dessa fase, armazenado nas folhas e mais tarde translocado para os grãos. Em leguminosas, o fósforo é importante para o desenvolvimento da planta e para a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Em vista a uma melhoria da nutrição de fósforo da leguminosa ocorrerá aumento da FBN pelos nódulos radiculares, devido a exigência do bacteróide por esse nutriente durante o processo da FBN. É amplamente conhecido que as raízes com fungos micorrízicos arbusculares propiciando melhor absorção de nutrientes do solo, da maioria das espécies, associam-se a transferência destes para plantas consorciadas quantidades consideráveis de carbono, nitrogênio e fósforo podem ser transferidos de uma planta para outra através de ligações feitas por hifas dos fungos micorrízicos que colonizam mutuamente as duas espécies de plantas. Isto favorece o crescimento da planta e exerce efeitos indiretos na FBN tornando-se um fator de grande importância para a utilização desse sistema de cultivo. . Em adição aos efeitos diretos na absorção de P e indiretos na FBN,

Além disso, a redução na aplicação de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, em função de uma maior eficiência na absorção e utilização do N e P pelas plantas consorciadas através dos fungos MA, concorrem para uma maior viabilidade e sustentabilidade de sistemas consorciados. Contudo, por ser a consorciação sorgo granífero-soja um sistema em introdução para a produção de silagem e pelo reduzido volume de pesquisas sobre esta associação, estudos devem ser efetuados visando a sua utilização e otimização deste consórcio na agricultura brasileira..

Considerando o potencial da consorciação sorgo granífero-soja, para a agricultura Brasileira e a necessidade de conhecimento de alguns aspectos biológicos deste sistema, o presente estudo teve como objetivos avaliar a influência de micorrizas arbusculares e do suprimento de N no crescimento, nutrição , produção e teor de proteína em plantas consorciadas, crescendo em solo de baixa fertilidade, adubado com doses crescentes de P.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Consorciação entre plantas

2.1.1. Aspectos gerais

O cultivo de diferentes espécies de plantas em uma mesma área praticado nas regiões tropicais (Willey, 1979; Searle et al., 1981), semi-áridas (Faris et al., 1983) e regiões mediterraneas (Ofori e Stern, 1987), propicia melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para a produção.

A produção de grãos e a disponibilidade de nitrogênio podem ser aumentadas pelo cultivo consorciado de leguminosas e não leguminosas (Barker e Blamey, 1985; Singh, Singh e Nair, 1986). A maioria dos agricultores de países em desenvolvimento que adotam esse sistema o fazem principalmente por razões climáticas e sócio-econômicas (Okigbo e Greenland, 1976). O consórcio é frequentemente apresentado como proporcionador de produções mais estáveis ao longo dos anos, com menores riscos de perdas, comparado com o monocultivo (Rao e Willey, 1980; Jodha, 1981). Está é uma das razões da prática do consórcio ocorrer com maior frequência em regiões de irregularidades pluviométricas, como nos trópicos semi-áridos. Estudos mostram que o consórcio entre plantas apresenta vantagens tanto em regiões onde há a utilização da irrigação (Mandal et al., 1990) como em regiões sujeitas a restrições hídricas ou irregularidades pluviométricas (Papastylianou, 1990).

As espécies de plantas utilizadas neste sistema variam de região para região, e dependem de fatores como precipitação e fatores edáficos. A consorciação de culturas pode ser de leguminosa - leguminosa (Rao e Mitra, 1989) ou leguminosa - não leguminosa (Mandal et al., 1990). Contudo, a mistura de culturas de cereais e leguminosas é a mais utilizada principalmente na preservação da matéria orgânica do solo e disponibilidade de nitrogênio (Scott et al., 1987). A consorciação do milho com a soja para a produção de silagem é uma prática em expansão para o aumento da produção de proteína sem reduzir severamente a quantidade de matéria seca produzida em relação ao monocultivo. (Herbert et al., 1984). Como a consorciação tem sido utilizada sob condições adversas de solo e clima, como solos de baixa fertilidade e restrições hídricas, a utilização de leguminosas com eficiente utilização da água devem ser selecionadas para locais onde ocorrem irregularidades hídricas. Considerável número de espécies de plantas de importância econômica são classificadas como tolerantes às condições de solos de baixa fertilidade, principalmente nas regiões tropicais. Para reduzir a excessiva aplicação de componentes corretivos no solo, espécies tolerantes à acidez devem ser selecionadas. Dentre essas

espécies de plantas, o feijão guandú (*Cajanus cajan* L.), tolerante a solos deficientes a P, tem sido utilizado em vários locais nas regiões tropicais (Adu-Gyamfi, Fujita e Ogata, 1989).

Vários estudos mostram as vantagens da consorciação de cereais e leguminosas (Agboola e Fayemi, 1972; Ofori e Stern, 1987) e aspectos da competição entre plantas (Wit, 1960) e as interações biológicas entre as espécies consorciadas (Willey, 1979). O aumento no crescimento das plantas consorciadas na maioria dos casos, está associado ao aumento dos níveis de fósforo e nitrogênio nos tecidos das plantas (Francis, Finlay e Read, 1986). Quando a produtividade de uma gramínea é favorecida pelo consórcio com uma leguminosa, tal fato é comumente atribuído ao N fornecido ao solo pela leguminosa. Muitos autores têm mostrado a ocorrência dessa transferência (Eaglesham et al., 1981; Giller, Ormesher e Awah, 1991), enquanto outros autores não encontraram evidências dessa transferência (Ofori, Pate e Stern, 1987; Kessel e Roskoski, 1988). Taneja et al., (1983), estudando o consórcio de sorgo com caupi e com soja, obtiveram maior produção de massa verde e matéria seca no consórcio que em monocultivo, o mesmo resultado foi obtido por Marty et al., (1980). Ainda com relação ao cultivo do sorgo associado à soja, Montgomery, (1983), comparando a silagem de sorgo em monocultivo com a em consórcio verificou que a silagem mista apresentou maior porcentagem de proteína bruta.

A fixação biológica de N pela leguminosa é um importante fator quando a disponibilidade de N é baixa. Neste caso a leguminosa contribui com N para o solo pela decomposição dos nódulos e parte aérea. Estudos sugerem que na associação de cereais com leguminosas há uma transferência de N da leguminosa para o cereal (Fujita et al., 1990). Simpson, (1976), relatou que a quantidade de N transferido de uma leguminosa para uma gramínea varia com a espécie da leguminosa e da gramínea, a porcentagem da leguminosa no consórcio, a idade do consórcio e o tipo de manejo. Além disso, esse estudo verificou que em condições de campo as trocas de N entre as raízes das leguminosas e das gramíneas, variaram de 3 a 20% do N total dependendo do tipo de leguminosa. Esses valores incluem a transferência direta e a fase após a decomposição dos restos da leguminosa no solo. Estimativas feitas por Boller e Nosberger (1987), mostraram que a transferência aparente de N fixado das leguminosas para as gramíneas, está ao redor de $17 \text{ Kg N. ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, incluindo a excreção de N pelas raízes vivas e a decomposição das raízes e nódulos. Porém, Eaglesham et al., (1981) e Wahua e Miller (1978) concluíram que a excreção de N pelas leguminosas resulta em significativo benefício à cultura associada, somente em baixos níveis de N.

O aumento da produção na consorciação em relação ao monocultivo é frequentemente atribuído ao efeito mútuo e complementar entre as plantas consorciadas e vários estudos mostram um ganho econômico na utilização desse sistema na consorciação de uma leguminosa com um cereal (Yunusa, 1989; Mandal et al., 1990). Dependendo dos componentes envolvidos na consorciação, o aumento na produção pode variar em função da arquitetura da planta, sistema radicular, competição entre as plantas consorciadas e potencial da fixação de N da leguminosa. Utilizando diferentes leguminosas na consorciação com arroz em diferentes densidades e épocas de plantio, Mandal et al. (1990) observaram uma significativa diferença entre as produções obtidas nas diferentes combinações. Francis Finlay e

Read, (1986), verificaram que a fixação biológica de N no feijão não foi afetada pela consorciação com o milho enquanto Fujita et al.(1990) relataram que a fixação biológica de nitrogênio pela soja diminuiu quando consorciada com o sorgo. No entanto esse efeito não ocorre quando o siratro é consorciado com o sorgo (Ogata et al, 1986).

Quando duas culturas são consorciadas, as diferenças fisiológicas e morfológicas entre o cereal e a leguminosa afetam as suas relações. Os cereais possuem de modo geral maior altura, maior massa radicular e estão adaptados a ampla faixa de condições ambientais, inclusive condições de baixa fertilidade de solo. No consórcio, o componente com as folhas mais altas estaria em vantagem principalmente se as folhas apresentassem uma disposição horizontal (Trenbath, 1976) havendo com isso uma maior captação da radiação solar. Estudos envolvendo sorgo em monocultivo e consorciado com soja, caupi ou lab-lab mostraram que a soja foi menos afetada pela competição por luz, em relação ao caupi e ao lab-lab (Kawamoto et al., 1983), sugerindo que o consórcio com a soja resulta em estrutura cultural mais efetiva na consorciação. O acúmulo da matéria seca depende principalmente da eficiência fotossintética da planta, e esse fator está relacionado com a geometria do arranjo das folhas (Tsay, 1985). A fixação biológica de N é um processo muito dependente da energia disponível na planta. Quando ocorre o sombreamento da leguminosa pelo cereal há uma diminuição da sua capacidade fotossintética e conseqüentemente uma redução no suprimento de fotossintetizados aos nódulos da raiz. Essa redução vai levar a uma diminuição da fixação biológica do N (Trang e Giddens, 1980). O aumento, em altura, das plantas geralmente ocorre quando consorciadas. A magnitude desse aumento foi verificada por Fujita et al. (1990) no consórcio sorgo / soja, sugerindo que o sorgo é melhor adaptado para competir por luz que a soja, devido ao alongamento do caule em condições de luminosidade deficiente.

Segundo Wahua e Miller (1978), não se conhece bem o grau que a competição por luz e nutrientes afeta a fixação de N nas leguminosas em consórcio. Estes autores estudaram o consórcio soja e sorgo e verificaram que o sombreamento afetou a fotossíntese da leguminosa, e conseqüentemente a fixação biológica do N. Pereira, Rocha e Araújo, (1984), estudando a produção e a fixação biológica de N em feijoeiro plantado após a maturação fisiológica do milho, observaram que o plantio associado estimulou a nodulação e acarretou maior permanência dos nódulos no sistema radicular do feijoeiro. Entretanto a produção foi maior em monocultivo, o que os levou a concluir que outros fatores deveriam estar envolvidos na limitação da produção do sistema consorciado como a estrutura das plantas e diferenças nutricionais.

2.1.2 Diferenças nutricionais

Outro fator importante na consorciação de duas culturas é a disponibilidade de nutrientes e a competição na absorção de nutrientes. A importância da capacidade de troca catiônica (CTC) do sistema radicular ainda é discutida (Nye e Tinker, 1977), embora o conceito tenha sido utilizado para explicar a baixa competitividade dos leguminosos em relação aos cereais na absorção de íons como o P, K e S. A

CTC das leguminosas é aproximadamente duas vezes a dos cereais e tem sido sugerido que elas absorvem mais cations divalentes, como o Ca, que os cereais (Caradus, 1990). Rabotnov (1977) atribuiu a menor capacidade das leguminosas competir por P, K e S ao seu sistema radicular que é menos ramificado que ao dos cereais. Na competição por nitrogenio os estudos têm mostrado que as leguminosas quando consorciadas também possuem baixa competitividade com os cereais (Rerkasen et al., 1988) e podem até ser suprimidas (van Kessel e Roskoski, 1988). A competição pelo N entre uma gramínea e uma leguminosa representa uma situação única, porque a leguminosa pode aumentar o suprimento de N através da fixação biológica de N, ou pode também competir por N mineral do solo (Simpson, 1976).

O balanço entre a competição e a transferencia de N não é constante com o tempo, mas muda com o estágio de crescimento da planta, com o sistema de cultivo e com o espaçamento entre as plantas (Vallis, 1972). Van Kessel e Roskoski (1988) relataram que a absorção de N do solo é mais correlacionada com o espaçamento entre plantas que a combinação das espécies de plantas envolvidas na consorciação. Patra Sachdev e Subbiah, (1989), estudando os efeitos da consorciação de culturas na absorção de N, mostraram que a absorção de N, na forma de uréia, foi maior no milho quando consorciado com o caupi que quando em monocultivo. Alteração na produção de grãos em resposta a aplicação de N, quando o milho e o caupi foram consorciados, foi verificada por Ezumah, Nam e Walker (1987). Esse estudo mostrou que o milho absorveu mais N quando consorciado que em monocultivo, assim como aumentou a produção de grãos.

Embora a consorciação esteja ligada ao aproveitamento do nitrogenio, alguns estudos sobre a aplicação de nitrogenio no consorcio tem mostrado que a sua aplicação diminui a fixação biológica de nitrogenio (Nambiar et al., 1983; Ofori e Stern, 1987; Boller e Nosberger, 1987). O nitrogenio adicionado ao solo na nutrição do consorcio sorgo / soja, em diferentes tipos de solos, com altas concentrações de N, aumentou em 25% a produção total da cultura devido à maior absorção de N pelo sorgo. A fixação biológica de N e a sua transferencia foram 35 % maiores em níveis mais elevados de N. Tanaka e Fujita (1979) mostraram que a soja responde menos a adição de nitrogenio que o feijão, devido as diferenças na capacidade de fixação de nitrogenio. Leguminosas que respondem melhor a adição de nitrogenio tem uma menor taxa relativa de fixação biológica de nitrogenio, pois esta pode substituir parte do N do solo ou do N aplicado com fertilizante. Segundo Danso et al. (1987), uma gramínea compete com a leguminosa fixadora de N pelo N do solo. Pate e Dart (1961), relataram que o crescimento das leguminosas e a fixação biológica do N são favorecidos pela baixa concentração de N no solo, principalmente se esta baixa concentração estiver disponível durante o período entre a exaustão das reservas da semente e o estabelecimento de um ativo sistema fixador de N. Em geral assume-se que as leguminosas em consorcio obtem uma pequena fração de N mineral disponível do solo, podendo em alguns casos competir com as gramíneas por esse nitrogenio (Davies, 1964).

A aplicação de N na consorciação de diferentes culturas foi revisada por Ofori e Stern (1987). Eles verificaram que a produção de cereais aumentou com a aplicação de N, enquanto a produção de grãos pelas leguminosas diminuiu ou não apresentou resposta a aplicação do N. Chang e Shibles (1985),

mostraram que o caupi quando consorciado não conseguiu obter todo o N necessário para o seu desenvolvimento da fixação biológica de N, mas altas aplicações de N e P tanto em monocultivo como consorciado não aumentou a sua produção. Na consorciação do milho com amendoim, a produção de grãos pelo milho aumentaram com a aplicação de N enquanto a produção do amendoim diminuiu (Searle et al., 1981). No sorgo consorciado com ervilha, Rego (1981) observou que a aplicação de N aumentou a produção de grãos do sorgo porém a ervilha não respondeu a aplicação do N. Rerkasem e Rerkasem (1988), verificaram que a aplicação de N na consorciação do milho com o feijão (*Vigna umbellata* Thumb), aumentou a matéria seca, a produção de grãos e a concentração de N no milho e no feijão quando comparados com a suas culturas em monocultivo. A vantagem da consorciação foi indicada estar associada com o aumento da nutrição em N, aumento da fixação biológica de nitrogênio e melhor utilização do N mineral pelo milho.

Altas aplicações de N ao solo causam um excessivo crescimento vegetativo do cereal, aumentando o seu sombreamento sobre a leguminosa e suprimindo o seu desenvolvimento e produção (Fujita et al. 1990). Ofori e Stern (1986) observaram o mesmo efeito na consorciação milho e caupi. Na consorciação do sorgo com a soja, Ogata et al. (1986) observaram uma redução na produção de matéria seca da soja porém não houve uma diferença significativa na produção da matéria seca pelo sorgo.

Na consorciação é aconselhável incluir leguminosas que não respondam a aplicação de N, assim o cereal pode ser fertilizado para alcançar a sua máxima produção. O balanço contudo precisa ser ajustado para que a aplicação não afete a fixação biológica de N. Este balanço foi obtido por Rerkasem e Rerkasem (1988), no consórcio milho / feijão no qual a produção de matéria seca e produção de grãos foram maiores que no monocultivo para ambas as culturas e esse fato foi relacionado a uma maior eficiência da utilização do N pelo milho e uma maior fixação biológica de N pelo feijão. Contudo essa eficiência não foi conseguida por Kessel e Roskoski (1988) na consorciação milho / caupi. Os resultados da aplicação de N no consórcio entre cereais e leguminosas têm sido explicados em termos de competição por N e luminosidade. A capacidade da leguminosa fixar biologicamente o N leva a uma competição menor pela N aplicado ao solo (Trenbath, 1976), contudo Ofori e Stern (1987) relataram uma forte competição entre o milho e o caupi pelo N aplicado no solo.

A remobilização e redistribuição orgânica entre plantas, podem ocorrer dentro de um ecossistema decorrente de substâncias exsudadas por uma planta e absorvidas pelas plantas vizinhas, resultando em uma transferência inter ou intraespecífica de nutrientes. A liberação de N pelo sistema radicular das leguminosas, através de exudados, ainda não é bem definida. Ela varia com o estágio de desenvolvimento das plantas. Brophy e Heichel (1989) mostraram que essa maior liberação de N pela alfafa ocorreu entre 7 - 8 semanas de desenvolvimento. Para a soja Ofosu-Budu, Fujita e Ogata (1990) verificaram que a maior liberação de N ocorreu no estágio de enchimento dos grãos.

Os estudos relacionados com a liberação do N biologicamente fixado ainda são conflitantes. Ta, Macdowall e Faris (1986), utilizando o ¹⁵N como elemento marcador relatou que o N fixado foi a maior fonte de N liberado pelas raízes. Ofosu-Budu, Fujita e Ogata (1990) verificaram que os ureídeos liberados pelas raízes da soja totalizaram apenas 10% do total do nitrogênio liberado. Brophy e Heichel

(1989) relataram que proteínas solúveis constituíam a maior fração dos compostos nitrogenados liberados pelas raízes da alfafa. Fujita et al (1990) verificaram uma transferência de N da soja para o sorgo e que essa transferência foi maior quanto mais próximos estivessem o sorgo e a soja.

Embora os mecanismos de liberação de compostos nitrogenados ainda não sejam totalmente esclarecidos, fatores fisiológicos e ambientais parecem estimular a liberação de N pelas raízes. A possível ação de enzimas pectolíticas das células tem sido proposta (Hawes e Lin, 1990). Além disso, fatores que promovem a liberação de N podem ser específicos. Altas temperaturas (35 ° C) aumentaram a liberação de N na soja (Ofosu-Budu, Fujita e Ogata, 1990) enquanto baixas temperaturas (15 °C e 25 °C) não afetaram a liberação de N. Contudo, tem sido sugerido que a liberação de certas substâncias pelo cereal tem estimulado a liberação do N pela leguminosa (Ta e Faris, 1987; Wacquant, Ouknider e Jacquard, 1989).

2.2 Micorrizas arbusculares

2.2.1 Aspectos gerais

Micorrizas arbusculares são associações simbióticas mutualistas entre o sistema radicular das plantas e fungos micorrízicos, encontradas em diferentes ecossistemas. Essas associações micorrízicas são tão prevalentes em condições naturais que as plantas que não formam essa associação são mais uma exceção que uma regra (Gerdeman, 1968). Poucas famílias de plantas não incluem espécies micorrízicas como, membros das famílias *Brassicaceae*, *Capraceae*, *Chenopodiaceae*, *Commelinaceae*, *Cyperaceae*, *Juncaceae* e *Proteaceae* e outras famílias, assim como membros de plantas herbáceas pertencentes a família *Caryophyllales*. Várias espécies de interesse agrônomo também não formam associações micorrízicas, tais como: Crucíferas (nabo, mostarda, repolho), *Chenopodiaceae* (beterraba), leguminosas (tremoço) e membros da *Amarantaceae* (Thompson, 1994). A ausência de micorrização se relaciona com as características da planta como: a) produção e acúmulo de compostos fungistáticos no cortex das raízes, como compostos aromáticos em leguminosas (tremoço) e glicosinolatos nas crucíferas; b) produção insuficiente de exsudatos ou de certos compostos constituinte destes; c) ausência de fatores químicos com ação de sinais moleculares de reconhecimento ou mediadores nutricionais; e d) impedimento físico ou químico na parede celular (Siqueira, 1994). Dentre as plantas tropicais 70,9% das espécies formam micorrizas arbusculares, 13,4% não formam micorrizas e 15,7% formam outros tipos de simbiose radicular com fungos (Trappe, 1987). A evolução dessa simbiose está ligada às regiões tropicais (Pirozinsky, 1981). Em ecossistemas naturais uma mesma planta pode ser hospedeira para diferentes espécies de fungos micorrízicos, assim como a resposta de diferentes plantas à colonização dos fungos micorrízicos pode ser também muito diferenciada. Em algumas espécies de plantas, diferentes cultivares apresentam respostas diferenciadas para um mesmo fungo micorrízico (Jeffries, 1987).

Os fungos micorrízicos arbusculares são atualmente classificados na Classe Zigomicetina, ordem Glomales, composta das famílias *Glomaceae*, *Acaulosporaceae* e *Gigasporaceae*. A taxonomia destes fungos é baseada nas características fenóticas de seus esporos, como cor, tamanho, forma e morfologia da sua parede, como espessura, número e disposição (Morton e Benny, 1990). Sómente tecidos específicos das raízes como tecido epidermico e cortical são colonizados enquanto que os tecidos meristemáticos e vasculares são resistentes a colonização (Bonfante e Perotto, 1992). As principais estruturas formadas no solo e no interior das raízes são: hifas extraradulares, hifas intraradulares, vesículas e arbúsculos. A ocorrência dos esporos na camada arável do solo constitui-se no principal reservatório de esporos do solo (Belgard, 1993) e podem ser reduzidos em solos fumigados, sujeitos a erosão, mineração ou longos períodos de inundação (Abbott e Robson, 1991; Brundett, 1991).

A formação e efetividade das micorrizas são determinadas por fatores genéticos da planta e do fungo micorrízicos, sendo modulados por fatores ambientais. Provavelmente muitos dos fatores químicos, físicos e bióticos do solo que influenciam a resposta da planta à colonização micorrízica afetam diretamente o desenvolvimento das hifas no solo (Sylvia, 1990). As propriedades do solo como fertilidade, pH, umidade e matéria orgânica têm sido citadas afetar o crescimento, distribuição e sobrevivência dos fungos MA (Khan 1974; Powell, 1976; St. John, Hays e Reid, 1983; Abbot e Robson, 1985).

Dentre os fatores que atuam sobre a simbiose micorrízica, destaca-se a disponibilidade de P no solo, que afeta a colonização das raízes e determina a natureza da relação fungo - planta (Stribley, Tinker e Snellgrove, 1980; Siqueira e Colozzi - Filho, 1986; Siqueira et al., 1994). Entretanto o sua influencia sobre a simbiose micorrízica tem sido muito estudada. Os seus efeitos adversos tem sido relatados como inibir o desenvolvimento dos arbúsculos (Menge et al., 1978), vesículas (Abbott, Robson e DeBoer, 1984) e hifas (Thompson, Robson e Abbott, 1986), germinação e produção de esporos (Nelsen et al, 1981) e colonização das raízes. A aplicação de P ao solo pode reduzir a colonização micorrízica (Abbott, Robson e De Boer, 1984). Porém, tanto a baixa disponibilidade desse nutriente ou altas concentrações na solução do solo, acarreta uma redução na taxa de colonização das raízes, podendo reduzir os efeitos benéficos que as micorrizas proporcionam à nutrição mineral das plantas.

Os estudos dos efeitos do P sobre a simbiose micorrízica têm sido muito relatados na literatura, em contraste muitos poucos trabalhos tem sido feitos sobre a influencia do N sobre a simbiose micorrízica e sua absorção pelos fungos micorrízicos. Os efeitos do N sobre o fungo micorrízico tem sido relatados como positivos, aumentando a colonização das raízes e a produção de esporos (Hepper, 1983; Furlan e Bernier-Cardou, 1989), negativos, reduzindo ou inibindo a colonização micorrízica (Johnson, Jarrell e Menge, 1984). Outros estudos mostraram que a aplicação de N pode ser reduzida com a inoculação com fungos micorrízicos (Johnson, Joiner e Crews, 1980), porém sua aplicação pode aumentar a biomassa micorrízica, quando o N é um fator limitante ao desenvolvimento da planta.

A translocação e assimilação de N, em relação as suas formas encontradas no solo também têm sido estudadas. Ames et al., (1983) e Smith et al., (1985), demonstraram que os fungos micorrízicos

aumentam a aquisição de NH_4^+ pelas plantas micorrizadas e podem utilizar NH_4^+ e NO_3^- (Barea, Azcón-Aguillar e Azcón, 1987; Azcón, Rubio e Barea, 1991). Rhodes e Gerdeman, (1980), relataram que a assimilação de NH_4^+ pelos fungos micorrízicos é mais importante em solos agrícolas, que a de NO_3^- , devido a maior mobilidade do NO_3^- no solo. Contudo o efeito do N sobre o fungo micorrízico, é relacionado à disponibilidade de P. Os estudos sobre os efeitos da interação N x P na colonização têm mostrado que em alta disponibilidade de P e baixo teor de N há um aumento na colonização das raízes por fungos micorrízicos (Mosse e Phillips, 1971), enquanto que em alta disponibilidade de P e alto teor de N ocorre uma redução da colonização (Buwalda e Goh, 1982).

A importância desses fatores ambientais tem sido muito estudados (Harley e Smith, 1983), porém os fatores genéticos que controlam os complexos eventos de reconhecimento, compatibilidade e / ou resistência à formação da simbiose somente têm sido estudados recentemente (Gianinazzi-Pearson et al., 1995). Outros estudos têm mostrado que os exudatos promovem o crescimento do fungo MA (Becard e Piché, 1992). Giovanetti et al (1993) demonstraram que a formação do apressório pelo fungo micorrízico é induzido pelos exudatos das raízes da planta hospedeira. Entre os vários componentes dos exudados radiculares, os compostos fenólicos têm sido identificados como um dos possíveis responsáveis pela ativação dos genes. Eles são importantes na transcrição dos sinais planta - fungo micorrízico (Peters e Verma, 1990) e são conhecidos como ativadores do ciclo das células (Ylstra et al., 1992). Algumas novas indicações tem sido efetuadas entre as interações planta - fungo micorrízico : a ativação do ciclo celular é um pré-requisito para o crescimento do fungo e os nutrientes da planta e sinais moleculares são importantes durante a fase simbiótica (Bécard e Piché, 1989; Bécard e Piché, 1990) e parece haver uma correlação entre a duplicação do DNA e a morfogênese do fungo micorrízico.

Se a planta hospedeira influencia o ciclo celular do fungo, o reverso também é verdadeiro. Por exemplo, o ciclo celular nos meristemas é mais baixo na presença dos fungos micorrízicos (Berta et al, 1991). Este processo sugere dois mecanismos de controle ao desenvolvimento micorrízico nas raízes. O primeiro operando sobre o fungo está em controle sobre a planta hospedeira, possivelmente através de um sinal or nutricional. A importância do genoma da planta hospedeira na regulação da morfogênese do fungo tem sido relatada por vários estudos comparando os aspectos morfológicos das plantas (Bonfante e Perotto, 1992). O segundo opera no meristema da planta e pode ser influenciado pelo fungo diretamente através de sinais moleculares. Esse controle recíproco pode ser importante para o sucesso da simbiose.

2.2.2 A simbiose e seus efeitos na planta.

O processo de desenvolvimento das micorrizas envolve diferentes fases: germinação dos esporos (Powell, 1976) e desenvolvimento das hifas no solo (Sanders, 1975; Schwab, Menge e Leonard., 1983; Tommerup e Abbott, 1981; Mayo, Davis e Motta, 1986; Siqueira, 1994), reconhecimento do hospedeiro e formação de um apressório (Powell, 1976, Siqueira, 1994), penetração e colonização do cortex radicular (Kinden e Brown, 1975), formação de arbúsculos e estabelecimento da associação simbiótica e

estabelecimento do mutualismo (Schwab, Menge e Tinker, 1991). A simbiose se processa através de uma troca de compostos de carbono e nutrientes entre o fungo micorrízico e a planta. A planta hospedeira fornece compostos fotossintetizados para o fungo micorrízico e recebe nutrientes minerais absorvidos pelas hifas extraradiculares. As plantas micorrizadas transferem entre 5% a 15% a mais de compostos fotossintetizados para as raízes (Schwab, Menge e Tinker, 1991), contudo esse dreno adicional é compensado pela absorção e transferência de nutrientes para a planta através das hifas micorrízicas.

O mais importante evento que advém da colonização das células das plantas pelos fungos micorrízicos é a formação de uma interface no contato entre as células das plantas e do fungo. Embora diferentes tipos de interface são observados durante a interação micorrízica eles são sempre compostos de membranas de ambos simbioses separadas por uma região apoplástica (Bonfante e Scannerini, 1992; Smith et al., 1994). A sua função é permitir uma troca em duas vias de nutrientes entre a planta hospedeira e o fungo micorrízico (Smith et al., 1994). A atividade da ATPase revelada na membrana externa que envolve o fungo micorrízico é de grande importância em termos de transferência de nutrientes. Parte da sua atividade é atribuída a H^+ / ATPase presente na membrana do fungo (Gianinazzi-Pearson et al., 1991) cuja atividade não foi encontrada na membrana da planta que envolve os arbúsculos. A presença da enzima H^+ / ATPase parece ser típica das associações simbióticas (Brewin, 1990).

A contribuição dos fungos micorrízicos para a planta hospedeira está mais relacionada aos efeitos nutricionais tais como, aumento na absorção de nutrientes, utilização de formas de nutrientes não disponíveis as plantas, armazenamento temporário de nutrientes na biomassa fúngica evitando sua imobilização química ou biológica e lixiviação, favorecimento de microorganismos benéficos como mineralizadores e solubilizadores de nutrientes e diazotróficos na micorizosfera, diminuição dos efeitos adversos do pH, Al, Mn, metais pesados e estresse hídrico sobre a absorção de nutrientes (Siqueira, 1994). Embora as alterações nutricionais ocorrentes nas plantas sejam muito variáveis, muitas vezes devido ao efeito de diluição, verifica-se um decréscimo de N, S, Ca, Mg e Na nos tecidos das plantas, e um aumento dos micronutrientes Br, I, Cl, Al e Si e dos ânions SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- e Cl^- (Marschner e Dell, 1994; Siqueira e Saggin-Júnior, 1994).

O efeito nutricional dos fungos micorrízicos é de grande importância principalmente na absorção de nutrientes que possuem baixa difusão no solo, como o P, Cu, Zn e K. Segundo Li, George e Marschner . (1991), em milho, os fungos micorrízicos foram responsáveis pela absorção de 16% a 25% do Zn e 52% a 62% do Cu. A absorção de P constitui o principal mecanismo de resposta das plantas cultivadas em solos de baixa fertilidade, como os solos sob vegetação de cerrado. Contudo, o maior suprimento de P à planta, aumentando a sua concentração nos seus tecidos, pode afetar a colonização das raízes da planta pelos fungos micorrízicos e a absorção de nutrientes como o Zn, Cu e S. A mineralização do P orgânico do solo pelos fungos micorrízicos, através de um processo químico, contribui para a sua absorção pelas hifas micorrízicas (Jayachandran et al., 1992) sendo o P absorvido pelas hifas convertido à granulos de polifosfatos (Cappacio e Collon, 1982). De modo geral, a

mobilização do P no solo pode ser resultante dos seguintes processos: solubilização pela produção de ácidos orgânicos, aumento dos teores de CO_2 na rizosfera, produção de compostos quelantes capazes de mobilizar o P ligado a compostos de Fe e aumento na população de microorganismos solubilizadores e mineralizadores de fosfatos.

A aquisição de N pelas plantas também pode ser influenciada pelos fungos micorrízicos, havendo um efeito direto na aquisição do N tanto na forma orgânica como inorgânica ou por um efeito indireto influenciando microorganismos fixadores do N atmosférico. Segundo Cliquet e Stewart (1993), plantas micorrizadas apresentam maior assimilação de NH_4^+ , produção de glutamina e translocação de N via xilema. Devido a maior mobilidade do NO_3^- em relação ao NH_4^+ , a assimilação e translocação do NH_4^+ pelos fungos micorrízicos torna-se mais importante em relação a limitação do sistema radicular (Bowen e Smith, 1981). A relação rizóbio - micorriza também é de grande importância, em solos de baixa fertilidade, principalmente quanto as limitações de P e N, podendo não ocorrer a nodulação em leguminosas na ausência de fungos micorrízicos (Mosse, 1977).

2.2.3. Transferência de nutrientes entre plantas.

A relação entre a liberação e a transferência de nutrientes entre plantas consorciadas através de microorganismos tem sido pouco estudada. Entretanto, existem evidências da transferência de nutrientes entre plantas via intermediação pelas hifas de fungos micorrízicos arbusculares são de grande importância para a consorciação de plantas. Devido à diferença entre essas duas famílias de plantas em competir pelos nutrientes, os fatores externos que favorecem uma nutrição balanceada no consórcio de gramíneas com leguminosas, são muito importante (Haynes, 1980). Como as leguminosas são em geral mais micotróficas que as gramíneas (Haynes, 1980), possuindo um sistema radicular menos desenvolvido, as micorrizas poderiam contrabalançar a menor capacidade competitiva das leguminosas absorvendo os nutrientes de baixa mobilidade, particularmente o fósforo.

O baixo nível de especificidade por hospedeiros verificado nos fungos micorrízicos arbusculares, (Gerdeman e Trappe, 1974) pode promover a infecção a uma ampla faixa de diferentes espécies de plantas (Mosse, 1973), evidenciando que em condições naturais pode ocorrer conexões entre as raízes dessas plantas pelas hifas micorrízicas (Heap e Newman 1980, Whittingham e Read, 1982; Francis, Finlay e Read, 1986; Newman et al., 1994). Bethenfalvy e Ferrera-Cerrato (1990) relataram que na consorciação milho / soja, a concentração de P no milho diminuiu mas a concentração de N aumentou, sugerindo que o N passou da soja para o milho e o P do milho para a soja em vista da alta demanda de P durante a fixação de nitrogênio. Essa transferência de nutrientes entre plantas conectadas por hifas micorrízicas pode ocorrer em intensidade suficiente para promover uma resposta no crescimento das plantas receptoras e se constituir em uma grande significância ecológica, considerando a diferença na concentração de nutrientes entre plantas competidoras (Newman e Ritz, 1986). Além disso, sob condições de baixa disponibilidade de nitrogênio e fósforo, a qual ocorre em muitos solos tropicais, a possível transferência de nutrientes entre plantas torna-se um importante processo na adaptação das

plantas.

A eficiência da transferência de nutrientes entre plantas consorciadas e conectadas por hifas micorrízicas, em condições ambientais naturais, varia entre as espécies de plantas consorciadas de acordo com a sua demanda nutricional e o status nutricional do ambiente. As interconexões entre plantas via hifas micorrízicas, são difíceis de serem observadas a nível de campo. Elas são facilmente rompidas na tentativa de um exame microscópico, além da dificuldade da identificação das raízes das diferentes plantas envolvidas nesta associação.

Estimativas do total de hifas de fungos micorrízicos encontrados no solo são muito variáveis. Muitas dessas estimativas têm expressado os resultados com base no comprimento das raízes. Os valores obtidos para hifas no rizoplane (cm / cm de raiz) tem variado de 3 (Sylvia, 1988) , 6 (Dien, Gueye e Dommergues, 1986) e 30 (Abott e Robson, 1985). A rede de hifas pode também influenciar o ciclo de nutrientes na rizosfera através de sua ação sobre o pH do solo e a produção de ácidos orgânicos. A explicação mais usual para uma maior concentração de P na parte aérea das plantas micorrizadas é o aumento na área de absorção condicionado pelas hifas micorrízicas ligadas as raízes das plantas. Até o presente, as interconexões entre plantas via hifas têm sido avaliadas em condições de casa de vegetação e plantas cultivadas em recipientes, através de observação direta.

A transferência de compostos orgânicos fotossintetizados, entre plantas, utilizando-se o C^{14} como marcador, foi detectada em vários estudos (Reid e Woods, 1969; Hirel e Gerdemann, 1979; Browlee et al., 1983; Francis e Read, 1984;). Esses estudos mostraram que a transferência dos compostos orgânicos fotossintetizados ocorreu principalmente pelas hifas dos fungos micorrízicos, porém , a principal questão decorrente desse processo, é se a fração de composto orgânico transferido para o fungo micorrízico arbuscular é liberado para a planta receptora. No caso de ocorrer esta liberação, se seria transferida em quantidades suficientes para promover benefício para a planta receptora. Estudos realizados sobre plantas consorciadas, onde a planta receptora foi severamente sombreada, requerendo uma grande demanda de carbono, mostraram que houve um aumento na concentração de C nas raízes da planta receptora (Read, Francis e Finlay, 1985).

2.2.3.1. Transferência de nitrogênio

As plantas leguminosas têm o potencial de suprir suas necessidades de nitrogênio pela fixação do nitrogênio atmosférico. A consorciação de uma leguminosa com uma gramínea pode levar a uma transferência de nitrogênio da leguminosa para a gramínea. Essa transferência de nitrogênio entre uma planta leguminosa e outra não leguminosa em um sistema consorciado é de particular interesse, principalmente considerando-se que parte da adubação nitrogenada poderia ser substituída pelo nitrogênio fixado pela leguminosa. Roberts e Olson (1942), observaram um aumento na concentração de nitrogênio em gramíneas consorciadas com leguminosas, e consideraram que este fato poderia ser devido a transferência de nitrogênio da leguminosa para a gramínea ou a supressão do crescimento da leguminosa pela gramínea. Entretanto Haystead, Malajzuk e Grove (1988), demonstraram que um

aumento na transferência de N entre *Trifolium repens* e *Lolium perenne* L. foi observado quando as plantas foram inoculadas com fungos micorrízicos.

A melhoria da nutrição da gramínea consorciada com uma leguminosa pode ocorrer em duas fases. Inicialmente os fungos micorrízicos aumentam a absorção de fósforo pela leguminosa e consequentemente aumentam a sua fixação biológica de nitrogênio (Robson, Ohara e Abbott, 1981). O efeito do fósforo na fixação biológica do nitrogênio foi também verificado por Israel (1987). A deficiência de fósforo reduziu o desenvolvimento da planta e a fixação simbiótica de nitrogênio. A adição de fósforo pode aumentar sua disponibilidade no solo, e inibir a colonização das raízes pelos fungos micorrízicos, porém pode aumentar a fixação biológica do nitrogênio pela leguminosa (Carling et al., 1978; Manjunath e Bagyaraj, 1984). Em uma segunda fase do processo simbiótico, ocorre a transferência de nitrogênio da leguminosa para a gramínea. O envolvimento de fungos micorrízicos neste processo ainda é muito controverso. Fatores como a densidade de micélio dos fungos micorrízicos no solo e a influência da população microbiana podem estar relacionados com a transferência de nitrogênio. Hamel et al., (1991), verificaram que uma alta taxa de transferência de nitrogênio não foi associada com uma alta densidade de micélios dos fungos micorrízicos no solo e que a população microbiana do solo afetou a transferência de nitrogênio entre plantas micorrizadas.

Ledgard, Freney e Simpson, (1985), verificaram que a transferência de ^{15}N entre as plantas em condições de campo não foi significativa, porém ela foi importante em plantas cultivadas em vasos em condições de casa de vegetação. Diversos estudos têm sido feitos sobre a transferência de nitrogênio entre leguminosas e gramíneas (Eaglesham et al., 1981; Craig, Wiebold e MacIntosh 1981; Henson e Heichel, 1984). Contudo o processo pelo qual ocorreu esta transferência não foi determinado.

Os possíveis meios pelos quais o nitrogênio pode ser transferido entre plantas são: transferência de exsudados através do contato entre as raízes, absorção de compostos nitrogenados das raízes, via solo, pelas hifas dos fungos micorrízicos, e transferência direta desses compostos entre plantas através da conexão por hifas micorrízicas. Além desses meios, a transferência de nitrogênio por fungos micorrízicos pode ocorrer através da incorporação de resíduos de plantas leguminosas que atuam como fonte de nitrogênio no manejo de agrossistemas (Gliessman, 1990). Embora Read, Francis e Finlay (1985), tenham descrito um mecanismo de transferência para sistemas em equilíbrio, onde a transferência de nutrientes é devido ao fluxo direto entre plantas que mantêm um longo período de contato, a sua validade é mais problemática em agrossistemas. Nesses sistemas, o constante revolvimento do solo leva a uma interrupção nas hifas micorrízicas presentes no solo (Evans e Miller, 1990), e a rotação de culturas pode impedir o estabelecimento de uma formação micorrízica mais equilibrada. Em sistemas onde plantas leguminosas são intercaladas com gramíneas, o fungo micorrízico deverá ser compatível com as duas culturas consorciadas (Howeler, Sieverding e Saif, 1987).

Os primeiros estudos referentes a transferência de nitrogênio da leguminosa para a gramínea relataram que essa transferência ocorre mais por via do solo, onde a mineralização de resíduos provenientes das leguminosas pode ser absorvido pelas gramíneas (Haystead e Marriot, 1979; Heichel et al., 1984; Boller e Nosberger, 1987; Dubach e Russelle, 1994), através de um processo onde os produtos

exsudados das raízes da planta doadora podem ser assimilados por outras plantas receptoras (Ta e Faris, 1987; Burity, Faris e Coulman, 1989). A liberação de nitrogênio pelo sistema radicular em pleno desenvolvimento pode servir de fonte para outras plantas assim como para os microorganismos da rizosfera. As formas e quantidades liberadas pelas raízes ainda são pouco conhecidas, devido ao rápido metabolismo dos microorganismos do solo que alteram os compostos nitrogenados solúveis em água como os aminoácidos (Alexander, 1977). Além disso, os compostos nitrogenados podem ligar-se a minerais, a complexos de troca cationica e agregados de mucigel na rizosfera. Brophy, Heichel e Russelle (1987), verificaram que *Medicago sativa* e *Glycine max* liberaram grandes quantidades de nitrogênio na rizosfera.

A alta porcentagem de nitrogênio liberado no solo pela leguminosa pode contribuir para a transferência de nitrogênio entre as plantas. Segundo Jansen (1990), uma grande quantidade de produtos fotossintetizados é liberada pelas raízes tanto das plantas leguminosas como pelas gramíneas, via um processo ativo ou passivo. A exsudação de nitrogênio na forma de íon amônio pelos nódulos da alfafa não requer uma transformação para a sua absorção pela gramínea consorciada, em vista que o íon amônio é mais facilmente assimilado pelos fungos micorrízicos que o nitrato (Smith, 1988; Oliver et al., 1983; Bowen e Smith, 1981), a transferência de nitrogênio por fungos micorrízicos pode ser de pouca importância em solos agrícolas onde o íon nitrato é predominante.

Boller e Nosberger (1987), relataram que a amplitude de transferência de nutrientes que ocorre entre plantas consorciadas é de menor importância durante o seu desenvolvimento, quando comparada com a transferência decorrente da decomposição do material vegetal. No caso das plantas leguminosas, a decomposição das raízes e dos nódulos, libera grande quantidade de nitrogênio que pode ser assimilado pela planta consorciada. Embora esses estudos tenham mostrado a transferência de nitrogênio da leguminosa para a gramínea, poucos estudos têm avaliado a quantidade de nitrogênio transferido. Simpson (1976), estimou que 3 a 20% do nitrogênio fixado pela leguminosa foram transferidos, para a gramínea em consorciação, por um período de três anos, enquanto Broadbend, Nakashima e Chang (1982), e Brophy, Heichel e Russelle (1987) estimaram valores de até 79%. Ledgard (1991), estudando a transferência do nitrogênio fixado por *Trifolium repens* para *Lolium perenne*, verificou que essa transferência ocorreu em quantidades de 70kg de nitrogênio / ano. Porém, o benefício das leguminosas consorciadas com gramíneas depende das espécies das plantas consorciadas. Ta e Faris, 1987, verificaram que *Medicago sativa* e *Trifolium repens* exsudaram mais nitrogênio que *Lotus corniculatus*, porém a contribuição de *Lotus corniculatus* durante a consorciação foi maior devido a decomposição dos nódulos e tecidos das raízes.

Os fungos micorrízicos arbusculares podem sobreviver durante algum tempo na matéria orgânica morta, podendo desenvolver um tipo de nutrição saprofítica. Com a morte do sistema radicular nodulado e micorrizado, os nutrientes do material decomposto podem ser transportados para plantas com raízes vivas, através das hifas dos fungos micorrízicos (Warner, 1984).

Embora a maioria dos estudos sobre a transferência de nutrientes entre plantas consorciadas tenha mostrado uma transferência de nitrogênio da leguminosa para a gramínea, a transferência bi-

direcional de nitrogênio também pode ocorrer. Os resultados obtidos por Tomm, Kessel e Skinkard (1994) na consorciação de *Medicago sativa* L. *Bromus riparius* Rhem. mostraram que dentro de um período curto de tempo, o nitrogênio foi transferido tanto da leguminosa fixadora de N para a gramínea como em sentido inverso.

Aspectos da consorciação relacionados com a transferência de nitrogênio entre as plantas, como a densidade entre as plantas consorciadas, distância entre plantas, níveis de N no solo e modo de aplicação do N têm sido mencionados na literatura. Brophy, Heichel e Russelle, (1987), estudando a transferência de nitrogênio entre as leguminosas forrageiras, alfafa e *Lotus corniculatus* L. e a gramínea, *Phalaris arundinacea* L., verificaram que ocorreu uma transferência de nitrogênio dessas leguminosas para a gramínea em áreas de alta relação gramínea/leguminosa e que o total de nitrogênio transferido foi dependente da distância entre as plantas. Além disso, a grande porcentagem de nitrogênio transferida foi em parte atribuída a baixa concentração de nitrogênio no solo. Eaglesham et al., (1981), verificaram que uma maior transferência de nitrogênio entre caupi e milho ocorreu em solos com menor concentração de nitrogênio que em solos com altas concentrações de nitrogênio. No entanto, a alta concentração de nitrogênio no solo poderia ter afetado de uma maneira repressiva a atividade dos fungos micorrízicos limitando a extensão das hifas no solo e a infecção das raízes, comprometendo sua possível atividade como uma interface na transferência de nitrogênio entre o cowpea e o milho. Bethenfalvy et al. (1991) estudando a transferência de nutrientes entre a soja e o milho relataram que a transferência de nutrientes mediada por *Glomus mosseae* foi influenciada pelo modo de suprimento de nitrogênio e que a transferência de nutrientes pode ser bi-direcional e a direção do fluxo está direcionada com a relação fonte-dreno. Porém essa consorciação mostrou maiores vantagens para o milho quando houve a adição de nitrogênio na soja.

Durante a década passada, novos estudos levaram a indicação de que pode existir uma rota onde a transferência de nitrogênio é mediada pelas hifas dos fungos micorrízicos, passando pelo solo, ou seja, os exsudatos seriam liberados e posteriormente assimilados e transferidos a planta receptora pelas hifas dos fungos micorrízicos (Francis, Finlay e Read, 1986; Haystead, Malajzuk e Grove, 1988). McNeill e Wood (1990), reportaram que a transferência de nitrogênio entre plantas pode ser mediada por hifas micorrízicas, porém a mineralização do material da leguminosa pode ser a maior via de transferência de nitrogênio ao longo do período de consorciação. Se o fungo normalmente transporta o nitrogênio do solo para a planta, a transferência da planta para o fungo pode não ser um processo significativo. Contudo, poderá ocorrer um fluxo de nitrogênio obedecendo um gradiente de concentração da planta doadora para o fungo. Além disso, a observação de que as plantas leguminosas produzem uma maior quantidade de exsudatos que as gramíneas torna a hipótese da transferência através de um gradiente de concentração fator importante na transferência de nitrogênio (Ayo - Ofunda, 1979).

Os métodos até então utilizados para avaliar a transferência de nitrogênio não distinguiam entre o nitrogênio transferido de materiais provenientes das plantas, do inerente ao solo ou proveniente da atividade biológica do solo. A técnica da diluição isotópica utilizando o ^{15}N propiciou um método mais preciso para o estudo da contribuição de diferentes fontes de N para as plantas (Vose e Victoria, 1986) e

da transferência de nitrogênio, entre plantas consorciadas. A sugestão de que leguminosas cultivadas em consorciação com gramíneas estimulam a mineralização de nitrogênio da matéria orgânica do solo para posterior assimilação pela gramínea, pode levar a uma sobreavaliação do nitrogênio medido por esta técnica.

A transferência de nutrientes entre plantas consorciadas, através da inoculação com fungos micorrízicos, tem apresentado resultados contraditórios e muitos desses estudos não demonstraram se o nitrogênio transferido era originário da fixação biológica de nitrogênio. Hamel et al. (1991), reportaram que o transporte de ^{15}N da planta hospedeira para *Glomus versiforme* (Karsten) Berch não ocorreu por uma interface simbiótica, sugerindo que o fungo micorrízico é independente da planta hospedeira para suprir a sua necessidade de nitrogênio, e que as pontes formadas pelas hifas micorrízicas entre as raízes do milho e da soja não apresentaram um papel significativo na transferência de nitrogênio entre essas plantas. Entretanto, o fator mais importante que afetou a transferência de ^{15}N entre as plantas foi a extensão do contato entre os seus sistemas radiculares. A presença de *Glomus versiforme* reduziu a exsudação de ^{15}N pela soja, porém a extensa rede de hifas permitiu uma maior eficiência do sistema radicular do milho para assimilar o ^{15}N exsudado pela soja. Em estudos posteriores, Hamel, Furlan e Smith (1992), mostraram que *Glomus intraradix* não apresentou um efeito significativo na transferência de ^{15}N da alfafa para as gramíneas *Phelum protense* L. e *Bromus inermis* Leys, e que a redução de exsudados da alfafa no solo, poderia ser resultado de uma reabsorção e transferência desses exsudados para a alfafa.

Outros aspectos relacionados a transferência de nitrogênio via hifas micorrízicas tem sido estudados: a forma na qual o nitrogênio é absorvido e transferido e o efeito da interação com outros microorganismos do solo nesse processo. A assimilação de compostos nitrogenados, na forma de ureídeos, produzidos pelos nódulos da soja (Harper, 1987) pode não ser a forma de nitrogênio utilizada na sua transferência. Smith e Smith (1990), postularam que os aminoácidos seriam a forma utilizada na transferência de nitrogênio. Hamel et al. (1991), estudando a transferência de nitrogênio entre a soja e o milho relataram que o efeito da inoculação de fungos micorrízicos na transferência de nitrogênio somente foi significativo em solos não fumigados. Em contraste, como o efeito da inoculação com fungos micorrízicos no solo fumigado, onde a população microbiana era baixa, a inoculação com fungos micorrízicos no solo não fumigado reduziu a população total de microorganismos neste solo, evidenciando que em solo natural, existe um antagonismo entre os fungos micorrízicos e outros microorganismos do solo, além de uma competição por compostos nitrogenados.

Frey e Schuepp, (1992), em estudos sobre a mediação de fungos micorrízicos na transferência de nitrogênio, simbioticamente fixado, entre *Trifolium alexandrium* L. e *Zea mays*, concluíram que *Glomus intraradices* mediou a transferência do nitrogênio simbioticamente fixado. Eles assumiram que a ocorrência de uma lenta e indireta transferência de ^{15}N através da mineralização dos nódulos e subsequente liberação do nitrogênio não foi o processo predominante.

Embora a maioria dos estudos sobre a transferência de nutrientes entre plantas consorciadas pelas hifas dos fungos micorrízicos ainda não seja conclusivo, as possíveis implicações dessa

Embora a maioria dos estudos sobre a transferência de nutrientes entre plantas consorciadas pelas hifas dos fungos micorrízicos ainda não seja conclusivo, as possíveis implicações dessa interconexão entre plantas é de fundamental importância e implicação em ecossistemas. As principais possibilidades desta interligação são: a) plantulas podem tornar-se infectadas mais rapidamente e permanecer conectadas a outras plantas pelas hifas micorrízicas beneficiando-se da transferência de nutrientes e compostos orgânicos, b) a ciclagem de nutrientes entre as plantas permite manter mais nutrientes entre as plantas interligadas pelas hifas e consequentemente diminuir as suas perdas no solo.

2.2.3.2 Transferencia de fósforo

A transferência de fósforo pode ocorrer entre plantas consorciadas colonizadas ou não por fungos micorrízicos, mas quando ocorre o processo de infecção pelos fungos micorrízicos o fluxo de fósforo entre plantas é aumentado (Whitingham e Read, 1982). O ^{32}P é um isótopo que tem sido utilizado na avaliação da transferência de fósforo entre plantas inoculadas com fungos micorrízicos. Woods e Brock (1964), injetaram ^{32}P em plantas arbóreas e o detectaram em plantas que não o tinham recebido. A possível transferência mediada por hifas de fungos micorrízicos não foi avaliada. Heap e Newman (1980), em estudos com ^{32}P em *Lolium perenne* L. e *Plantago lanceolata* L., mostraram que as hifas micorrízicas podem aumentar o transporte de fósforo entre plantas, mas não evidenciaram se houve um transporte direto de uma raiz para outra via hifa ou se o fósforo foi transferido após ser liberado pelas raízes e posteriormente absorvido pelas hifas e transportado para a planta. Resultado similar foi obtido por Chiariello, Hickman e Mooney, (1982) em *Plantago erecta* inoculado com fungos micorrízicos do gênero *Glomus*, observando uma extensa rede de hifas entre as raízes das plantas.

Contudo, Newman e Ritz (1986), em estudos com ^{32}P , verificaram que a transferência direta de fósforo entre as raízes das plantas conectadas por hifas micorrízicas não foi o processo mais importante ocorrido na transferência do fósforo, e que o modelo de transferência via solo foi o que apresentou uma melhor explicação dos resultados obtidos.

Além do processo direto de transferência entre plantas consorciadas, os nutrientes minerais liberados com a morte das raízes podem ser assimilados pelas hifas dos fungos micorrízicos e transferidos para a planta receptora reduzindo a disponibilidade de nutrientes no solo que estariam disponíveis para os microorganismos saprofíticos, assim como poderia reduzir as perdas por lixiviação ou fixação no solo. No caso do fósforo é possível que quando as raízes entram em senescência o fósforo presente nessas raízes passe para o fungo micorrízico, em um processo inverso em relação ao ocorrido em raízes vivas colonizadas por esses fungos.

2.3 Metabolismo do carbono e do nitrogênio em plantas

A assimilação do N associado ao metabolismo do C constitui-se em um dos mais importantes processos que ocorre nas plantas. A interação entre esses processos e o desenvolvimento das plantas

definidas nos estudos de Wilson e Wyss (1937) que mostraram que o enriquecimento da atmosfera com CO_2 em trevo e alfafa promoveu um maior acúmulo de matéria seca que um acúmulo de N total na planta. Estudos posteriores relacionados a ação de enzimas durante o processo de fixação de CO_2 mostraram uma relação positiva entre a atividade da enzima Rubisco (ribulose 1,5 bifosfato carboxilase / oxigenase) e a produção de grãos em função da capacidade de síntese de compostos fotossintetizados. Kuo et al. (1980), verificaram que o aumento na produção de grãos em milho estava relacionado ao aumento na atividade da Rubisco. Resultados similares foram obtidos em *Hordeum vulgare* (Frey e Moss, 1976). Porém, estudos relacionando a taxa fotossintética com a produção de grãos têm mostrado resultados inconsistentes e controversos. Essas diferenças podem estar relacionadas a fatores como, translocação de compostos fotossintetizados, absorção de nutrientes, taxa de respiração e área foliar (Zelitch, 1982).

2.3.1 Enzimas do metabolismo do nitrogênio

As principais enzimas envolvidas no metabolismo do nitrogênio são: nitrato redutase, nitrito redutase, glutamato desidrogenase (GDH), glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT). Na assimilação e metabolismo do nitrogênio inorgânico, ocorre sua redução a nitrito, pela nitrato redutase, e o nitrito formado é reduzido a amônio pela nitrito redutase. A conversão do amônio a nitrogênio orgânico é realizada pelas enzimas GS / GOGAT. Em plantas, o processo de redução do nitrato tem sido extensivamente estudado, porém, os mecanismos envolvidos no seu controle requerem mais investigações.

O aumento na concentração de NO_3^- nos tecidos da planta induz um aumento na atividade da nitrato redutase e nitrito redutase (Sechley, Yamaha e Oaks, 1992). Contudo, o suprimento de aminoácidos para os tecidos mais jovens da planta reprime a ação da nitrato redutase (Oaks, 1992). Outras evidências, mostram que o nível de atividade da nitrato redutase está sob um controle metabólico (Kaiser, Spill e Brendle-Behnish, 1992), envolvendo o estado de oxidação-redução ou fosforilação da nitrato redutase

Em plantas superiores a GS é considerada a principal enzima de assimilação do amônio, produzido pela nitrito redutase, com formação de glutamina (Miflin e Lea, 1977). Múltiplas formas de GS têm sido identificadas em soja (Stasiewicz e Dunham, 1979) e sorgo (Hirel, Vidal e Gadal, 1982) e outras plantas, estando presente em todos os órgãos como, sementes (Webster, 1964), folhas (O'Neal e Joy, 1973), raízes (Kanamori e Matsumoto, 1972), nódulos radiculares e frutos (Kang e Titus, 1981), porém a sua maior atividade é verificada nas folhas (Guiz, 1979). Em muitas plantas C_3 a forma GS_2 (cloroplástica) se encontra em maior proporção que a GS_1 (citosólica) (McNally et al., 1983). Por outro lado, as plantas C_4 contêm maiores níveis de GS_1 (Hirel, Vidal e Gadal, 1982) e este fato pode estar ligado a maior eficiência dessas plantas na utilização do nitrogênio. No hipocótilo da soja e em tecido verde da folha de sorgo, duas isoformas distintas têm sido identificadas (Stasiewicz e Dunham, 1979) como GS_1 e GS_2 . No sorgo, estudos preliminares mostraram que as formas GS_1 e GS_2 ocorreram em

proporções similares dentro do mesófilo foliar e nas células da feixe vascular. Nas células do mesófilo foliar a GS₂ está localizada no cloroplasto e representa 30% do total da atividade da enzima, enquanto a GS₁ está presente somente no citosol (Hirel, Vidal e Gadal, 1982).

A ocorrência dessas isoformas nas plantas mostra que essas podem ser divididas em quatro grupos : plantas que possuem apenas a forma GS₁, plantas que possuem somente GS₂, plantas que possuem as duas formas mas com GS₁ sendo a de maior atividade e plantas possuindo as duas formas com GS₂ possuindo a maior atividade (McNally e Hirel, 1983). A forma GS₂ nas folhas de arroz é induzida pela luz e NH_4^+ (Edwards e Coruzzi, 1989) e é degradada durante a senescência (Kamachi et al., 1992). A isoforma GS₁ não é induzida pela luz e a sua resposta a NH_4^+ não é bem definida (Edwards e Coruzzi, 1989). As isoformas da GS respondem de modo diferente a adição de NO_3^- e NH_4^+ . No milho a GS encontrada nas células do mesófilo responde positivamente a adição de NO_3^- enquanto a presente nas células do feixe vascular aumenta na presença da luz mas não com a adição de NO_3^- (Sakakibara et al, 1992). Nas raízes do milho há uma fração muito baixa da GS situada nos plastídeos que responde positivamente a adição de NO_3^- mas não responde ao NH_4^+ , enquanto a isoforma GS₁ presente no citosol não responde a adição de NO_3^- ou NH_4^+ .

Outro processo importante na assimilação de nitrogênio pelas plantas é a síntese de glutamato pela enzima GOGAT. As primeiras evidências da presença da GOGAT em plantas superiores foram reportadas por Dougall (1974) em células de cenoura. A significância da descoberta da GOGAT é que essa enzima em cooperação com a GS se constitui em uma rota para a síntese de glutamato a partir do NH_4^+ e 2-oxoglutarato. A enzima GOGAT apresenta duas isoformas com diferentes localizações nos tecidos das plantas, a Fd-GOGAT e a NADH-GOGAT. Nas raízes essas duas isoformas estão localizadas nos plastídeos (Bowsher, Hucklesby e Emes, 1993) e respondem positivamente a adição de NO_3^- como resultado do aumento dos níveis de mRNA, (Redinbaugh e Campbell, 1993). Em arroz a Fd-GOGAT parece estar associada com a assimilação de nitrogênio (NO_3^- ou NH_4^+), enquanto a NADH-GOGAT parece ser responsável pela síntese de glutamato que é transportado dos tecidos senescentes para as panículas em desenvolvimento. (Hayakawa et al., 1993).

A eficiência da utilização do N, ou seja, a capacidade de produção de biomassa por unidade de nitrogênio na planta (Brown, 1978) é diferente entre as espécies de plantas C₃ e C₄. As principais diferenças parecem estar relacionadas com a partição do N entre as proteínas das folhas e as rotas de fixação do CO₂. Estudos comparativos entre plantas C₃ e C₄ sob diferentes concentrações de N, mostram que plantas C₄ apresentam uma maior taxa de crescimento que as plantas C₃ dentro de uma ampla faixa de níveis de N. A maior eficiência na utilização de N pelas plantas C₄ também tem sido medida em relação a absorção de CO₂, verificando-se em plantas C₄ uma maior fixação de CO₂ por unidade de N na folha. A significância desta vantagem adaptativa das espécies C₄ é evidenciada pelo aumento linear na fixação de CO₂ em crescentes níveis de N foliar (Brown, 1978) levando a uma maior produção de matéria seca (Schmitt e Edwards, 1981).

A eficiência de utilização do N entre as diferentes espécies de plantas parece estar associada com a compartimentação das enzimas PEPC (fosfoenolpiruvato carboxilase) e Rubisco (ribulose 1,5

bifosfato carboxilase / oxigenase) nas células do mesófilo foliar e nas células da bainha vascular. Em plantas C_3 a alocação de uma grande porcentagem de proteínas para uma única enzima (Rubisco) com função de oxidação e carboxilação, parece estar ligada a um ineficiente uso da proteína (Blenkinsop e Dale 1974). Em plantas C_4 estando a Rubisco restrita às células da bainha vascular e ocorrendo a concentração de CO_2 nestas células, através da enzima PEPC, o mecanismo de utilização de N para a fixação do CO_2 torna-se mais eficiente principalmente devido a inativação da função oxigenase da Rubisco, reprimindo o processo de fotorespiração e a consequente perda de compostos fotossintetizados como ocorre em plantas C_3 .

A maior eficiência das plantas C_4 na utilização do N pode dar a elas uma vantagem adaptativa em locais de baixa ocorrência de N e em locais de muita precipitação pluviométrica (Birch e Friend, 1956).

2.3.2 Enzimas do metabolismo do carbono

A rota de fixação do CO_2 em plantas C_4 , (milho, sorgo, etc.), tanto em termos de seu processo metabólico e sua localização inter e intracelular, envolve muitos processos reguladores. O processo da fotossíntese em plantas C_4 é dependente da presença de dois tipos de células as quais são anatomicamente e bioquimicamente distintas, que são as células do mesófilo foliar e as células da bainha vascular. Dentre as enzimas envolvidas nesse processo a PEPC e a Rubisco são consideradas de grande importância (Edwards e Nakamoto, 1985). Essas enzimas são encontradas em todas as plantas mas as suas proporções diferem nas diferentes etapas fotossintéticas. Nas plantas de ciclo C_4 as duas reações de carboxilação ocorrem em compartimentos diferentes. A carboxilação inicial ocorre nas células do mesófilo foliar envolvendo a enzima PEPC (Edwards e Huber, 1981; Kluge, 1983) e a segunda reação de carboxilação ocorre nas células da bainha celular catalizada pela enzima Rubisco. Neste caso a taxa entre as duas enzimas é de aproximadamente de 1:1 (Latzko e Kelly, 1983).

Inicialmente o CO_2 é fixado por carboxilação do fosfoenolpiruvato pela enzima PEPC dando formação a ácidos dicarboxílicos. O propósito desse processo é concentrar o CO_2 nas células da bainha foliar para permitir uma ação ótima de fixação pela Rubisco. Como em plantas C_4 o CO_2 é concentrado nas células da bainha foliar, a função de oxigenase da Rubisco é suprimida. A alta eficiência de carboxilação relacionada com o mecanismo de concentração de CO_2 nas plantas C_4 , permite que essas plantas desenvolvam o processo da fotossíntese em vista a reduzida condutância do estômato para o CO_2 . Contudo, essa resistência do estômato reduz a perda de água pela planta por transpiração, permitindo essas plantas terem um melhor desenvolvimento em ambientes de altas temperaturas e secos. A atividade da PEPC é modulada pela luz. Por exemplo, um aumento na concentração do fosfoenolpiruvato (PEP) tem sido observado em plantas de milho sob iluminação (Furbank e Leegood (1984). Porém, o processo de seu controle pela luz em plantas C_4 ainda não está muito esclarecido. Sendo a PEPC uma enzima citosólica, não seria provável que o seu controle pela luz ocorresse da mesma maneira que as enzimas presentes nos cloroplastos.

A ativação pela luz poderia ocorrer por uma fosforilação da PEPC, resultado do aumento da atividade da enzima proteína quinase (MacNaughton et al., 1989) ou por altos níveis de fatores positivos como, a triose fosfato e glucose-6-fosfato que interagem diretamente com a carboxilase (Jiao e Chollet, 1988). A mudança na sensibilidade da PEPC à ação de fatores ocorrentes durante a exposição à luz foi observada por Huber e Sugiyama (1986). Diferentemente da PEPC presente em plantas C_3 , a PEPC encontrada nas plantas C_4 possui baixa afinidade por PEP (Ting e Osmond 1973), mas em comum com a encontrada nas plantas C_3 a PEPC presente nas plantas C_4 é inibida por ácidos orgânicos como o málico e aspartico, e ativada pela glucose - 6 - P (Coombs, Baldry e Bucke, 1975; Uedan e Sugiyama, 1976) que reverte o processo de inibição pelo malato.

Outro fator que afeta a atividade da PEPC é o fósforo inorgânico (Doncaster e Leegood, 1987). Esse fato é de relativa importância em condições *in vivo* desde que o P inorgânico é o metabólito chave nas células fotossintéticas. O fósforo está ligado ao processo de fosforilação do terminal serina da molécula da PEPC. Essa fosforilação leva à ativação dessa enzima, assim como diminui a sua sensibilidade ao efeito inibidor do malato (Jiao e Chollet, 1988; Jiao et al., 1991). As plantas C_3 , por outro lado, contêm um grande excesso de Rubisco sobre a PEPC (15 : 1). Contudo a ação da PEPC nessas plantas ainda não é bem conhecida mas sugere-se a sua ação na recaptura de carbono respiratório na síntese de ácidos de quatro carbonos, principalmente málico e aspártico. Nesse processo o PEP é supostamente sintetizado a partir de compostos oriundos das etapas fotossintéticas e somente o Carbono - 4 do malato ou aspartato viria da atmosfera através da PEPC. Segundo Melzer e O'leary (1987), mais da metade do ácido aspartico é sintetizado pela PEPC utilizando o CO_2 / HCO_3^- .

Em plantas C_3 estudos sobre a regulação bioquímica do CO_2 mostram a importância da atividade da enzima Rubisco. Essa enzima constitui aproximadamente 50% das proteínas solúveis das folhas e pode ser a proteína mais abundante na natureza. O ponto principal que atua no controle da atividade da Rubisco tanto em plantas C_3 como C_4 pode ser definido pela convergência de dois processos: absorção de CO_2 da atmosfera e a quantidade de energia necessária para a redução do CO_2 a sacarose na fotossíntese. Na fotossíntese a absorção de CO_2 é mediada por um processo reversível de difusão e por uma reação irreversível da Rubisco. A atividade da Rubisco é mais afetada pela intensidade luminosa e concentração de CO_2 que pela inibição do produto de síntese. Sob condições de baixa luminosidade e alta concentração de CO_2 , a atividade da Rubisco é mantida em baixo nível. Em alta intensidade luminosa, quando a disponibilidade de energia excede a capacidade da Rubisco fixar o CO_2 , esse excesso de energia deve ser dissipado. Weis e Berry (1987), mostraram que quando a quantidade de luz absorvida pela folha se aproxima da capacidade máxima da Rubisco fixar o CO_2 e manter esse fluxo , ocorre um controle da enzima ATPase em função da variação do pH. Essa mudança de pH pode estar relacionada com um bombeamento de íons H^+ do estroma do cloroplasto para o espaço tilacoidal alterando o seu pH e agindo como controlador da ação da enzima ATPase.

As formas ativa e inativa da Rubisco podem estar ligadas a compostos fosfatados que inibem ou estimulam a sua ação. Por exemplo, o 6-fosfogluconato pode estimular a ação da Rubisco enquanto a ribulose-5-fosfato pode inativá-la. A enzima Rubisco ativase, uma proteína encontrada nos cloroplastos

pode promover uma rápida conversão da Rubisco da forma inativa para ativa. A Rubisco ativase possui uma atividade de ATPase (Robinson e Portis, 1989) e parece estar presente em todas as plantas superiores. Além disso, a Rubisco ativase possui uma especificidade por algumas formas de açúcares fosfatados ligados a Rubisco (Lilley e Portis, 1990).

Outro fator que tem sido estudado em relação a taxa de saturação pela luz e a assimilação de CO_2 , medidos em condições ambientais, é o conteúdo de proteínas totais na folha. Field e Mooney (1986), verificaram em plantas C_3 uma forte relação entre a taxa de saturação pela luz e a assimilação de CO_2 com a proteína total na folha. Essa correlação pode ocorrer porque as reações-chaves do processo fotossintético estão associadas com a produção de polipeptídeos e estima-se que 75% do total de proteínas da folha estejam associados com os cloroplastos. Uma indicação teórica sobre a partição do nitrogênio na folha é proposta por Cowan (1986). Ele considerou a partição do nitrogênio entre duas enzimas diretamente envolvidas na fixação do CO_2 : a anidrase carbônica (CA) e a Rubisco. Em plantas C_4 a CA é responsável pela hidratação do CO_2 a HCO_3^- , o qual é o substrato da PEPC, e está presente em níveis de atividade suficiente somente para satisfazer a taxa de fotossíntese (Hatch e Burnell, 1990), indicando que sob certas condições a CA pode limitar a taxa fotossintética das plantas C_4 (Burnell, Suzuki e Sugiyama, 1990). A luz e a nutrição nitrogenada são os fatores que podem afetar a atividade da CA. Em milho Burnell, Suzuki e Sugiyama, (1990), observaram que nas folhas, sob condições de luz, a atividade da CA foi 100 vezes maior que nas folhas sob condições escuras e baixa atividade ocorreu sob condições de pouca luminosidade. Além disso, nas plantas cultivadas sob condições de deficiência de nitrogênio, a atividade da CA foi muito baixa mas essa atividade aumentou quando as plantas foram suficientemente supridas com nitrogênio.

Outro aspecto que tem sido estudado é a relação entre a atividade da CA e da PEPC, mostrando que a atividade da CA na folha segue a da PEPC e o aumento da atividade da PEPC na extensão da folha é similar ao acúmulo de mRNA e proteína (Martineau e Taylor, 1985). Estes aspectos relacionados com a similaridade do efeito da luz e do nitrogênio sobre a atividade dessas enzimas e a similar relação bioquímica entre elas, indicam que os genes que codificam essas duas proteínas podem ter a mesma expressão. (Burnell, Suzuki e Sugiyama, 1990).

3. CAPÍTULO 1

FUNGOS MICORRÍZICOS E FÓSFORO NO CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DO SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) E DA SOJA (*Glycine max* L.) CONSORCIADOS.

1 Introdução

Nas condições de clima tropical, em solos de baixa fertilidade e regiões sujeitas a déficits hídricos, o sorgo tem apresentado resultados promissores em cultivos consorciados, principalmente em substituição ao milho, que é mais influenciado pelas condições climáticas. (Osiru e Willey, 1972).

A introdução da soja em cultivo de cerrado, além de problemas devidos à acidez e deficiência do solo em nutrientes (Lopes, 1984), apresenta dificuldade na nodulação, com problemas de estabelecimento da cultura (Vargas, Peres e Suhel, 1981). No entanto, o rápido crescimento, e o seu alto teor protéico colocam a soja como uma cultura potencial para a consorciação com o sorgo, principalmente para a produção de silagem.

Os estudos sobre o consórcio sorgo - soja ainda são muito restritos e têm sido direcionados à produção de silagem. Estudos envolvendo essas duas culturas, conduziram a observação de que a soja é pouco afetada pela competição por luz, e o seu consórcio com o sorgo resulta em maiores rendimentos da forragem verde (Kawamoto, Masuda e Goto, 1983). Montgomery (1983), relatou que a silagem mista proveniente do consórcio sorgo - soja apresentou maior teor de proteína bruta na matéria seca que a silagem de sorgo em monocultivo.

Nos solos sob vegetação de cerrado, a disponibilidade de P é baixa e o acesso das raízes a esse nutriente pode ser reduzido pela elevada acidez ou déficit hídrico. O aumento da sua absorção é de grande importância, principalmente nas leguminosas que requerem alto suprimento de P ou micorrização para a fixação (Mosse, 1977). Assim, a inoculação, da soja, com *Glomus clarum*, *Glomus mosseae* e *Glomus fasciculatum* aumentou a nodulação, o peso da matéria seca, os teores de N e P na parte aérea e a produção de grãos (Islam, Ayanaba e Sanders, 1980; El - Din e Mowad, 1988).

Sabe-se que os fungos micorrízicos estimulam o crescimento das plantas, principalmente pelo aumento da absorção de nutrientes. Plantas micorrizadas, geralmente acumulam menores teores de N, K, Ca, Mg e Na e maiores teores de SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- e Cl^- . Contudo, dependendo da planta e da

disponibilidade desses nutrientes no solo, a absorção dos cátions pode ser estimulada ou inibida pelos fungos micorrízicos (Siqueira e Saggin-Junior, 1994). Os efeitos da inoculação são mais pronunciados que em solos com baixa disponibilidade de nutrientes (Smith e Gianinazzi - Pearson, 1988). Nestes o teor de P na planta influencia a efetividade dos fungos micorrízicos em promover o crescimento da soja (Siqueira, 1990). No sorgo a inoculação com fungos micorrízicos, aumenta a matéria seca da parte aérea e os teores de P e N (Miranda, Harris e Wild, 1989:). Na soja, uma vez que plantas inoculadas com esses fungos absorvem maiores quantidades de P do solo, a micorrização beneficia a nodulação e o processo de fixação biológica de N (Lopes e Siqueira, 1981).

Esta simbiose é considerada não específica (Lopes, Siqueira e Zambolim, 1983) e pode ocorrer diferenças na infectividade e efetividade em diferentes espécies de fungos micorrízicos (Abbott e Robson, 1985). Essas diferenças podem estar relacionadas às características da espécie de fungo micorrízico, sua adaptação às condições edáficas do solo e ao ambiente (Mosse, 1972), tais como pH do solo (Hayman e Tavares, 1985 ; Siqueira et al., 1986) e tolerância a fertilizantes fosfatados (Sylvia e Schenck, 1983). Além desses fatores, as variações na capacidade de absorção de P e outros nutrientes pelas hifas micorrízicas e nas trocas metabólicas entre o fungo e a planta (Smith e Gianinazzi - Pearson, 1988) podem influenciar as diferenças na efetividade das espécies micorrízicas. Paula , Siqueira e Hoshika (1990), verificaram que na soja diferentes populações de fungos micorrízicos mostraram diferenças na taxa de colonização, absorção de P, produção de matéria seca da parte aérea e de grãos, relacionando esses efeitos com o equilíbrio da relação P / N. Dentre as espécies estudadas *Glomus etunicatum* mostrou maior efetividade para a soja quando cultivada sob condições sub-ótimas de P no solo em casa de vegetação. Em outro trabalho Paula et al., (1988), verificaram que a inoculação com fungos micorrízicos aumentou o rendimento da matéria seca da parte aérea e que *Gigaspora margarida* mostrou baixa efetividade, o que também foi demonstrado por Van Nuffelen e Schenck, (1984).

Na soja, outro aspecto importante na simbiose micorrízica é a interação fungo micorrízico *Rhizobium*. Os efeitos positivos dessa interação são relatados por diversos autores (Barea e Azcón - Aquilar, 1983;; Pacovsky, Paul e Bethlenfalvay, 1986) e é resultado de uma melhor nutrição de P (Bethlenfalvay e Yoder, 1981) que garante o suprimento de P aos bacteróides (Bergersen, 1971). Quando a disponibilidade de P é baixa, a melhoria da nutrição da soja em P, devido a inoculação com fungo micorrízico, estimula a fixação de N e o crescimento da planta (Asimi, Gianinazzi - Pearson e Gianinazzi, 1980; Vejsadová et al., 1992). Paula e Siqueira (1987), estudando a influência de fungos micorrízicos sobre o crescimento, nodulação e acúmulo de N na soja, concluíram que a combinação entre pequenas doses de P aplicado ao solo com a inoculação com *Glomus macrocapum* pode maximizar o crescimento e acúmulo de N pela soja em solos de cerrado.

A eficiência simbiótica da espécie e de isolados da mesma espécie de fungo micorrízico varia em função das condições edafoclimáticas e aspectos relacionados à interação fungo - planta (Smith e Gianinazzi-Pearson, 1988). Assim, quando se pretende avaliar a efetividade dos fungos micorrízicos, fatores como disponibilidade de P, que afeta a colonização das raízes e determina a natureza da

relação fungo - planta, devem ser estudados (Siqueira e Colozzi Filho, 1986). Apesar dos inúmeros estudos sobre a interação fungo - planta - níveis de P, poucos tratam desta situação em consórcio.

No presente trabalho avaliou-se a eficiência de três espécies de fungos micorrízicos para o crescimento, teores de nutrientes e produção de grãos do sorgo e da soja em consorciação, em solo com diferentes doses de P

2 Materiais e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação utilizando-se um delineamento completamente casualizado em fatorial (4 x 5) sendo três espécies de fungos micorrízicos arbusculares (*Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*) e um tratamento sem inoculação, 5 doses de fósforo (0, 25, 50, 100 e 200 mg P / kg de solo) e 5 repetições por tratamento. Empregou-se material de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, atualmente sob vegetação de cerrado, coletado em área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo / EMBRAPA, em Sete Lagoas, MG, apresentando as seguintes características : pH em água (1 : 2,5) = 5,1 ; H + Al (cmol_c / dm³) = 7,92; Al (cmol_c / dm³) = 0,80; Ca (cmol_c / dm³) = 1,70 e Mg (cmol_c / dm³) = 0,33 extraídos com KCl 1 mol / l e determinados por espectrometria de absorção atômica; K (mg / dm³) = 43 e P (mg / dm³) = 4, extraídos por Mehlich I e determinados por fotometria de chama e colorimetria respectivamente; MO (g / kg) = 43,1, saturação de Al (%) = 27.

O material de solo foi peneirado em peneira de malha de 2 mm e desinfestado com Bromex (brometo de metila 98% + cloropicrina 2%) na dosagem de 100 cm³ / m³ de solo. Efetuou-se a calagem com calcário dolomítico Supermil (PRNT = 95 %) para um pH final de 6,0. Após vinte dias de incubação, o solo foi colocado em vasos plásticos de 16 kg e realizada a adubação de plantio, misturando-se em cada vaso, os fertilizantes nitrato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, e FTE Br12 respectivamente como fontes de nitrogênio (63 mg / kg solo), fósforo (25, 50, 100 e 200 mg / kg de solo), potássio (300 mg / kg de solo) e micronutrientes. O FTE Br 12 foi aplicado na quantidade de 0,05 g / kg de solo. Após a adição de P, o solo apresentou 6,0 , 9,0 , 14,0 e 34,0 mg / kg de P extraído pelo Mehlich I. O nitrogênio em cobertura foi aplicado 25 dias após o desbaste, na concentração de 2,88 g de NH₄ NO₃ / litro / vaso com 16 kg de solo.

Utilizou-se as cultivares BR 304 (ciclo médio) e Garimpo (ciclo precoce) para o sorgo granífero e soja, respectivamente. O plantio foi efetuado utilizando-se cinco sementes de sorgo e cinco sementes de soja por vaso. O desbaste foi efetuado quinze dias após a emergência, deixando-se uma planta de sorgo granífero e uma planta de soja em cada vaso.

A inoculação com fungos micorrízicos foi efetuada aplicando-se no solo, a 5 cm de profundidade, abaixo da semente, 10 ml de uma suspensão de esporos capaz de fornecer 500 esporos por vaso. Os esporos foram obtidos de vasos de cultivo utilizando-se *Brachiaria brizantha*, cultivar CPAC 3409, como planta hospedeira, em casa de vegetação, no CNPMS, Sete Lagoas. Os vasos sem inoculação com fungos micorrízicos receberam 30 ml de um filtrado dos inóculos provenientes dos

solos utilizados no cultivo de manutenção das espécies de fungos micorrízicos. Os esporos foram recuperados do solo pelo método de peneiragem úmida (Gerdeman e Nicolson, 1963) e centrifugação a 2497 g em água por três minutos e sacarose 50% por 2 minutos.. Os esporos foram contados e separados sob microscópio estereoscópico, colocados em papel de filtro e armazenados em placas de Petri na geladeira até a sua utilização como inóculo..

As sementes de soja receberam inóculo de *Bradyrhizobium japonicum*, inóculo a base de turfa fornecido pelo CNPAB / EMBRAPA, e aplicado 4 g de inóculo / g de semente, seguindo-se a recomendação do fornecedor.

A irrigação dos vasos foi efetuada em função da necessidade baseando-se no peso dos vasos, mantendo-se 60% do volume total de poros preenchidos com água. As condições na casa de vegetação foram: temperatura máxima 34 °C, temperatura mínima 22 °C e luminosidade média de 625 μ einsteins / m²/ seg. O experimento foi conduzido por 105 dias quando o sorgo apresentou o estágio de grão pastoso, para a produção de silagem.. Na colheita as plantas foram separadas em parte aérea e raízes. Da parte aérea do sorgo retiraram-se as panículas para a avaliação da produção de grãos e da soja retiraram-se as vagens. Os pesos da matéria seca da parte aérea, dos grãos e dos nódulos secos foram obtidos pela secagem dessas partes em estufa a 75° C até peso constante. Em seguida, o material seco foi moído em moinho Willey, com peneira de 20 mesh (0,42 mm). O extrato dos tecidos foliares foi obtido por digestão sulfúrica com KCl e selenio como catalizador para o N (Sarruge e Haag, 1974) e digestão nitro-perclórica para P, K, Ca, Mg, Zn, Cu e Mn (Sarruge e Haag, 1974). As concentrações de N foram determinadas pelo método de Kjeldahl e P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn por espectrometria de emissão de plasma.

As raízes do sorgo e da soja foram amostradas para a determinação da colonização micorrízica. As raízes foram clarificadas e coloridas com azul de tripano em lactofenol, segundo Phillips e Hayman (1970) e a porcentagem de colonização foi estimada pelo método da interseção segundo Giovanetti e Mosse (1980).

Os dados foram analisados estatisticamente pelo programa MSTAT-C (1989). Os dados referentes a porcentagem de colonização das raízes foram transformados em arco seno antes de serem analisados estatisticamente.

3. Resultados e Discussão

3.1 Produção de matéria seca e de grãos

Os efeitos das espécies de fungos micorrízicos e das doses de fósforo sobre o peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA) e peso dos grãos secos (PGS) do sorgo e da soja encontram-se na Tabela 1a. Verificou-se a interação fósforo x fungos micorrízicos para os dois parâmetros em ambas as culturas.

As respostas à adição de P ao solo foram quadráticas para o sorgo, em relação ao PMSPA e PGS e linear para o PMSPA da soja e quadrática para o seu PGS (Figura 1). No sorgo, a adição de P ao solo, aumentou o PMSPA até os níveis 145, 146 e 143 mg P / kg de solo, respectivamente para a inoculação com *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*, ocorrendo um decréscimo a partir dessas doses (Figura 1 a). Os valores obtidos para o PMSPA nesses níveis de P foram 36,34, 30,89 e 22,65 g / planta. O sorgo não inoculado, mostrou uma tendência a estabilização do PMSPA na dose de 180 mg / kg de solo, com uma produção de 23,35 g / planta.

A inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou o PMSPA em 55,63 %, *Gigaspora margarida* em 32,29 % e *Glomus clarum* em 5,91 %, respectivamente nas doses de 145, 146 e 100 mg / kg de solo. Nas doses de P acima de 143 mg/kg de solo, o sorgo inoculado com *Glomus clarum*, apresentou menor PMSPA que o não inoculado, mostrando efeito depressivo desta espécie de fungo micorrízico para o sorgo.

Na soja, o PMSPA aumentou linearmente com as doses de P, indicando que a dose 200 mg / kg de solo não foi suficiente para maximizar o PMSPA, mesmo nas plantas não inoculadas (Figura 1b). Além disso, observa-se que a soja possui maior exigência externa de P em relação ao sorgo, mostrando-se mais responsiva a esse nutriente. Entretanto, assim como verificado para o sorgo, plantas inoculadas apresentaram maior PMSPA.

As plantas de sorgo e soja inoculadas com *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarida* apresentaram PMSPA superior às não inoculadas em todos as doses de P. Isso sugere que esses fungos possuem maior eficiência em promover o aumento no PMSPA do sorgo e da soja que *Glomus clarum*, mesmo nas doses mais elevadas de P.

A produção relativa da matéria seca e da produção de grãos, do sorgo e da soja inoculados com fungos micorrízicos, foi calculada pela diferença entre a produção da matéria seca da parte aérea ou produção de grãos dos tratamentos com e sem inoculação e são apresentados na Figura 2a e 2b. No sorgo, os ganhos máximos no PMSPA atingiram 15,15 , 9,11 e 0,84 g / planta nos níveis de 20,65 , 20,09 e 19,82 mg P / g de solo, respectivamente para *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*. Níveis de P disponível acima desses valores resultaram em redução nos ganhos do PMSPA para os três fungos micorrízicos. Na soja, o efeito da inoculação sobre o ganho no PMSPA ocorreu de modo diferente ao sorgo. Os ganhos relativos, a inoculação com *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarida*, aumentaram com os níveis de P disponível e não atingiram valores máximos no nível mais alto de P disponível no solo (34 mg /kg de solo). Nesse nível de P os ganhos foram 7,94 e 5,51 g / planta, respectivamente para a inoculação com *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarida*. A inoculação com *Glomus clarum* resultou em ganhos decrescentes com os níveis de P disponível no solo, obtendo-se um ganho de 0,88 g / planta no nível 2,82 mg P / kg de solo. Verifica-se que no sorgo e na soja a inoculação com *Glomus etunicatum* resultou em maior ganho no PMSPA.

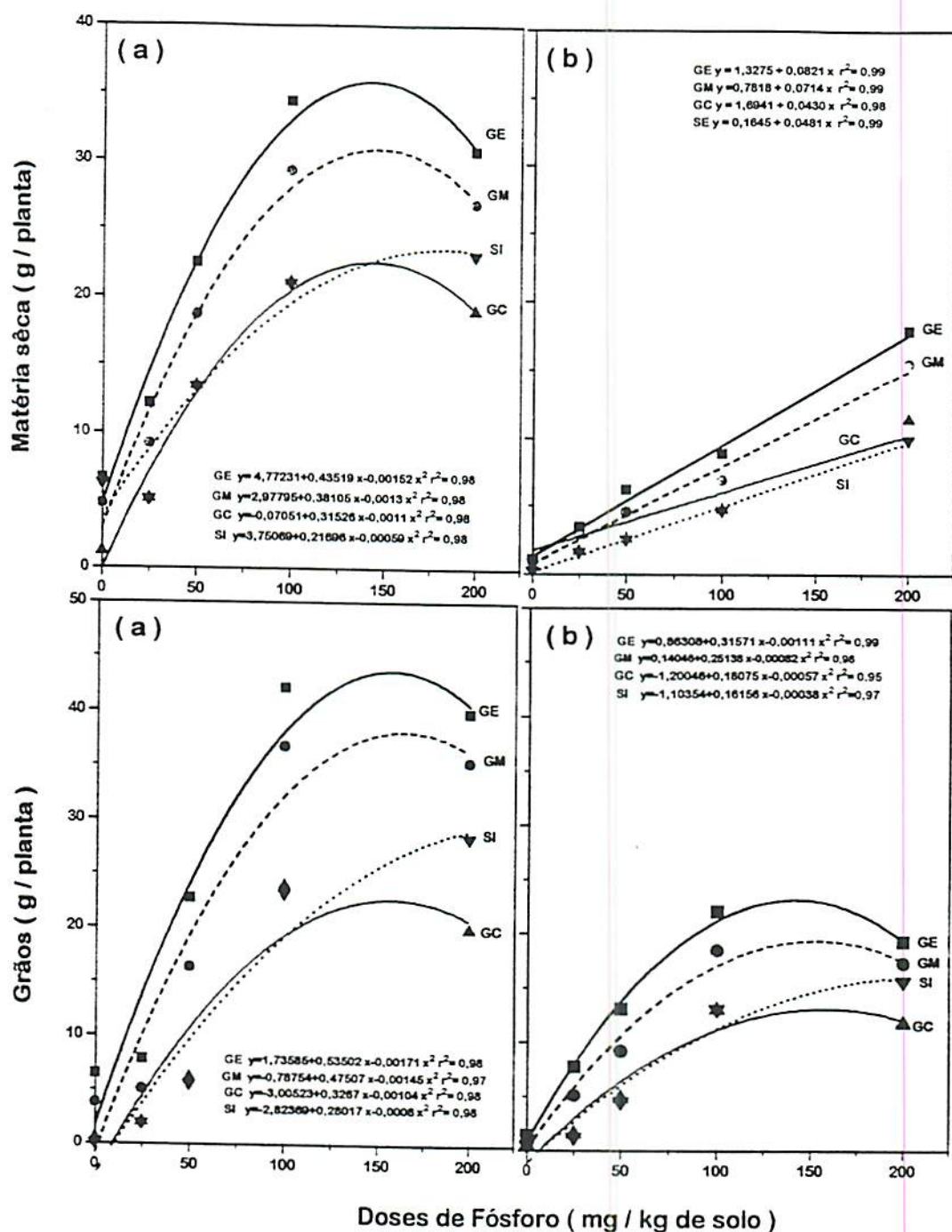


Figura 1. Matéria seca da parte aérea e peso de grãos secos do sorgo (a) e da soja (b) consorciados e inoculados e não inoculados com espécies de fungos micorrízicos sob diferentes doses de P. (GE) *Glomus etunicatum*, (GM) *Gigaspora margarida*, (GC) *Glomus clarum*, (SI) sem inoculação. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994.

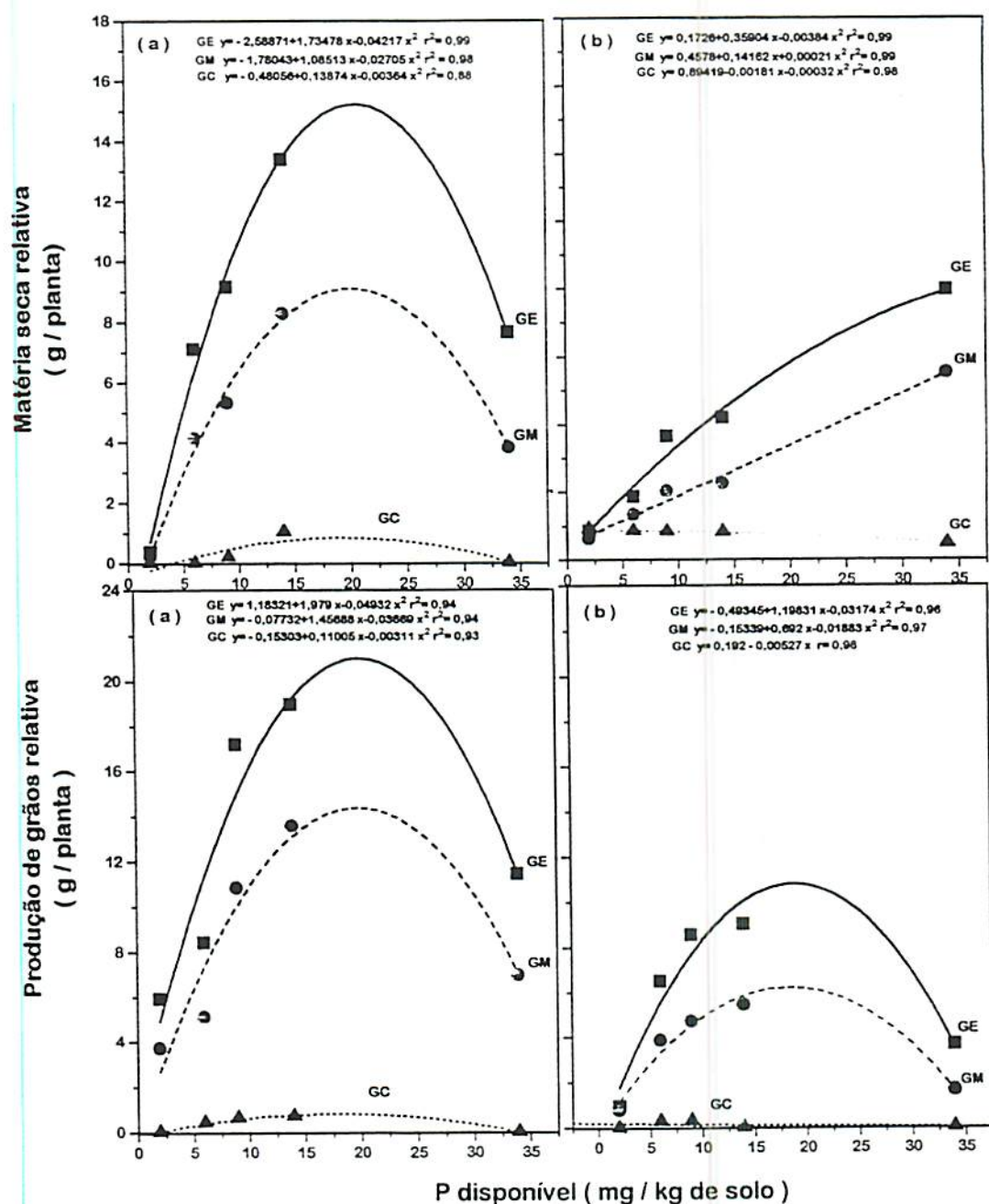


Figura 2 Matéria seca e produção de grãos relativos ao controle sem inoculação para o sorgo (a) e a soja (b) consorciados e inoculados com espécies de fungos micorrízicos em diferentes níveis de P disponível no solo. (GE) *Glomus etunicatum*, (GM) *Gigaspora margarida* e (GC) *Glomus clarum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG).1994.

A relação PMSPA sorgo : soja mostrada na Figura 3, foi calculada pelo quociente PMSPA do sorgo ou da soja / PMSPA total, em cada nível de P. No tratamento inoculação com fungos micorrízicos, no sorgo, verificou-se um decréscimo nessa relação com o aumento dos níveis de P no solo, enquanto na soja resultou em aumento. Verifica-se que a competição da soja por nutrientes, principalmente pelo P, aumentou com a sua disponibilidade no solo, em decorrência da sua maior exigência por esse nutriente, devido ao processo de fixação biológica de N. Além disso, sendo a soja mais responsiva ao P (Figura 1b), resulta em maior acréscimo no PMSPA e maior contribuição no PMSPA total. No tratamento sem inoculação, verificou-se o mesmo comportamento tanto para o sorgo quanto para a soja, porém essa relação mostrou uma tendência a estabilização em doses mais altas de P disponível no solo.

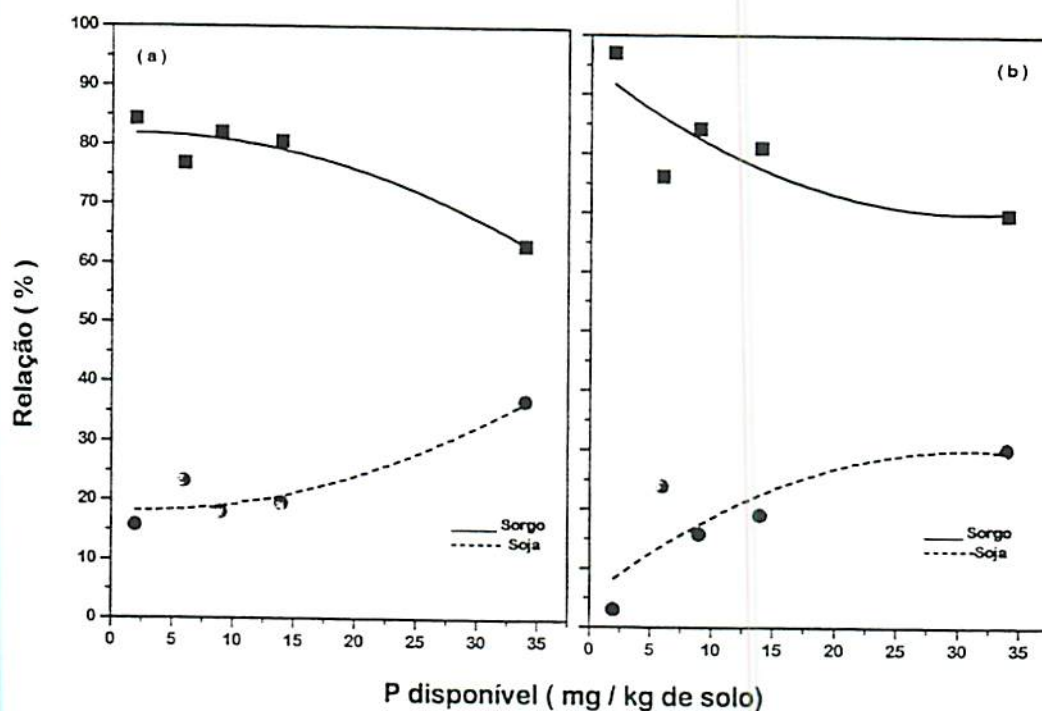


Figura 3 Relação entre o peso da matéria seca do sorgo e da soja inoculados (a) e não inoculados (b) com fungos micorrízicos em diferentes níveis de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG).1994.

O efeito da interação doses de P x inoculação com fungos micorrízicos, sobre o PGS do sorgo e da soja é mostrado na Figura 1a. O PGS variou em função da espécie de fungo micorrízico e das doses de P adicionadas ao solo. Dentre os fungos micorrízicos, *Glomus etunicatum* mostrou uma maior efetividade para o sorgo em promover um aumento do PGS em todos os níveis de P (Figura 1a) O valor máximo do PGS do sorgo inoculado com esse fungo foi 43,83 g / planta, que ocorreu com a adição de 157 mg P / kg de solo, seguido de *Gigaspora margarida* (39,5 g / planta) e de *Glomus*

clarum (23,68 g / planta) respectivamente nas doses de 169 e 163 mg P / kg de solo. O PGS do sorgo não inoculado , também aumentou com as doses de P, porém mostrou tendência a se estabilizar na dose mais alta de P (200 mg / kg de solo), com uma produção de 29,19 g / planta. Entretanto, no sorgo inoculado com fungos micorrízicos, aplicações de P ao solo acima desses valores reduziram o PGS. Com base na Figura 1a, verifica-se que as reduções no PGS na dose mais alta de P, 200 mg de P / kg de solo, em relação as doses de P de maior PGS foram de 7,08, %, 3,27 % e 5,71 % respectivamente para *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*.

O PGS do sorgo inoculado com *Glomus clarum* não diferiu significativamente do sorgo não inoculado até a dose de 110 mg de P / kg de solo. Doses acima deste valor reduziram o PGS do sorgo inoculado com esse fungo em função do efeito depressivo do P sobre esse fungo reduzindo a sua efetividade.

Na soja, de modo semelhante ao sorgo, o PGS variou com as espécies de fungos micorrízicos e as doses de P. Doses baixas de P aumentaram o PGS enquanto doses altas reduziram o PGS da soja inoculada. Dentre os fungos micorrízicos, *Glomus etunicatum* mostrou uma maior efetividade no aumento do PGS da soja. Os valores máximos obtidos para os diferentes fungos e suas respectivas doses de P foram: *Glomus etunicatum* (23,51 g / planta; 143 mg P / kg de solo), *Gigaspora margarida* (19,98 mg / planta; 157 mg P / kg de solo) e *Glomus clarum* (15,12 g / planta; 180 mg P / kg de solo). A soja não inoculada, como também verificado no sorgo, mostrou tendência à estabilização do PGS na dose mais alta de P (200 mg / kg de solo), com uma produção de 15,19 g / planta.. Aplicação de P acima dos valores de máximo PGS reduziram o PGS para todos os fungos micorrízicos. As reduções observadas foram 14,93%, 7,91% e 27,72 % respectivamente para *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*. O PGS do sorgo e da soja mostraram uma relação positiva significativa ($p \leq 0,05$) com as doses de P, $r = 0,75$ e $r = 0,85$, respectivamente para o sorgo e soja, indicando que sua disponibilidade no solo é um fator que afeta o PGS da soja.

A produção relativa e grãos do sorgo e da soja, é mostrada nas Figuras 2a e 2b. Os ganhos no PGS para o sorgo e a soja variou com os níveis de P disponível no solo e coma espécie de fungo micorrízico, porém plantas de sorgo e soja inoculadas com *Glomus etunicatum* mostraram maior ganho no PGS. No sorgo os ganhos máximos foram 21,03, 14,39 e 0,81 g / planta nos níveis e 20,19, 19,85 e 18,34 mg P / kg de solo, respectivamente para *Glomus etunicatum* , *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum* . Na soja para os mesmos fungos os ganhos no PGS foram menores que no sorgo, atingindo ganhos máximos de 10,8 e 6,2 g / planta nos níveis de P de 18,8 e 18,3 mg / kg de solo. A inoculação com *Glomus clarum* não mostrou ganho no PGS.

O efeito do P sobre a eficiência dos fungos micorrízicos, em promover o aumento na produção da matéria seca e grãos tem sido verificado por Miller, Damoto e Walker, (1985), Schubert e Hayman, (1986), Paula e Siqueira (1987) e Saggin-Junior et al (1995). Estes estudos relataram que doses baixas de P aumentaram a micorrização e a eficiência dos fungos micorrízicos em promover aumento na matéria seca, entretanto altas doses, afetaram negativamente a micorrização e a produção de matéria

seca. Os estudos sobre o efeito da colonização micorrízica da soja por *Glomus etunicatum*, mostram que esse fungo é de grande incidência em solos cultivados com soja (Siqueira, Colozzi-Filho e Oliveira, 1989) e possui uma grande efetividade quando a soja é cultivada sob condições sub-ótimas de P no solo (Paula et al., 1988). Verifica-se pelos dados obtidos que a inoculação do sorgo e da soja com fungos micorrízicos, resulta em maior ganho no PMSPA e no PGS. Plantas micorrizadas apresentaram respostas significativas nas doses mais baixas de P, sendo esta resposta crescente com o aumento da dose de P adicionado ao solo. Além disso, a inoculação levou as plantas ao máximo PMSPA e PGS em doses de P mais baixas, quando comparadas com as plantas não inoculadas. Estes resultados foram também obtidos por Paula e Siqueira (1987).

3.2 Peso de nódulos

O peso dos nódulos secos (PNS), mostrou uma resposta significativa ($p \leq 0,05$) às doses de P, à inoculação com fungo micorrízico e à interação doses de P x inoculação (Tabela 1a).

A interação doses de P x inoculação mostrou um efeito quadrático sobre o PNS (Figura 4). A adição de P ao solo aumentou o PNS, independentemente da inoculação com fungo micorrízico. Doses baixas de P mostraram menores valores para o PNS, como também observado por Israel (1987, 1993). No entanto, o PNS aumentou com as doses de P. Em relação ao tratamento sem P, a adição de 200 mg P / kg de solo proporcionou um aumento no PNS em 600, 574, 475 e 441 mg / planta, respectivamente para *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum* e sem inoculação. Isto representa acréscimos de 1478, 1133, 964 e 2450 % respectivamente, e evidencia o sinergismo entre o P e micorriza. Apesar de ter ocorrido uma redução na colonização micorrízica nessa dose de P, como será discutido no item 3.3, levando a uma menor absorção de P pelos fungos micorrízicos, a maior disponibilidade de P no solo pode ter proporcionado um suprimento adequado desse nutriente à soja, reduzindo o efeito de sua menor absorção e aumentando o PNS.

O PMSPA mostrou uma correlação significativa ($r = 0,88^*$) com PNS.

Dentre os fungos micorrízicos, *Glomus etunicatum* proporcionou maior incremento no PNS em todos os níveis de P, seguido de *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*. Para todos os fungos, esse incremento no PNS foi decrescente com o nível de P (Figura 5), indicando efeito inibitório do P sobre a efetividade dos fungos micorrízicos. Entretanto, para *Glomus etunicatum* e *Glomus clarum* o incremento no PNS mostrou uma tendência a estabilização em altos níveis de P.

A formação dos nódulos está relacionada com os teores de P nos tecidos das plantas e por conseguinte favorecida pela inoculação com fungos micorrízicos em condições de deficiência de P (Paula e Siqueira, 1987). Mosse, Powell e Hayman (1976), mostraram que em solos do cerrado brasileiro, deficientes em P, uma eficiente nodulação das leguminosas poderá ser obtida por uma adição suplementar de P ou com a inoculação com fungos micorrízicos. As leguminosas têm mostrado

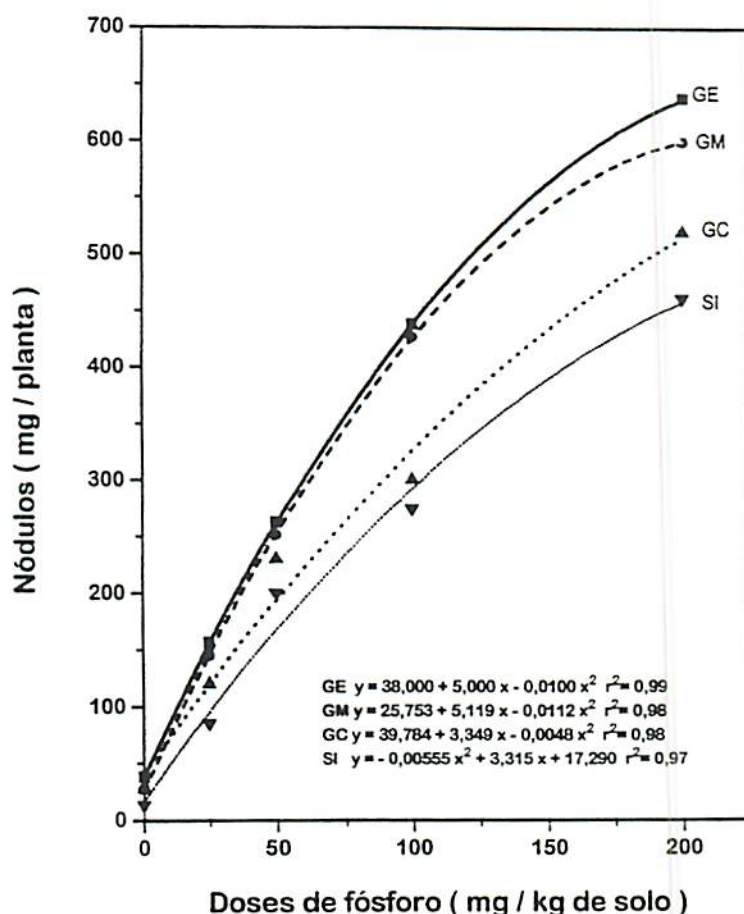


Figura 4 Peso dos nódulos secos das raízes da soja inoculada e não inoculada com fungos micorrízicos em diferentes doses de P. (GE) *Glomus etunicatum*, (GM) *Gigaspora margarida*, (GC) *Glomus clarum* e (SI) sem inoculação. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994.

resposta à inoculação com fungos MA, mesmo em solos fertilizados com P (EL-Adin e Moswad, 1988). Ross (1971), relatou que em determinadas espécies de leguminosas a nodulação sómente ocorre na presença de altas concentrações de P ou com a inoculação de fungos micorrízicos.

Embora os dados obtidos tenham mostrado uma diminuição na colonização das raízes da soja em altas doses de P, para todas as espécies de fungos micorrízicos estudadas, como será discutido em 3.3, a PMSPA aumentou, mostrando uma resposta da soja à adição de P, mesmo em níveis que afetam a eficiência da colonização das raízes pelos fungos micorrízicos. Essa ocorrência pode ser devida ao aumento da nutrição de P, em função da sua maior disponibilidade e uma melhor nodulação e fixação de N (Lynd, Ronald e Purcino, 1985; Waidyanatha, yogarathnam e Aryaratine, 1979).

Os estudos sobre a interação fungos micorrízicos - *Rhizobium* indicam que a inoculação com fungos micorrízicos eficientes, aumenta a nodulação e a fixação de nitrogênio. Além disso, a absorção

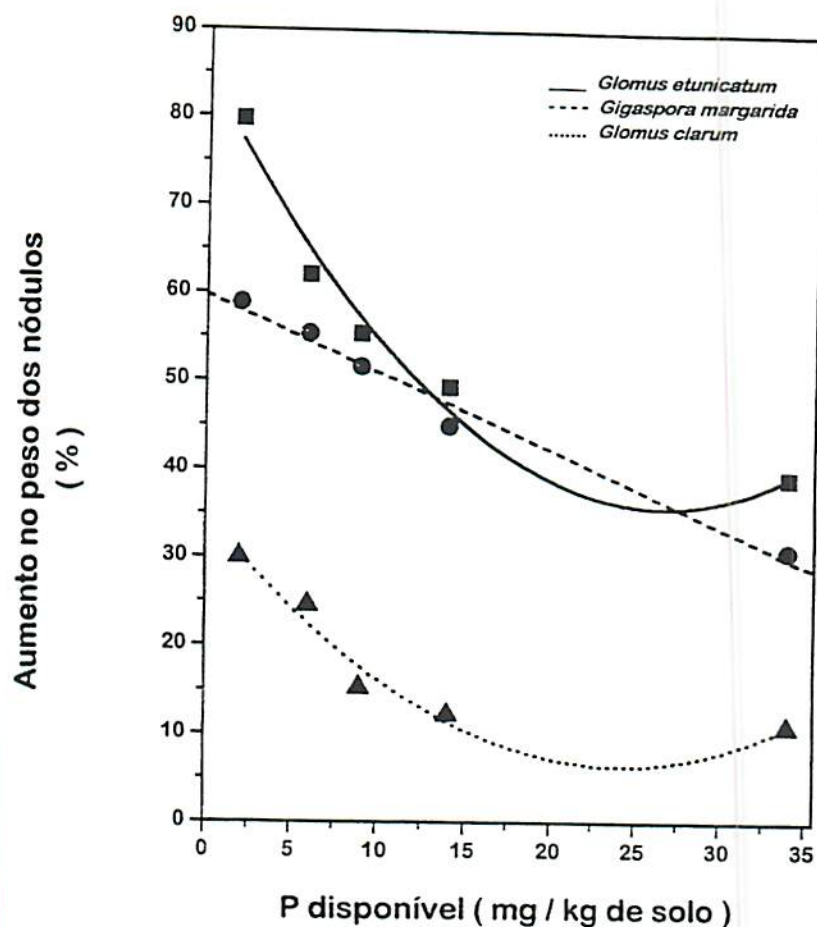


Figura 5 Aumento no peso dos nódulos secos da soja inoculada com fungos micorrízicos, em relação a soja não inoculada, em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994.

de micronutrientes, como o Cu, também contribui de modo significativo para a fixação do nitrogênio (Ross e Harper, 1970),

Considerando que tanto a adição de P ao solo, quanto a micorrização afetaram a nodulação, tornam-se evidentes os efeitos benéficos do P na simbiose soja - *Rhizobium* - fungo micorrízico, e sua relação com a produção de matéria seca e nutrição da soja em solos deficientes em P, como os sob cerrado.

3.3 Colonização das raízes

O efeito do P sobre a colonização micorrízica do sorgo e da soja é mostrado na Figura 6. O seu efeito sobre a colonização variou com a espécie de fungo micorrízico. No sorgo e na soja os maiores

valores para a colonização foram verificados em *Glomus etunicatum*, seguido da *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*. A adição de P ao solo influenciou a eficiência desses fungos em colonizar as raízes

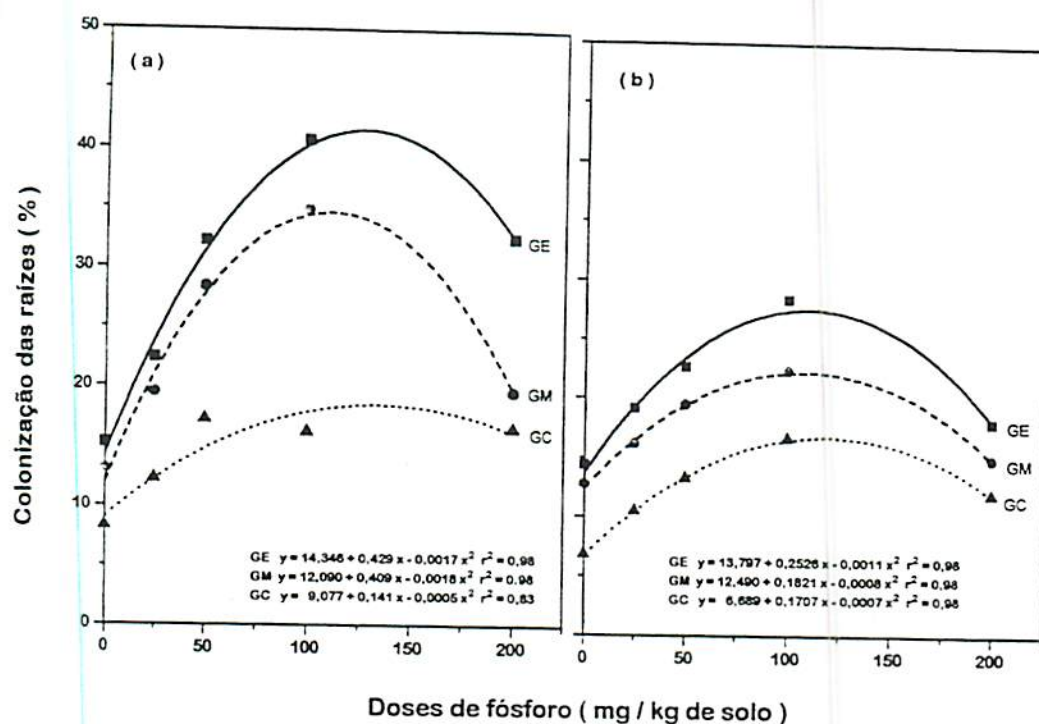


Figura 6 Efeitos das doses de fósforo sobre a colonização das raízes, do sorgo (a) e da soja (b), por fungos micorrízicos. (GE) *Glomus etunicatum*; (GM) *Gigaspora margarida*; (GC) *Glomus clarum*. CNPMS - Sete Lagoas, (MG). 1994.

dessas plantas. Nessas espécies, baixas doses de P estimularam a colonização micorrízica. Estudos de Abbott, Robson e De Boer, (1984) e Miranda, Harris e Wild, (1989) relataram que condições de baixa disponibilidade de P, favoreceram a micorrização e a planta obtém o máximo benefício da simbiose. Entretanto altas doses tiveram um efeito inibitório sobre a colonização (Figura 6a e 6b), como também verificado por Siqueira e Colozzi - Filho (1986) e Thomas et al., (1986).

No sorgo, o maior valor para a colonização, 44,42%, foi obtido com *Glomus etunicatum* na dose de 126 mg P / kg de solo, enquanto para *Gigaspora margarida* o maior valor ocorreu na dose de 113 mg P / kg de solo, seguido de *Glomus clarum* com 18,01 % na dose de 141 mg P / kg de solo. Doses de P acima desses valores máximos reduziram a colonização micorrízica do sorgo devido ao efeito inibitório do P sobre os fungos micorrízicos. Comparando-se os valores obtidos para a colonização micorrízica na dose mais alta de P aplicada ao solo, 200 mg P / kg de solo, com os valores máximos obtidos, verificam-se que houve uma redução de 28,87, 69,10 e 35,71 % na colonização micorrízica para *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*. Apesar do *Glomus clarum* ter apresentado os menores valores para a colonização, a variação de seus valores em função das doses de P mostrou-

se mais baixa que nas obtidas para os outros fungos micorrízicos, indicando que o P afetou pouco a sua infectividade no sorgo.

Na soja, como também verificado para o sorgo, a maior colonização micorrízica foi obtida com a inoculação de *Glomus etunicatum*, seguido da *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*, cujos valores máximo obtidos foram 28,26, 22,85 e 17,10 % correspondendo as doses de 121, 113 e 121 mg P / kg de solo. Doses de P acima desses valores reduziram a colonização micorrízica ocorrendo um decréscimo de 39,14, 35,12 e 33,34 % respectivamente para *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*. Os valores para a colonização micorrízica da soja verificados em diferentes estudos têm mostrado uma ampla faixa de variação. Para *Gigaspora margarida* esses valores têm variado de 62 à 87% (Kalil, Laynathan e Tabatabai, 1994), enquanto para *Glomus clarum* esses valores variaram de 3 à 59 % (Simpson e Daft, 1990) mostrando uma maior micorrização da *Gigaspora margarida* ,para

a soja, em relação a *Glomus clarum*, como também verificado pelos dados obtidos neste trabalho. No entanto a colonização mostrou comportamento distinto entre as espécies de fungos micorrízicos. Sem aplicação de P não houve diferença significativa na colonização entre *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarida* . O PMSPA do sorgo mostrou uma correlação positiva com a colonização micorrízica ($r = 0,91^*$). Entretanto, na soja essa correlação não foi significativa, mas verificou-se que o aumento na colonização resultam em maior PMSPA.

Os estudos sobre a colonização micorrízica têm mostrado sua correlação positiva com o peso da matéria seca das plantas (Abbott e Robson, 1981; Plenchette, Furlan e Fortin 1983; Medina, Sylvia e Kretschmer, 1988). Esses estudos mostraram que a diferença entre as eficiências dos fungos micorrízicos em promoverem o desenvolvimento das plantas pode ser avaliada com base na porcentagem de colonização das raízes. Contudo, Abbott e Robson, (1981), relataram que embora as diferentes espécies de fungos micorrízicos possam diferir na porcentagem de colonização e promoverem diferentemente o desenvolvimento das plantas, uma avaliação dessa colonização no final do ciclo da cultura pode apresentar valores semelhantes para as diferentes espécies de fungos micorrízicos, mesmo que as plantas tenham apresentado diferenças no seu desenvolvimento.

O PGS do sorgo e da soja também mostraram uma correlação positiva com a colonização micorrízica. Os valores obtidos foram $r = 0,84^*$ e $r = 0,77^*$, respectivamente para o sorgo e a soja . Isto indica que, quanto maior a colonização micorrízica maior é o PGS, como também verificado por Paula, Siqueira e Hoshika (1990).

3.4 Concentração de nutrientes

A concentração de nutrientes no sorgo e na soja mostraram uma resposta significativa aos níveis de P, à inoculação com fungos micorrízicos e a interação P x inoculação (Tabela 1a). A concentração de nutrientes no sorgo e na soja são mostrados nas Tabelas 2 e 3. A análise de regressão

para doses de P mostraram que para todos os nutrientes determinados encontrou-se efeito quadrático (Tabela 4).

A inoculação com fungos micorrízicos aumentou a concentração de N, P, K, Zn e Cu no sorgo e na soja em relação ao tratamento sem inoculação. Por outro lado, a concentração de Ca, Mg e Mn, foram maiores nos tratamentos sem inoculação (Tabelas 2 e 3), devido a uma menor absorção pelos fungos micorrízicos estudados ou por um efeito de diluição. A concentração de nutrientes nas folhas variou com a sua espécie de fungo micorrízico. Dentre as espécies estudadas, *Glomus etunicatum* apresentou uma maior eficiência na absorção dos nutrientes em todos os níveis de P. Os fungos micorrízicos têm uma maior importância na absorção de nutrientes de baixa difusão no solo como o P, Cu e Zn (Marschner e Dell, 1994). Verifica-se pelos dados obtidos (Tabelas 2 e 3) que a concentração desses nutrientes, no sorgo e na soja, também foi maior com a inoculação com fungo micorrízico. Geralmente o maior efeito da inoculação com fungos micorrízicos está relacionado ao aumento na absorção de P (Koide 1991). Os fungos micorrízicos têm acesso a formas de P solúveis que também estão disponíveis as plantas não inoculadas (Bolan, 1991), como também podem mobilizar P do solo através da mineralização do P orgânico (Jayachandran, Schwab e Hetrick, 1992).

A maior concentração de P nos tecidos foliares e o maior crescimento das plantas inoculadas com *Glomus etunicatum*, pode ser resultado de um micélio externo mais efetivo, capaz de explorar de modo mais eficiente o P do solo transferindo-o para a planta (Koide, 1991). Além disso, as plantas de sorgo e soja inoculadas com esse fungo apresentaram teores de P superiores aos demais fungos micorrízicos, mesmo na dose mais alta de P. Isso indica maior tolerância dessa simbiose a doses mais elevadas de P, tanto no sorgo como na soja, seguida da *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum* (Tabelas 2 e 3)

A concentração de N tem sido mais estudado em relação às plantas leguminosas, porém a sua concentração tem sido relacionada a uma melhoria na nutrição da planta em relação ao P devido ao aumento na nodulação, fixação de N e crescimento da planta (Robson, O'Hara e Abbott, 1981). Entretanto, a aquisição de N pelas hifas micorrízicas tem sido demonstrada por (Ames et al, 1983; Azcon e Barea, 1992). No sorgo e na soja a inoculação com fungos micorrízicos aumentou o teor de N nas folhas em relação ao tratamento sem inoculação. Em solos de cerrado, Paula e Siqueira, (1987), verificaram que a inoculação com *Glomus macrocarpum* dobrou a quantidade de N acumulada na soja.

Em relação a absorção dos nutrientes K, Ca, Mg, Zn, Cu e Mn, pouco é conhecido sobre a função dos fungos micorrízicos. Os estudos da inoculação com fungos micorrízicos, em relação aos teores de K na parte aérea da planta têm mostrado resultados inconsistentes e de difícil interpretação (Sieverding e Toro, 1988). A maioria desses experimentos foi efetuada em solos suficientes em P com a finalidade de demonstrar a função dos fungos micorrízicos na absorção do P. Na soja, a inoculação com diferentes isolados de *Glomus mosseae*, tem mostrado que o seu maior crescimento está mais relacionado ao maior teor de K nessas plantas que ao efeito do P (Bethlenfalvay et al., 1989). A absorção de Ca pelos fungos micorrízicos foi demonstrada por Rhodes e Gerdeman, (1978). Comparada com o P, a assimilação e transporte de Ca pelas hifas é relativamente baixa., o que pode

explicar a redução desse nutriente no sorgo e soja inoculados, além do efeito de diluição. White e Brown (1979) sugeriram que grânulos de polifosfatos podem ser o meio de transporte de Ca pelas hifas micorrízicas. Contudo devido a necessidade de se manter uma baixa concentração citosólica em Ca ,nas hifas, ocorre uma baixa absorção de Ca .

Os resultados obtidos para o sorgo e a soja, inoculados com fungos micorrízicos, também mostraram um aumento nas concentrações de Zn e Cu nas plantas O aumento de Zn nas plantas inoculadas tem variado entre 16 a 25% (Khotari, Marschner e Romheld, 1991) e de Cu entre 52 à 62 % (Li, George e Marschner, 1991). Além disso o aumento das doses de P no solo aumentou a concentração desses nutrientes, como também relatado por Marschner e Dell (1994).

A concentração de Mn nas folhas do sorgo e da soja foi menor nas plantas. Geralmente plantas inoculadas apresentam menores teores desse nutriente (Bethlenfalvay e Franson, 1989). Esses menores teores podem estar relacionados ao efeito dos fungos micorrízicos, sobre os microorganismos da rizosfera, principalmente sobre os redutores do Mn, como relatado por (Khotari, Marschner e Romheld, 1991). Verifica-se que a inoculação com fungos micorrízicos aumenta o PMSPA, o PGS e os teores dos nutrientes N, P, K, Cu e Zn nas folhas. Dentre as espécies estudadas *Glomus etunicatum* apresentou maior eficiência simbiótica em relação a *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*. Essas espécies de fungos micorrízicos também influenciam o requerimento de P pelas plantas, reduzindo a quantidade de P aplicada ao solo para se obter uma maior produção, fator este de muita importância em solos de baixa fertilidade , como os solos sob vegetação de cerrado.

TABELA 2 Concentração de nutrientes nas folhas das plantas de sorgo inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos em diferentes doses de P. Sete Lagoas, (MG), 1994*

Doses de P (mg / kg de solo)	Inoculação	N (dag / kg)	P (dag / kg)	K (dag / kg)	Ca (dag / kg)	Mg (dag / kg)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)
0	<i>Glomus etunicatum</i>	1,98A	0,092A	0,68A	0,20B	0,12B	31,24 A	12,23 A	32,50 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	1,72B	0,085B	0,52B	0,19B	0,10C	28,14 A	9,12 B	26,34 C
	<i>Glomus clarum</i>	1,02C	0,038C	0,38C	0,11B	0,03D	19,12 AB	6,58 C	14,39 D
	Sem inoculação	0,98C	0,030D	0,29D	0,46A	0,16A	14,20 B	3,21 D	39,23 A
25	<i>Glomus etunicatum</i>	2,22A	0,124A	0,87A	0,41B	0,14B	49,21 A	26,45 A	72,13 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	1,98B	0,095B	0,69B	0,38B	0,10C	35,42 B	19,96 B	60,42 C
	<i>Glomus clarum</i>	1,34C	0,051C	0,46C	0,31B	0,05D	24,16 BC	12,25 C	53,71 D
	Sem inoculação	0,98D	0,042D	0,33D	0,67A	0,18A	19,21C	8,23 D	89,31 A
50	<i>Glomus etunicatum</i>	2,58A	0,152A	1,12A	0,58B	0,18B	60,23 A	32,54 A	101,69 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	2,12B	0,123B	0,96B	0,50B	0,15C	46,35 B	24,13 B	88,40 C
	<i>Glomus clarum</i>	1,68C	0,086C	0,52C	0,40B	0,12D	32,12C	16,58 C	71,12 D
	Sem inoculação	1,52D	0,075D	0,41D	0,84A	0,24A	26,14C	14,23 D	115,54 A
100	<i>Glomus etunicatum</i>	2,96A	0,201A	1,68A	0,69B	0,26B	66,25A	36,49 A	121,35 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	2,34B	0,186B	1,23B	0,62B	0,20C	52,23 B	27,21 B	104,23 C
	<i>Glomus clarum</i>	1,97C	0,103C	0,74C	0,51B	0,15D	35,12 C	18,25 C	80,29 D
	Sem inoculação	1,87D	0,095C	0,65D	0,99A	0,34A	28,26 C	16,29 D	139,36 A
200	<i>Glomus etunicatum</i>	2,54A	0,195A	1,52A	0,56B	0,19B	57,56 A	34,85 A	110,12 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	2,12B	0,167B	1,12B	0,51B	0,11C	54,29 A	23,54 B	92,63 C
	<i>Glomus clarum</i>	1,54D	0,094D	0,59D	0,40B	0,07D	28,53 B	17,39 C	72,19 D
	Sem inoculação	1,98C	0,136C	1,18C	1,11A	0,39A	31,24 B	17,02 C	146,25 A

* Dentro de cada nível de P, médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente (p<0,05) pelo teste de Duncan.

TABELA 3 Concentração de nutrientes nas folhas das plantas da soja inoculadas e não inoculadas com fungos micorrízicos em diferentes doses de P. Sete Lagoas, (MG), 1994.*

Doses de P (mg / kg de solo)	Inoculação	N (dag / kg)	P (dag / kg)	K (dag / kg)	Ca (dag / kg)	Mg (dag / kg)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)
0	<i>Glomus etunicatum</i>	1,90 A	0,070 A	0,46 A	0,15 B	0,09 B	28.13 A	9.65 A	27.08 AB
	<i>Gigaspora margarida</i>	1,58 B	0,052 B	0,32 B	0,10 C	0,05 C	22.08 B	7.12 B	20.35 ABC
	<i>Glomus clarum</i>	1,26 C	0,030 C	0,20 C	0,06 D	0,01 D	14.11 C	4.85 C	11.11 BC
	Sem inoculação	1,10 D	0,011 D	0,12 D	0,18 A	0,13 A	10.13 D	2.36 D	34.12 A
25	<i>Glomus etunicatum</i>	2,90 A	0,082 A	0,74 A	0,29 B	0,12 B	41.12 A	22.96 A	50.47 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	2,61 B	0,065 B	0,60 B	0,18 C	0,09 C	30.34 B	12.41 B	30.18 C
	<i>Glomus clarum</i>	2,04 C	0,048 C	0,36 C	0,10 D	0,04 D	18.15 C	8.12 C	20.45 D
	Sem inoculação	1,92 D	0,029 D	0,19 D	0,42 A	0,16 A	13.36 D	4.25 D	69,13 A
50	<i>Glomus etunicatum</i>	3,44 A	0,110 A	0,95 A	0,45 B	0,15 B	52.51 A	29.75 A	68,47 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	3,10 B	0,090 B	0,80 B	0,39 C	0,11 C	40.18 B	18.36 B	50.18 C
	<i>Glomus clarum</i>	2,45 C	0,069 C	0,51 C	0,27 D	0,06 D	24.01 C	12.29 C	41.76 C
	Sem inoculação	2,08 D	0,042 D	0,43 D	0,70 A	0,20 A	19.17 D	9.53 D	81.15 A
100	<i>Glomus etunicatum</i>	3,94 A	0,192 A	1,30 A	0,61 B	0,19 B	59.85 A	32.54 A	90.28 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	3,36 B	0,144 B	1,12 B	0,52 C	0,15 C	43.12 B	23.09 B	70.72 C
	<i>Glomus clarum</i>	2,81 C	0,102 C	0,89 C	0,36 D	0,09 D	26.31 C	15.63 C	51.39 D
	Sem inoculação	2,40 D	0,096 D	0,72 D	0,84 A	0,27 A	24.16 D	12.36 D	119.41 A
200	<i>Glomus etunicatum</i>	3,70 A	0,180 A	1,20 A	0,50 B	0,16 B	52.30 A	29.12 A	79.48 B
	<i>Gigaspora margarida</i>	3,21 B	0,122 B	0,96 B	0,32 C	0,10 C	37.28 B	19.58 B	62.93 C
	<i>Glomus clarum</i>	2,35 D	0,094 D	0,74 D	0,21 D	0,04 D	19.14 D	11.46 D	44.71 D
	Sem inoculação	2,51 C	0,112 C	0,90 C	0,74 A	0,24 A	25.31 C	15.30 C	123.18 A

* Dentro de cada nível de P, médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

Os efeitos dos fungos micorrízicos sobre a concentração de nutrientes nas folhas do sorgo e da soja podem resultar da ação direta do fungo sobre os mecanismos de absorção, de efeitos secundários resultantes das interações e da diluição ou concentração desses nutrientes em plantas com peso de matéria seca diferentes, como relatado por (Abbott e Robson, 1984). Além disso, em condições ótimas de P a colonização é inibida e o maior suprimento de P pode alterar a absorção, translocação e assimilação dos nutrientes.

TABELA 4. Resumo das análises de regressão para a concentração foliar de nutrientes no sorgo e na soja em função das doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1994.

Nutriente	Inoculação *	Sorgo		Soja	
		Regressão		Regressão	
		Modelo	r^2	Modelo **	r^2
N	+	Q	0.99	Q	0.98
	-	Q	0.96	Q	0.96
P	+	Q	0.99	Q	0.97
	-	Q	0.99	Q	0.98
K	+	Q	0.99	Q	0.99
	-	Q	0.99	Q	0.98
Ca	+	Q	0.99	Q	0.97
	-	Q	0.99	Q	0.98
Mg	+	Q	0.95	Q	0.98
	-	Q	0.98	Q	0.96
Zn	+	Q	0.98	Q	0.98
	-	Q	0.98	Q	0.98
Cu	+	Q	0.96	Q	0.99
	-	Q	0.98	Q	0.97
Mn	+	Q	0.98	Q	0.98
	-	Q	0.98	Q	0.98

(*) (+) inoculado com fungo micorrízico, (-) não inoculado.

(**) Q = quadrático

Pelos resultados obtidos verifica-se que a inoculação com fungos micorrízicos aumenta o PMSPA, PGS, PNS e a concentração de N, P, K, Cu e Zn no sorgo e na soja. Entretanto, a eficiência simbiótica foi influenciada pelas doses de P adicionadas ao solo. Dentre as espécies micorrízicas *Glomus etunicatum* apresentou maior eficiência simbiótica que *Gigaspora margarida* e *Glomus clarum*. Além disso, a micorrização alterou a relação PMSPA entre o sorgo e a soja e aumentou o ganho no PMSPA e PGS do sorgo e da soja, sendo esses parâmetros influenciados pelos níveis de P disponível no solo.

4. CAPÍTULO 2

INTERAÇÃO FÓSFORO, NITROGÊNIO E MICORRIZA NO CRESCIMENTO DO SORGO GRANÍFERO (*Sorgo bicolor* (L.) Moench) E DA SOJA (*Glycine max* L.) EM MONOCULTIVO E CONSORCIADOS..

1. Introdução

A consorciação de gramíneas com leguminosa tem sido utilizada na produção de silagem para aumentar a produtividade e o valor nutricional, principalmente de proteínas.(Herbert et al., 1984). Vários aspectos desta consorciação, como a competição entre as culturas (Agboola e Fayemi, 1972; Ofori, Pate e Stern, 1987), a interação biológica *Rhizobium* - fungo micorrízico (Willey, 1979; Francis, Finlay e Read,1986) e outros já foram estudados. Em estudos comparativos, ao monocultivo, as gramíneas, como o milho e o sorgo não apresentaram redução de produção quando consorciadas com as leguminosas (Osiru e Willey, 1972; Satyanarayama e Reddi, 1979; Singh, 1981). Entretanto à competição da gramínea, verifica-se uma redução na produção de grãos da leguminosa (Desir e Pinchinat, 1976; Santa Cecília e Vieira, 1978; Cruz, Ramalho e Salles, 1987). A redução na produção da leguminosa quando consorciada com a gramínea tem sido relacionada à competição por luz (Wahua e Miller, 1978) e por nutrientes como o N (Vallis,1972; Simpson, 1976), o P e o K (Jackman e Mouat, 1972; Robson e Loneragan, 1978), enquanto o aumento na produção da gramínea é atribuído ao N exsudado pela leguminosa (Vallis et al., 1967; Eagleasham et al., 1981; Ledgard, 1991), oriundo da fixação biológica do N atmosférico. Sendo a substituição do milho pelo sorgo, na consorciação com o feijão, mais vantajosa em regiões com "deficit" hídrico (Faris et al., 1983; Brasil e Bouty, 1980).

A rápida absorção do N, disponível no solo, pela gramínea diminui sua disponibilidade para a leguminosa (Ledgard e Steele, 1992), tornando-se fator positivo para a leguminosa, pois isto favorece a nodulação e a fixação biológica do N (Ledgard, Brier e Littler, 1987; Ofori e Stern, 1987). Ofori e Stern (1987), verificaram que a produção da gramínea aumentou progressivamente com a aplicação de N enquanto a produção de grãos da leguminosa foi reduzida. Resultados semelhantes foram obtidos por Fujita, Ofosu-Budu e Ogata (1992). Esses estudos indicam que, a alta disponibilidade de N no solo aumenta em 25 % a produção do sorgo, enquanto reduz a produção da soja. Além disso, a vantagem das gramíneas na absorção do N está relacionada ao seu sistema radicular que é mais desenvolvido,

proporcionando uma maior absorção dos nutrientes disponíveis. A capacidade da leguminosa de fixar o N, torna -a menos dependente desse nutriente no solo (Trenbath, 1976).

O aumento na absorção do P, Cu, Zn e K, pelas micorrizas reduz a competição entre plantas consorciadas. Além disso, as hifas micorrízicas participam da transferência de N da leguminosa para a gramínea (Heap e Newman, 1980; Francis, Finlay e Read, 1986; Newman et al, 1994) e na transferência de P (Whitingham e Read, 1982, Newman e Ritz, 1986). Na leguminosa, o aumento na absorção de Zn, Mo e Cu aumenta a fixação biológica do N (Bowen 1980).

A disponibilidade de P também pode afetar o consórcio gramínea - leguminosa. Kaushik e Gautam, (1987), obtiveram maior produção de grãos, no milho, com a adição de P ao solo. Por outro lado, o P afeta a colonização das raízes por fungos micorrízicos.

O objetivo deste experimento foi avaliar os efeitos da aplicação de N em cobertura e da inoculação com fungo micorrízico sobre o crescimento das plantas de sorgo e soja em monocultivo e consorciadas, em solo adubado com doses crescentes de P.

2 Materiais e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação utilizando-se um delineamento completamente casualizado, em fatorial ($2 \times 5 \times 2 \times 2$), sendo 2 sistemas de cultivo (consórcio e monocultivo), 5 doses de fósforo (0, 25, 50, 100 e 200 mg de P / Kg de solo), 2 tratamentos de inoculação (inoculado ou não com fungo micorrízico arbuscular) e 2 tratamentos de nitrogênio (aplicação ou não de nitrogênio em cobertura) e 3 repetições por tratamento. Empregou-se material de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, arualmente sob vegetação de cerrado, coletado em área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo / EMBRAPA, em Sete Lagoas, MG, apresentando as seguintes características: pH em água (1: 25) = 5,1; $H + Al$ ($\text{cmol}_c / \text{dm}^3$) = 7,92; Al ($\text{cmol}_c / \text{dm}^3$) = 0,80; Ca ($\text{cmol}_c / \text{dm}^3$) = 1,70 e Mg ($\text{cmol}_c / \text{dm}^3$) = 0,33 extraídos com KCl 1 mol / l e determinados por espectrometria de absorção atômica; K (mg / dm^3) = 43 e P (mg / dm^3) = 4 extraídos por Mehlich I e determinados por fotometria de chama e colorimetria respectivamente; MO (g / kg) = 43,1; saturação de Al (%) = 27.

O material de solo foi peneirado em peneira de malha 2 mm e desinfestado com Bromex (brometo de metila 98% + cloropicrina 2%), na dosagem de $100 \text{ cm}^3 / \text{m}^3$ de solo. Efetuou-se a calagem com calcário dolomítico Supermil (PRNT = 92 %) para um pH final de 6.0. Após vinte dias de incubação, o solo foi colocado em vasos plásticos de 16 kg e realizada a adubação de plantio, misturando-se em cada vaso os fertilizantes nitrato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio, e FTE Br12 respectivamente como fontes de nitrogênio (63 mg / kg solo), fósforo (25, 50, 100 e 200 mg / kg de solo), potássio (300 mg / kg solo) e micronutrientes. O FTE Br 12 foi aplicado na quantidade de 0,05 g / kg de solo. Após a adição de P, o solo, apresentou 2,0, 6,0, 9,0, 14,0 e 34,0 mg / kg de P disponível extraído por

Mehlich I. O Nitrogênio em cobertura foi aplicado 5, 10, 15 e 20 dias após o desbaste, na concentração de 2,88 g de NH_4NO_3 / litro / vaso com 16 kg de solo.

Utilizou-se as cultivares BR 304 (ciclo médio) e Garimpo (ciclo precoce) para o sorgo granífero e soja, respectivamente.

O plantio foi efetuado utilizando-se cinco sementes de sorgo e cinco sementes de soja por vaso. O desbaste foi efetuado quinze dias após a emergência, deixando-se uma planta de sorgo granífero e um planta de soja em cada vaso.

A inoculação com fungo micorrízico *Glomus etunicatum* Becker e Gerdemann (1977), foi efetuada colocando-se no solo, a uma profundidade de aproximadamente 5 cm, 10 ml de inóculo cuja densidade foi de 61 esporos / ml . O inóculo foi proveniente da sua cultura em casa de vegetação, no CNPMS, Sete Lagoas, (MG), utilizando-se *Brachiaria Brizantha*, CPAC 3409, como planta hospedeira. Os tratamentos sem inoculação com fungo micorrízico receberam 30 ml de um filtrado do inóculo proveniente do solo utilizado no cultivo de manutenção do fungo micorrízico. As sementes da soja receberam inóculo de *Bradyrhizobium japonicum*, inóculo a base de turfa, fornecido pelo CNPAB, EMBRAPA, e aplicado 4 g de inóculo / g de semente, seguindo-se a recomendação oficial.

A irrigação dos vasos foi efetuada em função da necessidade, baseando-se no peso dos vasos, mantendo-se 60% do volume total de poros preenchidos com água. As condições na Casa de vegetação foram : temperatura máxima 30 ° C, temperatura mínima 18 °C e luminosidade média de 595 $\mu\text{einstein}/\text{m}^2/\text{seg}$.

O experimento foi conduzido por 103 dias quando o sorgo apresentou o estágio de grão pastoso para a produção de silagem. Na colheita, as plantas foram separadas em parte aérea e raízes. Da parte aérea do sorgo retiraram-se as panículas para a avaliação da produção de grãos e da soja retiraram-se as vagens.

Os pesos da matéria seca da parte aérea, dos grãos e dos nódulos secos foram obtidos pela secagem dessas partes em estufa a 75 °C até peso constante. O Índice de colheita, foi calculado pela equação : peso dos grãos secos / peso da matéria seca da parte aérea.

O extrato foliar para a determinação de N foi obtido por digestão sulfúrica com KCl e selenio como catalizador para o N (Sarruge e Haag, 1974) e digestão nitro - perclórica para P, K, Mg, Zn, Cu, e Mn (Sarruge e Haag, 1974) . As concentrações de N foram obtidas pelo método de Kjeldahl e P, K, Ca, Mg, Zn, Cu e Mn por espectrometria de emissão de plasma. A relação P / N nas folhas do sorgo e da soja foi determinada pelo quociente do teor desses nutrientes. A concentração de proteína bruta nos grãos do sorgo e da soja foi determinada multiplicando-se a concentração de N total pelo fator 6,25.

As raízes do sorgo e da soja foram amostradas para a determinação da porcentagem de colonização por *Glomus etunicatum*. As raízes foram clarificadas e coloridas com azul de tripano segundo Phillips e Hayman (1970) e a porcentagem de colonização foi estimada pelo método da interseção segundo Giovanetti e Mosse (1980).

A produção de esporos foi avaliada tomando-se três amostras de 100 g de solo de cada tratamento. Os esporos foram recuperados do solo pelo método de peneiragem úmida (Gerdeman e Nicolson, 1963) e centrifugação a 2497 g em água por três minutos e sacarose 50% por 2 minutos. Os esporos foram contados sob microscópio estereoscópico e expressos em números de esporos / 100 gramas de solo.

Os dados obtidos foram analisados pelo programa MSTAT-C (1989). Os dados referentes à porcentagem de colonização das raízes foram transformados em arco seno antes de serem analisados estatisticamente.

3 Resultados e Discussão

Os dados referentes as análises de variâncias do peso seco da matéria seca e dos grãos do sorgo granífero e da soja, do peso dos nódulos secos da soja e da colonização das raízes por *Glomus etunicatum* e a produção de esporos são mostrados na Tabela 1.

3.1 Peso da matéria seca da parte aérea

3.1.1 Sorgo

Os efeitos dos tratamentos sobre os diversos parâmetros avaliados encontram-se na Tabela 1. A produção de matéria seca da parte aérea em função das doses de P, aplicação de N, inoculação com *Glomus etunicatum* e sistema de cultivo encontram-se na Figura 1. Tanto no monocultivo quanto no consórcio, verificaram-se acentuadas respostas à adição de P (Figura 1). O PMSPA foi favorecido pela inoculação e pela aplicação de N, sendo estes efeitos dependentes das doses de P e do sistema de cultivo. Os valores máximos obtidos para o peso da matéria seca da parte aérea, PMSPA, nos diferentes tratamentos variaram com as doses de P. No monocultivo os valores máximos do PMSPA foram obtidas com as doses 150, 167, 180 e 168 mg de P / kg de solo, obtendo-se PMSPA de 60,5, 53,8, 60,0 e 47,3 g / planta, respectivamente para sorgo inoculado e com N, sorgo inoculado sem N, não inoculado e com N e não inoculado sem N. Plantas não inoculadas e com N produziram menos PMSPA até a dose 175 mg P / kg de solo superando as micorrizadas a partir desta dose de P. No monocultivo plantas com apenas micorriza somente superaram as com N em doses de P menores que 90 mg P / kg de solo. No consórcio as doses foram 153, 146, 176 e 175 mg P / kg de solo, resultando em 72,1, 59,6, 54,2 e 47,4 g / planta de PMSPA, para os mesmos tratamentos do monocultivo. No consórcio, as plantas com micorriza foram superiores às com apenas N até a dose 173 mg P / kg de solo.

Tabela 1. Resumo das análises de Variâncias (Quadrado médio, nível de significância e coeficiente de variação) do peso da matéria seca da parte aérea e dos grãos do sorgo e da soja, colonização com *Glomus etunicatum* e aplicação de N em cobertura.

Fontes de variação		Sorgo										Soja									
		parte aérea					parte aérea					parte aérea					parte aérea				
		Peso da matéria seca	Peso dos grãos	Peso dos nódulos	Colonização das raízes	Produção de espores	Peso da matéria seca	Peso dos grãos	Peso dos nódulos	Colonização das raízes	Produção de espores	Peso da matéria seca	Peso dos grãos	Peso dos nódulos	Colonização das raízes	Produção de espores	Peso da matéria seca	Peso dos grãos	Peso dos nódulos	Colonização das raízes	Produção de espores
Sistema de cultivo (C)		391,05*	228,57*	1109,40*	2340,30**	86,30*	0,05*	61,30*	10773,60**	6011,10**	259,66**	741,52**	68006,66**	ns	0,05*	0,31*	5,24**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
Fósforo (P)		10836,47**	6727,74**	584,53**	6396,22**	5201,46**	2266,87**	618,12**	0,93**	0,31*	5,24**	741,52**	68006,66**	ns	0,05*	0,31*	5,24**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
Inoculação (I)		2414,76**	1554,40**	ns	1059,15**	69905,06**	ns	221,16**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
Nitrogênio (N)		1495,70**	85,43*	ns	1059,15**	69905,06**	ns	221,16**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
C x P		283,10**	85,43*	ns	1059,15**	69905,06**	ns	221,16**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
C x I		2,96*	ns	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
C x N		25,28**	ns	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
P x I		233,35**	137,93**	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
P x N		129,94**	ns	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
I x N		50,75**	ns	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
C x P x I		ns	131,03*	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
C x P x N		17,90**	ns	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
C x I x N		30,25**	ns	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
P x I x N		29,75**	96,79*	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
C x P x I x N		10,58**	ns	ns	ns	ns	ns	221,08**	521,08**	ns	271,88**	161,93*	146,94**	ns	0,14**	1,06**	0,93**	0,93**	0,93**	1,06**	145,03**
Resíduo		52,30	38,43	23,85	268,95	16,98	6,58	0,01	30,40	22,40	12,88	145,48	10,56	0,04**	0,14**	0,31**	0,03*	0,04**	0,04**	0,04**	0,04**
CV %		12,73	25,87	20,74	13,29	37,86	29,01	30,40	22,40	12,88	145,48	10,56	0,04**	0,14**	0,31**	0,03*	0,04**	0,04**	0,04**	0,04**	0,04**

*, ** Significativo pelo teste de F a níveis de 1%, 5%.

----- Não se aplica

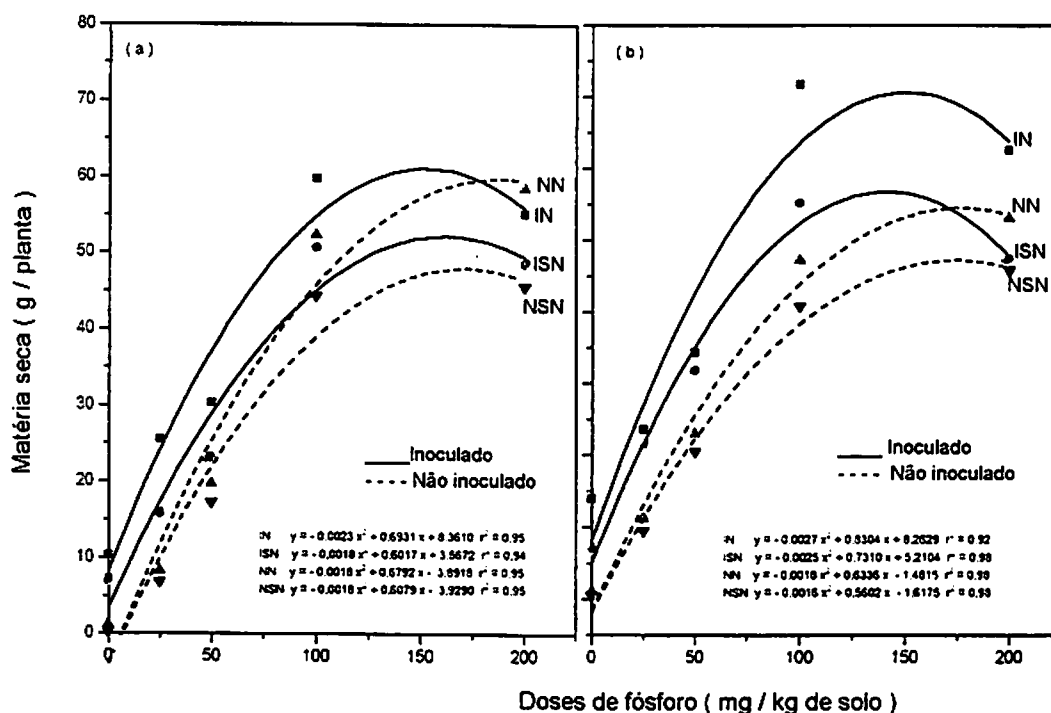


Figura 1 Peso da matéria seca da parte aérea do sorgo, em monocultivo (a) e consorciado (b) em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N. (IN) Inoculado + N, (ISN) Inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N, (NSN) Não inoculado sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG).1995.

O consórcio aumentou o PMSPA do sorgo, nas plantas micorrizadas, em 19,1 e 10,7 % respectivamente para as plantas com e sem N, nas doses de P que resultaram em máximo PMSPA. A aplicação de N aumentou o PMSPA do sorgo em monocultivo e consorciado. No monocultivo, no sorgo inoculado e não inoculado, nas doses de P que resultaram maior PMSPA, os aumentos devido ao N foram respectivamente 12,5 e 26,6 %, enquanto no consórcio 20,9 e 14,4 % para os mesmos tratamentos. A contribuição da inoculação com fungo micorrízico para o PMSPA do sorgo, considerando as doses de P que resultaram maior PMSPA, foi no monocultivo 13,5 % no tratamento sem N. No consórcio, os aumentos devido a inoculação foram 32,8 e 25,79% para o sorgo com e sem N.

A inoculação e a aplicação de N garantiram a produção máxima do PMSPA, sendo 5,2 % maior no consórcio que em monocultivo, considerando as produções máximas dos tratamentos inoculação e aplicação de N. Na dose de P onde o PMSPA foi máximo, plantas controle produziram apenas 27,9 e 52,1 % desta, respectivamente para o monocultivo e consórcio. Portanto, a micorriza e adição de N, maximizaram a resposta do sorgo à doses de P, indicando portanto a importância destes fatores na sustentabilidade agrícola desta cultura.

3.1.2 Soja

O peso da matéria seca da parte aérea, (PMSPA), da soja, foi influenciado pelo sistema de cultivo, adição de P, inoculação com *Glomus etunicatum* e pelas interações Inoculação x N e sistema de cultivo x P x inoculação. A aplicação de N em cobertura não influenciou significativamente o PMSPA (Tabela 1), devido a sua capacidade de fixar N atmosférico em simbiose com *Rhizobium*.

Os efeitos da interação dos fatores no PMSPA da soja encontram-se na Figura 2.

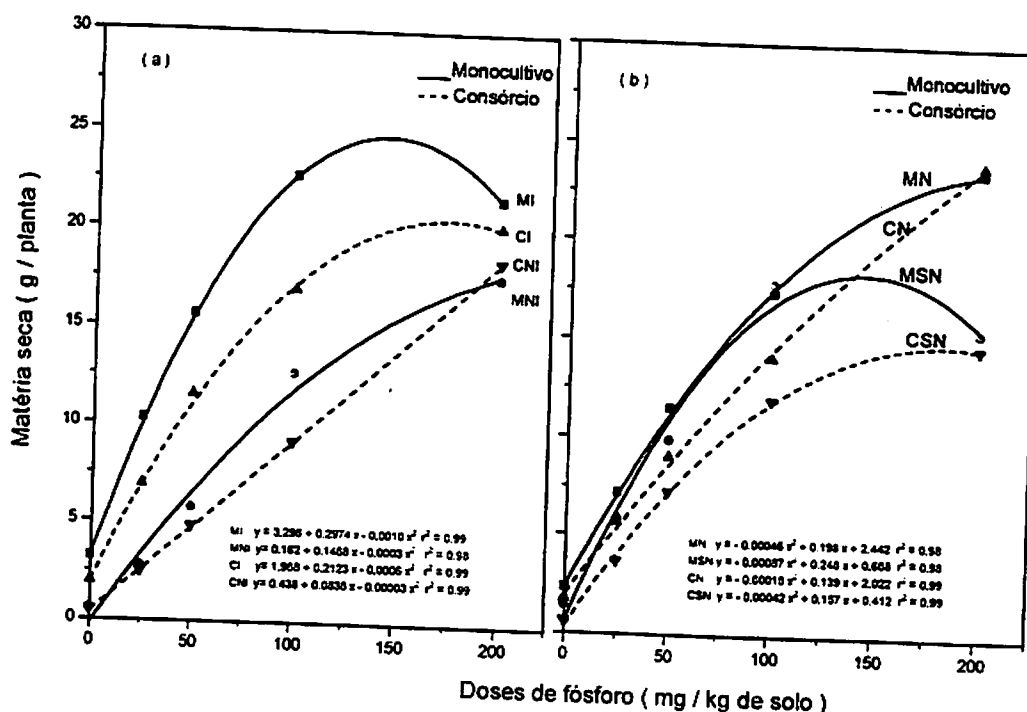


Figura 2 Peso da matéria seca da parte aérea da soja em função de (a) sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum*, (b) sistema de cultivo x aplicação de N. (MI) monocultivo inoculado, (MNI) monocultivo não inoculado (CI) Consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado, (MN) monocultivo +N, (MSN) Monocultivo sem N, (CN) Consórcio com N, (CSN) Consórcio sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

A resposta ao P foi muito influenciada pelos tratamentos, sendo a resposta a micorriza e N maiores nas plantas em monocultivo. A inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou o PMSPA tanto no monocultivo como no consórcio em todos os níveis de P (Figura 2a). No monocultivo e no consórcio, o PMSPA da soja, não inoculada, aumentou com as doses de P não atingindo máximo PMSPA na dose de 200 mg P / kg de solo. Entretanto, o PMSPA da soja micorrizada aumentou até as doses de 148 e 176 mg P / kg e solo, respectivamente para o monocultivo e consórcio. Os valores máximos para o PMSPA correspondentes a essas doses de P foram 25,41 e 19,78 g / planta, respectivamente, para a soja inoculada em monocultivo e em consórcio, indicando maior requerimento de P da soja consorciada para atingir a produção máxima que foi de 22,16% menor que aquela obtida

no monocultivo, devido a competição com o sorgo. Verifica-se portanto, que a micorriza reduziu o impacto negativo do consórcio sobre a soja.

A interação sistema de cultivo x P x N encontra-se na Figura 2b. Verifica-se uma interação positiva crescente para a resposta a P e aplicação de N. Essa aplicação aumentou o PMSPA da soja, porém o seu efeito foi diferenciado entre o monocultivo e o consórcio. Plantas com N atingiram o máximo PMSPA com a dose de 200 mg P / kg de solo, enquanto aquelas sem N comportaram-se diferentemente destas. No monocultivo, o efeito do N não mostrou diferença no PMSPA na soja nas doses baixas de P, entretanto a partir de 75 mg P / kg de solo, na soja com N foi obtido um maior PMSPA que a soja sem N. No consórcio, em doses baixas de P, a soja com N e sem N responderam igualmente ao P, porém em doses altas o efeito do N sobre o PMSPA foi maior, possivelmente devido a uma maior absorção de N pela soja em função do aumento da disponibilidade de P no solo. Como nos tratamentos sem N a disponibilidade desse nutriente era baixa, ocorreu uma redução no PMSPA em relação ao tratamento com N.

Verifica-se que o impacto do consórcio foi maior nas plantas inoculadas, ainda assim estas, mesmo no consórcio, produziram mais matéria seca que as não inoculadas em monocultivo. Além disso, no consórcio, na soja sem N, a fixação biológica de nitrogênio não foi suficiente para a soja atingir máximo PMSPA.

3.2 Peso de grãos

3.2.1 Sorgo

O peso dos grãos secos do sorgo (PGS) não foi influenciado pelo sistema de cultivo e pela aplicação de N, mas foi pela interação sistema de cultivo x P x inoculação e P x Inoculação x N (Tabela 1)

Os efeitos da interação sistema de cultivo x P x inoculação são mostrados na Figura 3. A produção de grãos do sorgo mostrou elevada resposta às doses de P, sendo esta influenciada pelo sistema de cultivo e inoculação com *Glomus etunicatum* (Figura 3). Os máximos PGS para os tratamentos foram obtidos em diferentes doses de P. No consórcio, estas produções foram 46,7 e 31,6 g / planta nas doses 157 e 200 mg P / kg de solo respectivamente para o sorgo inoculado e sem inoculação. No monocultivo, as produções máximas foram 35,4 e 33,0 g / planta, e as doses que propiciaram máximos PGS foram 151 e 200 mg P / kg de solo. Embora as doses não tenham diferido, as produções foram menores no monocultivo. Portanto, a inoculação com *Glomus etunicatum* reduziu o requerimento externo de P, para alcançar produção máxima de grãos, em 43 mg / kg de solo, o que equivale a 86 kg / ha. O PGS do sorgo consorciado e inoculado foi maior que nos demais tratamentos em todas as doses de P. A inoculação com fungo micorrizico além de reduzir a dose de P para a obtenção do máximo PGS, leva a um maior PGS tanto no monocultivo como no consórcio. Verifica-se

portanto que a consorciação com a soja e a micorrização maximiza o PGS e a resposta do sorgo às doses de P e aplicação de N, sendo importantes componentes do sistema de produção destas culturas.

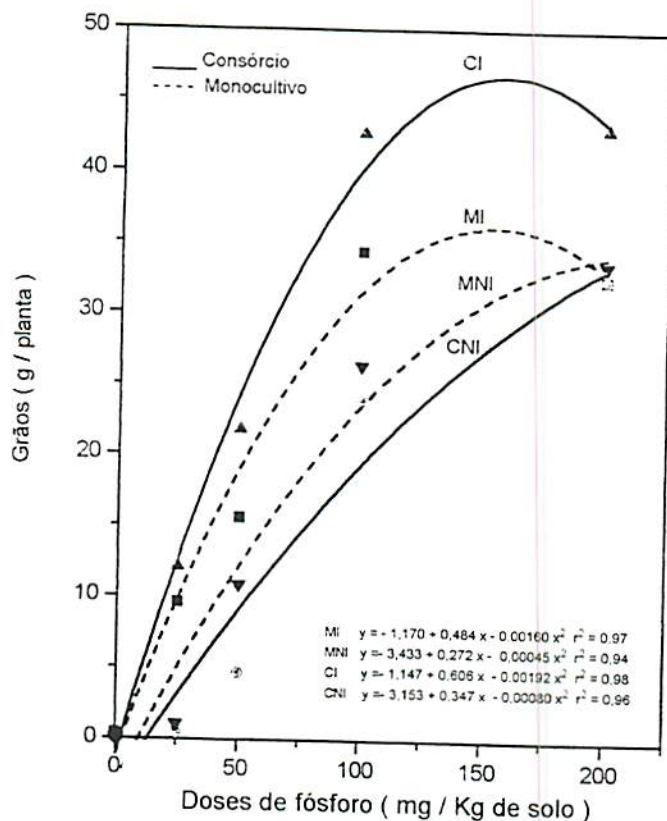


Figura 3 Peso dos grãos secos do sorgo em função do sistema de cultivo e inoculação com *Glomus etunicatum* em diferentes doses de P. (MI) Monocultivo inoculado, (MNI) Monocultivo não inoculado, (CI) Consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

O PGS foi também influenciado pela interação P x Inoculação x N (Figura 4). Como verificado para a interação sistema de cultivo x P x I, o PGS respondeu marcadamente às doses de P, sendo maior na plantas inoculadas e que receberam N.

No monocultivo e no consórcio o sorgo mostrou comportamento semelhante às doses de P, ocorrendo uma resposta maior em doses baixas e intermediárias de P e uma redução em doses mais altas. No monocultivo, no sorgo inoculado, as doses de P que resultaram maior PGS, foram 155 e 156 mg P / kg de solo, respectivamente para o sorgo com e sem N, enquanto no consórcio, para os mesmos tratamentos, as doses foram 165 e 160 mg P / kg de solo. Nessas doses, os PGS foram 42,95, 30,13, 50,11 e 40,88 g / planta, respectivamente, para o monocultivo e consórcio para os tratamentos com e sem N. O PGS do sorgo não inoculado, com e sem N, aumentou com as doses de P, obtendo-se seus valores máximos na maior dose de P utilizada (200 mg / kg de solo).

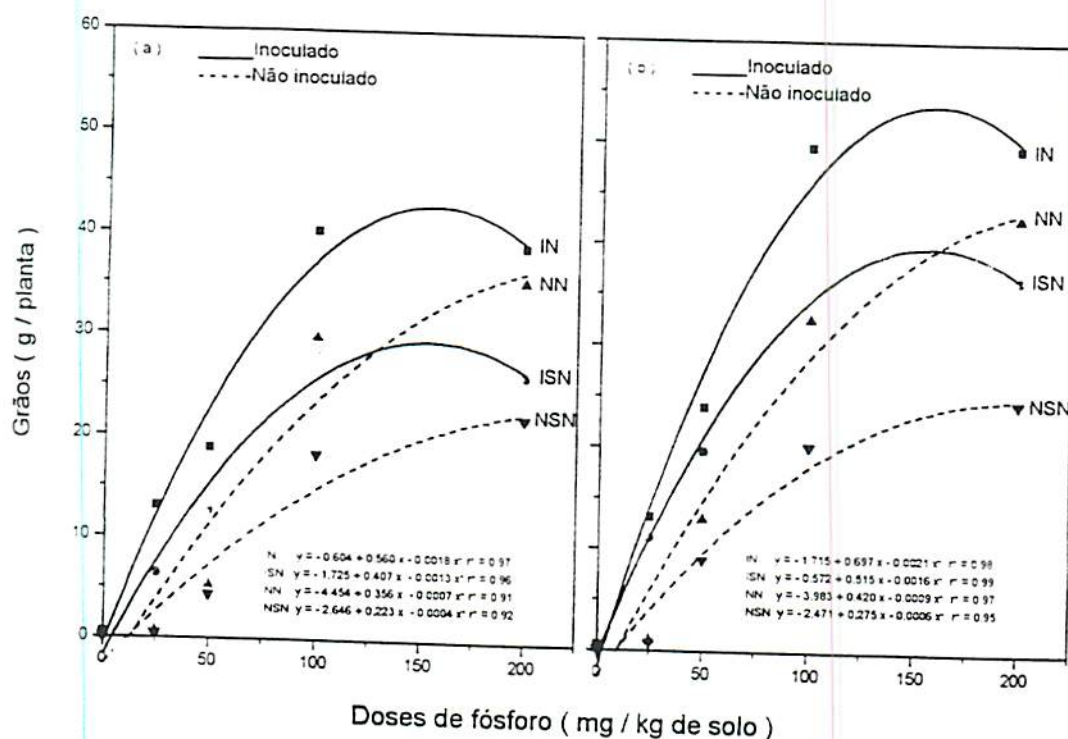


Figura 4 Peso dos grãos secos do sorgo em Monocultivo (a) e Consórcio (b) em função das doses de P inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N. (IN) Inoculado + N, (ISN) Inoculado - N, (NN) Não inoculado + N, (NSN) Não inoculado - N. CNPMS. Sete Lagoas, (MG), 1995.

A aplicação de N aumentou o PGS do sorgo no monocultivo e no consórcio. Considerando os valores máximos do PGS, no monocultivo, o N aumentou o PGS em 29,85 e 33,02 g / planta, respectivamente para o sorgo inoculado e não inoculado. No consórcio, os acréscimos no PGS foram de 15,23 e 15,31 g / planta, respectivamente, para o sorgo inoculado e não inoculado. Verifica-se que o efeito do N foi maior no monocultivo que no consórcio indicando um possível efeito da competição com a soja. Entretanto o efeito do N aumentou com as doses de P, tanto no monocultivo como no consórcio, mostrando um efeito interativo entre esses nutrientes.

Em altas doses de P, a aplicação de N leva a alta produção nas plantas sem micorriza. Portanto, micorriza e N contribuíram para maximizar o PGS e as respostas à adição de P no solo. As respostas à adição de N indicam que este é limitante para a o PGS e que o benefício da soja pode advir do fornecimento de N, via fixação biológica de N, como será discutido mais adiante.

O PGS do sorgo mostrou correlação positiva ($r = 0,71^*$) com a relação P / N. Essa relação afetou o PGS, como resultado de um efeito sinérgico do P e do N. A inoculação com fungo micorrízico aumentando os teores de P e N nas folhas, contribuiu para o aumento da relação P / N, resultando em aumento do PGS do sorgo.

3.2.2 Soja

O PGS da soja respondeu, significativamente, ao sistema de cultivo, adição de P ao solo e inoculação com *Glomus etunicatum*, e à interação inoculação x aplicação de N em cobertura (Tabela 1). O efeito do P sobre o PGS da soja é mostrado na Figura 5. O PGS da soja mostrou uma resposta quadrática em relação à adição de P, aumentando até a dose de 200 mg P / kg de solo atingindo um valor máximo de 10,67 g / planta.

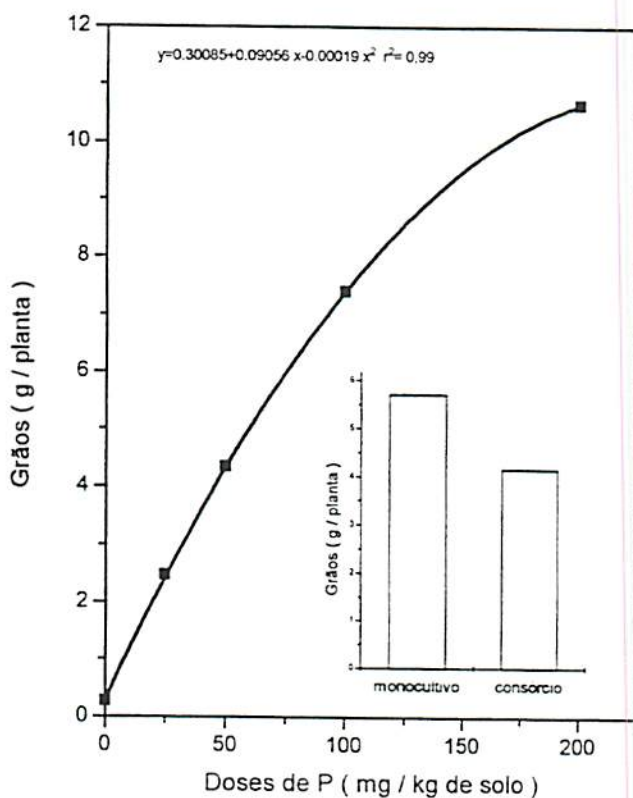


Figura 5 Peso dos grãos secos da soja em diferentes níveis de P e sistema de cultivo. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

O PGS para a soja em monocultivo apresentou maior valor (5,72 g / planta) quando comparada com a soja consorciada (4,16 g / planta), ocorrendo uma redução de 27,28 % na produção de grãos (Tabela 2). Os efeitos do P sobre o PGS da soja encontram-se na Figura 5.

A interação inoculação com *Glomus etunicatum* x N é mostrada na Tabela 2. Dentro do tratamento aplicação de N, houve uma diferença significativa no PGS entre a soja inoculada e não inoculada. O maior valor para o PGS, foi verificado na soja inoculada e com aplicação de N, e o menor na soja não inoculada e sem aplicação N. A inoculação aumentou o PGS da soja em 77,65 e 160 % respectivamente nos tratamentos com e sem N, porém não foi observado efeito da aplicação de N nos

tratamentos com e sem inoculação com *Glomus etunicatum*. Como o solo tinha baixo teor de matéria orgânica, o N dessas plantas veio da fixação biológica de N, devido ao baixo teor de MO no solo .. Verifica-se que a disponibilidade de P no solo, a inoculação com fungo micorrízico e o N contribuíram para um aumento do PGS da soja .

Tabela 2. Peso dos grãos secos da soja (g / planta)em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Inoculação	Aplicação de N em cobertura	
	Com N	Sem N
Inoculação com fungo micorrízico	8,03 Aa	5,23 Aa
Sem inoculação	4,52 Ba	2,01 Ba

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

3.3 Índice de colheita

Os dados obtidos mostram que o sorgo , tanto em monocultivo como consorciado com a soja, apresentou maior Índice de colheita ,IC, que a soja (Tabela 3). Isto pode estar associado à maior área foliar do sorgo e à maior concentração de nutrientes na sua parte aérea..

No sorgo , em monocultivo ou consorciado, o IC aumentou com a adição de P ao solo e a aplicação de N em cobertura . Na soja, o aumento no IC ocorreu nos dois sistemas de cultivo mas sem a inoculação com *Glomus etunicatum* (Tabela 3). O sorgo consorciado com a soja, apresentou um maior IC em relação ao monocultivo, enquanto a soja mostrou um maior IC em monocultivo.

A inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou o IC tanto do sorgo como da soja nos dois sistemas de cultivo. Esse aumento está associado a uma maior concentração de nutrientes nas plantas (Tabelas 9 e 10) devido a uma maior absorção pelas hifas micorrízicas.

O aumento do IC do sorgo pode estar associado a uma maior absorção de nutrientes e a uma transferência de N proveniente da soja. O maior teor de nutrientes no sorgo propiciou um maior acréscimo no PGS (21,7 %) que no MSPA (6,9 %), mostrando uma transferencia mais eficiente de compostos fotossintetizados para os grãos. A maior nutrição do sorgo pode ter levado a uma maior taxa fotossintética e translocação de compostos fotossintetizados para os grãos. A eficiência do transporte de compostos fotossintetizados para os grãos pode ser avaliada pelo IC. A disponibilidade de nutrientes para as plantas tem sido relatada influenciar esse índice. Baixos níveis de N (3 mM),

suprimem as ramificações laterais da soja, resultando em redução na sua capacidade fotossintética e na quantidade de compostos fotossintetizados translocados para os grãos

Tabela 3 Índice de Colheita (g/g) do sorgo e da soja em função do sistema de cultivo, adição de P ao solo, aplicação de N em cobertura e inoculação com *Glomus etunicatum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.

Níveis de P	Nitrogênio	Sorgo	Soja	(mg/kg solo)			
				Inoculado com fungo micorrízico	Não inoculado	Inoculado com fungo micorrízico	Não inoculado

Monocultura		0		25		50		100		200		média	
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
com	0.05	0.03	0.00	0.00	0.05	0.27	0.46	0.53	0.48	0.51	0.47	0.41	0.40
sem	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Considerando-se o PMSPA como um parâmetro relacionado à produção de biomassa e esta como resultado da área foliar, podemos inferir que os fatores que afetam a produção de biomassa o fazem através da área foliar. Os dados obtidos mostraram que a inoculação com fungo micorrízico e o N aumentaram o IC. Esse aumento está relacionado a uma maior concentração de nutrientes nas plantas de sorgo e soja, resultando em maior capacidade fotossintética dessas plantas através do aumento da área foliar. No estudo realizado não foi avaliada a área foliar, porém foi considerado o peso da matéria seca da parte aérea e o peso dos grãos secos, como parâmetros, relacionados à produção da biomassa e à produção de grãos.

3.4 Peso de nódulos secos

O peso de nódulos secos, (PNS), variou significativamente em função de todos os fatores estudados e suas interações (Tabela 1), sendo a interação sistema de cultivo x P x inoculação com *Glomus etunicatum* x N mostrada na Figura 6.

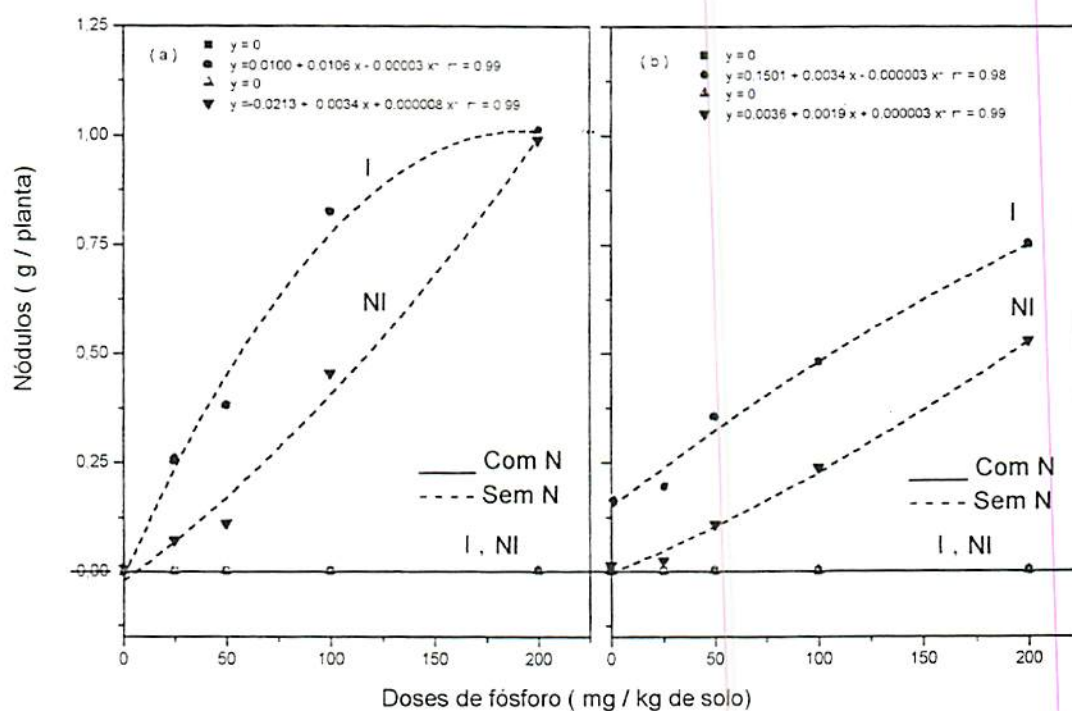


Figura 6 Peso dos nódulos secos das raízes da soja, em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N em cobertura. (a) Monocultivo, (b) Consórcio. (I) Inoculado. (NI) Não inoculado. CNPMS. Sete Lagoas, (MG). 1995.

As plantas de soja em monocultivo mostraram um maior PNS que em consórcio, em todos os níveis de P. A adição de P aumentou o PSN nos tratamentos sem N, nos dois sistemas cultivo, porém

nos tratamentos com N não houve nodulação. Na ausência de P, o PNS foi muito reduzido nos dois sistemas de cultivo. Entretanto o PNS aumentou com as doses de P nos dois sistemas de cultivo, atingindo os maiores valores quando o P foi adicionado ao solo na concentração de 200 mg P / kg de solo (Figura 6). O efeito do P foi diferenciado nos dois sistemas de cultivo. No monocultivo, os maiores acréscimos no PNS, em função da adição de P, foram verificados na soja inoculada com fungo micorrízico. No consórcio, os acréscimos no PNS, em função do P foram semelhantes tanto para a soja inoculada quanto para a não inoculada, possivelmente devido a um efeito do fungo micorrízico atenuando o competição da soja e do sorgo por esse nutriente.

Os valores máximos do PNS no monocultivo foram 0,95 e 0,99 g / planta, nas doses de P 176 e 212 mg P / kg de solo, respectivamente para a soja inoculada e não inoculada com fungo micorrízico. No consórcio, para a soja inoculada e não inoculada, o máximo PNS não foi atingido na dose mais alta de P (200 mg / kg de solo) Esses valores máximos estimados foram 1,11 e 0,89 g / planta nas doses de 516 e 316 mg P / kg de solo para os mesmos tratamentos do monocultivo.

Os estudos sobre a influencia do P e de fungos micorrízicos sobre a formação dos nódulos, evidenciam que, em algumas leguminosas, a formação de nódulos sómente ocorre quando as plantassão inoculadas com esses fungos ou são adicionados altos níveis de P (Lopes e De Oliveira, 1980; Mosse, 1981). A inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou o PNS tanto na soja em monocultivo como na consorciada..Verifica-se que esse aumento no PNS está em concordância com os estudos sobre a inoculação de leguminosas com fungos micorrízicos , que aumenta a nodulação (Israel ,1993; Louis e Slim, 1988), e e o peso dos nódulos secos (Harris, Pacovsky e Paul, 1985; Brown, Thamasurakul e Bethenfalvay, 1988; Gunawarden, Danso e Zapata, 1992).

A adição de P não reduziu o PNS, quando a soja foi inoculada com *Glomus etunicatum*, a sua concentração no solo pode ter reduzido a dependencia da soja pela simbiose micorrízica, como também relatado por (Menge et al, 1982, Siqueira, Hubbel e Valle, 1984). O efeito do P sobre a nodulação ocorre via nutrição da soja pois os tecidos dos nódulos são colonizados pelos fungos micorrízicos (Kaur e Singh, 1988), e possuem três vezes mais P que os tecidos das raízes (Mosse, 1977). O aumento no peso seco dos nódulos influencia a fixação de N pela soja (Jakobsen , 1985: Rennie e Kemp, 1984).

O estudos sobre a influencia do N sobre a nodulação tem mostrado que o N pode inibir a nodulação (Ying et al, 1992) ou, dependendo do teor de N aplicado, pode apenas reduzir o PSN. Embora a soja consorciada tenha sido afetada pela competição por N com o sorgo granífero essa competição não diminuiu significativamente a disponibilidade de N, diminuindo a sua concentração a um nível que impedisse o seu efeito negativo sobre a nodulação e, em decorrência, sobre o PNS.

A adição de P ao solo e a inoculação com *Glomus etunicatum* facilitou a produção de massa nodular, evidenciando o efeito sinérgico do P na simbiose soja - Rhizóbium - *Glomus etunicatum* , principalmente em condições de solos com baixa disponibilidade de P e N, como ocorre nos solos sob vegetação de cerrado. O consórcio com o sorgo foi prejudicial a produção de massa nodular devido a competição com o sorgo pelo P, embora a inoculação tenha minimizado o efeito dessa competição.

3.5 Colonização micorrízica e densidade de esporos

3.5.1 Colonização micorrízica

Verificou-se efeito significativo do sistema de cultivo, adição de P ao solo, N e a interação P x N sobre a colonização micorrízica em ambas as culturas. O sorgo apresentou um maior valor para a colonização das raízes que a soja, tanto no monocultivo como no consórcio, obtendo-se valores médios de 22,59 e 25,48 % para o sorgo e 15,0 e 17,0 % respectivamente, para a soja em monocultivo e consorciada (Figura 7).

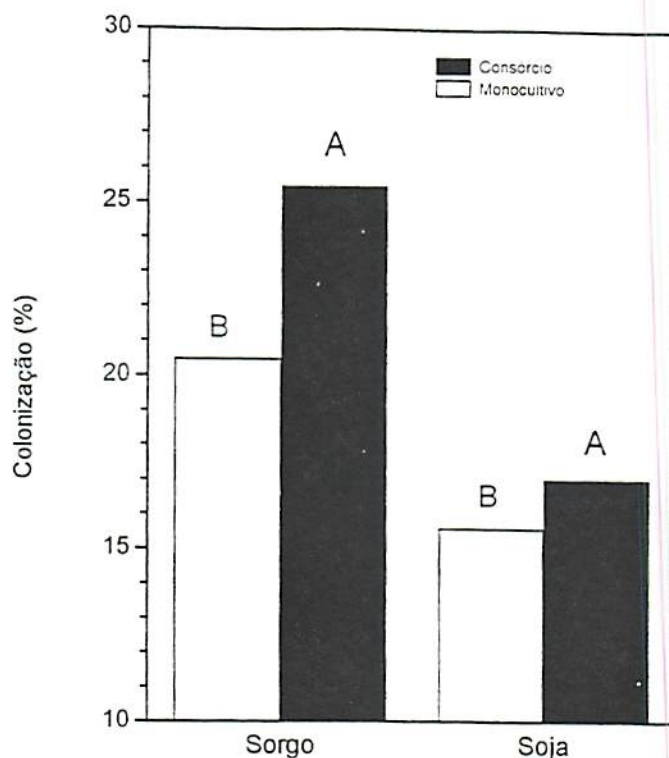


Figura 7 Colonização média das raízes do sorgo e da soja por fungo micorrízico, em monocultivo e consorciados. Médias com letras diferentes nas plantas de sorgo e soja, diferem significativamente a nível de 5%. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1975.

O efeito da interação P x N sobre a colonização micorrízica do sorgo e da soja é mostrado na Figura 8. A adição de N mostrou resposta quadrática com as doses de P. Na ausência e em baixas doses de P o efeito do N foi muito pequeno, porém esse efeito aumentou com as doses de P, atingindo valores máximos para a colonização quando o P adicionado atingiu 118 e 112 mg de P / kg de solo, no sorgo com e sem N respectivamente, sendo estes valores na soja iguais a 117 e 120 mg de P / kg de solo (

Figura 8a e 8b). Verifica-se que o efeito da aplicação de N foi marcadamente influenciado pela adição de P em ambas as culturas. Nas doses de P, onde a colonização foi máxima, verificou-se que o aumento no sorgo com a aplicação de N foi de 77,7 %, enquanto na soja esse aumento foi de 97,6 %. Entretanto doses de P acima das que proporcionaram maiores valores para a colonização do sorgo e da soja, levaram a sua redução. As reduções verificadas com a aplicação no solo de 200 mg P / kg de solo foram, no sorgo 33,6 e 28,56 %, respectivamente, nos tratamentos com e sem N, enquanto que na soja as reduções, para os mesmos tratamentos, foram de 33,2 e 19,7%.

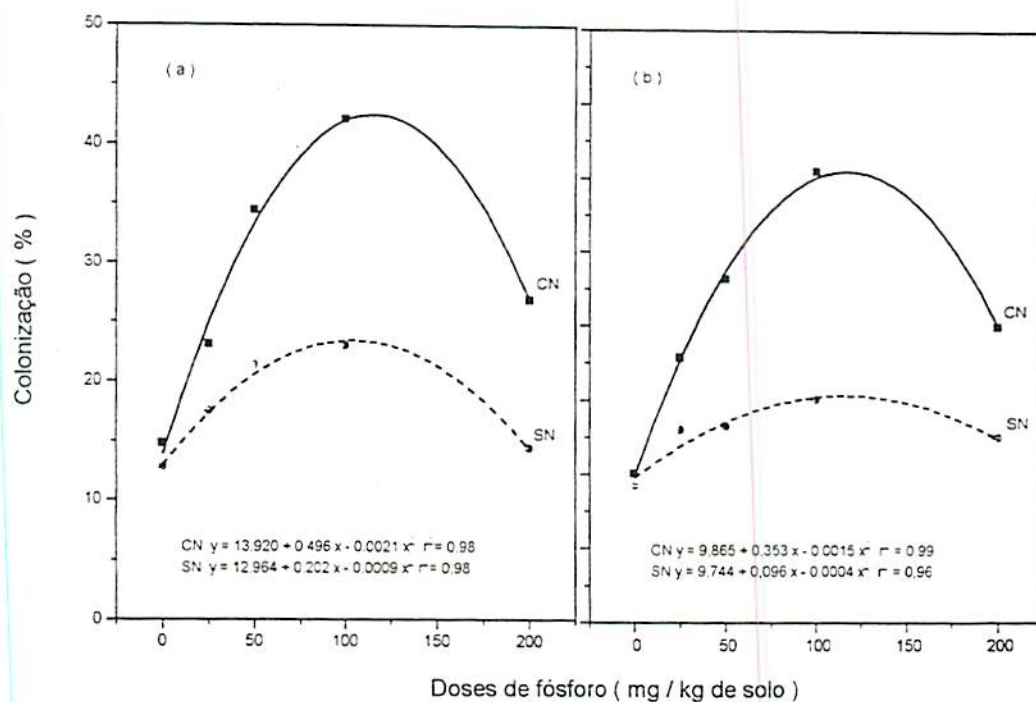


Figura 8 Colonização micorrizica das raízes do sorgo (a) e da soja (b) em função de diferentes doses de P e aplicação de N. (CN) Com N. (SN) Sem N . CNPMS, Sete Lagoas, (MG),1995.

A colonização micorrízica tem mostrado um comportamento diferenciado entre as espécies vegetais. Fernandes et al., (1987), mostraram que a soja apresentou maior colonização micorrízica que o milho em condições de uma maior disponibilidade de P. A diferença entre os resultados obtidos por Fernandes et al., (1987) e os dados obtidos nesse experimento indicam que embora o sorgo granífero e o milho pertençam à família das gramíneas, pode haver uma diferenciação entre as espécies da mesma família quanto à utilização do P e sua influencia na colonização das raízes por fungos micorízicos.

O efeito do P sobre a colonização micorrízica tem sido mostrado dependente da sua quantidade aplicada ao solo (Paula e Siqueira, 1987) e da concentração nos tecidos da planta. Os dados obtidos para a colonização micorrízica do sorgo granífero e da soja mostram um aumento da colonização em níveis mais baixos de P e uma redução no nível mais alto. Segundo Ratnayake, Leonard e Menge, (1978), pequenos aumentos de P nos tecidos da planta podem levar a grandes decréscimos na exudação de açúcares redutores e aminoácidos solúveis, causando uma redução da colonização das raízes por fungos micorrízicos.

Apesar da deficiência de P nos tecidos da planta aumentar a exudação dos aminoácidos a deficiência de N pode reduzi-los (Bowen, 1969). Verifica-se que a colonização micorrízica aumentou com a aplicação de N, estando de acordo com os resultados verificados por Furlan, Bernier e Cardou (1989) e Hepper (1983). A colonização micorrízica apresentou uma correlação negativa com a concentração de P na planta, $r = -0,84^*$ e $r = 0,89^*$, respectivamente para o sorgo e soja. Entretanto, uma correlação positiva foi verificada com a concentração de N, $r = 0,85^*$ e $r = 0,72^*$, respectivamente para o sorgo e a soja. Isto indica que o P em baixas concentrações aumenta a colonização micorrízica, enquanto em altas concentrações a reduz. Por outro lado, o aumento da concentração de N na planta aumenta a colonização micorrízica.

Os estudos referentes ao efeito da aplicação do N sobre a colonização das raízes por fungos micorrízicos, têm mostrado sua relação com os níveis de P. Segundo Mosse e Phillips (1971), a colonização das raízes sómente ocorre em altos níveis de P na ausência de N. Porém, a colonização das raízes em diferentes níveis de P e pode aumentar com a aplicação de N e pode ser reprimida em altos níveis de P dependendo da relação P : N, (Hepper, 1983). Verifica-se pelo dados obtidos que não houve correlação entre a relação P : N nos tecidos foliares e a colonização micorrízica tanto para o sorgo como para a soja. Os estudos de Sylvia e Neal (1990) não confirmaram o efeito da relação P : N sobre a colonização micorrízica, como demonstrado por Reeves (1987).

3.5.2 Densidade de esporos

A densidade de esporos mostrou uma resposta significativa ($p \leq 0,01$) para sistema de cultivo, adição de P e N ao solo e interação P x N para sorgo e soja (Tabela 1).

O maior número de esporos foi encontrado na consorciação obtendo-se 145,0 esporos / 100 g de solo (Figura 9). No sorgo e soja em monocultivo foram, respectivamente, recuperados 125,5 e 101,6 esporos / 100 g de solo, os quais não diferiram entre si. Verifica-se que a esporulação foi 23,5 % maior no sorgo em monocultivo que na soja. Entretanto, no consórcio, a esporulação foi 15,5 e 42,7 % maior que no sorgo e soja em monocultivo respectivamente.

Na interação adição de P x aplicação de N em cobertura foi verificado que o P e o N influenciaram o número de esporos no solo. O efeito do P foi mais acentuado com a aplicação de N, tanto no sorgo como na soja. Entretanto, a aplicação de N aumentou a produção de esporos no solo em todos os níveis de P tanto para o sorgo como para a soja (Figura 10).

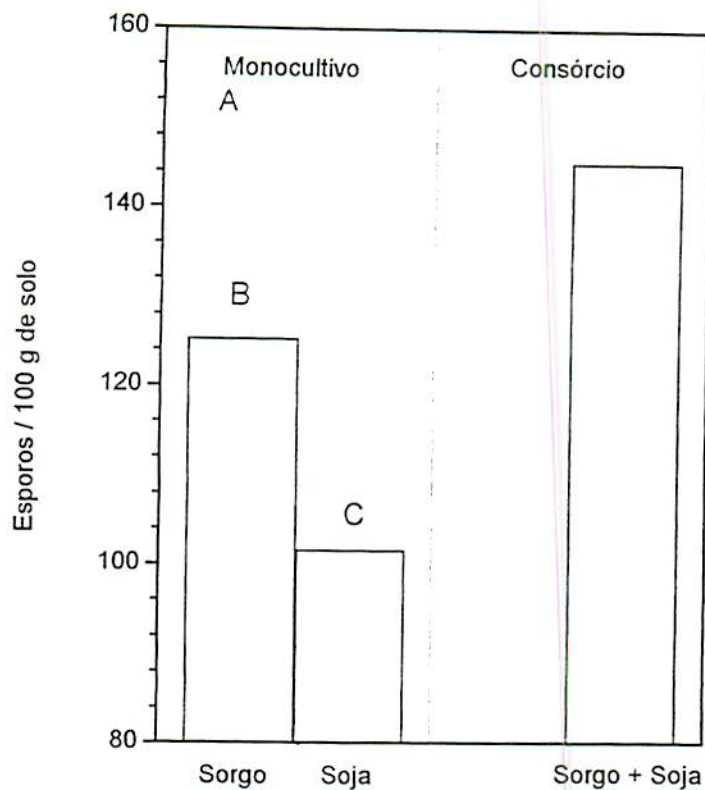


Figura 9 Número de esporos no solo no sorgo e soja em monocultivo ou consorciados. Médias com letras diferentes, nas plantas de sorgo e soja, diferem significativamente a nível de 5%. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995

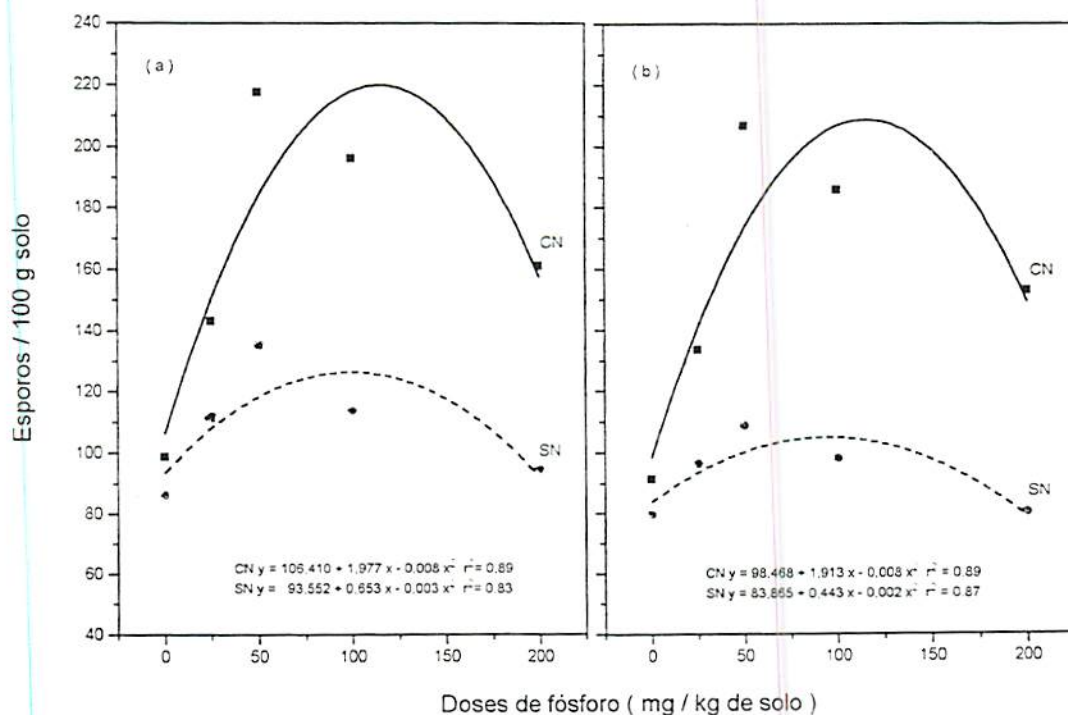


Figura 10 Número de esporos no solo com sorgo (a) e com soja (b), em função das doses de P e aplicação de N. (CN) Com N, (SN) Sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Como verificado para a colonização das raízes, o efeito do N sobre a esporulação variou em função das doses de P aplicadas ao solo.

O número máximo de esporos recuperados do solo cultivado com sorgo foi obtido com a adição de 123 e 108 mg P / kg de solo, obtendo-se 224 e 129 esporos / 100 g de solo, respectivamente para o sorgo com e sem N. Na soja nas doses de 119 e 110 mg P/ kg de solo, sendo recuperados 213 e 108 esporos / 100 g de solo, para os mesmos tratamentos

A densidade de esporos mostrou correlação positiva com a colonização das raízes do sorgo e da soja (Figura 11).

Verifica-se, portanto, que a aplicação de N e P e o consórcio favoreceram a produção de esporos no solo, sendo estes interdependentes e relacionados com a dose de P. Na dose de P onde a esporulação foi máxima a aplicação de N elevou a densidade de esporos em 73,64 % no sorgo e 97,22% na soja. Os efeitos dos tratamentos sobre a esporulação resulta de seu impacto na colonização.

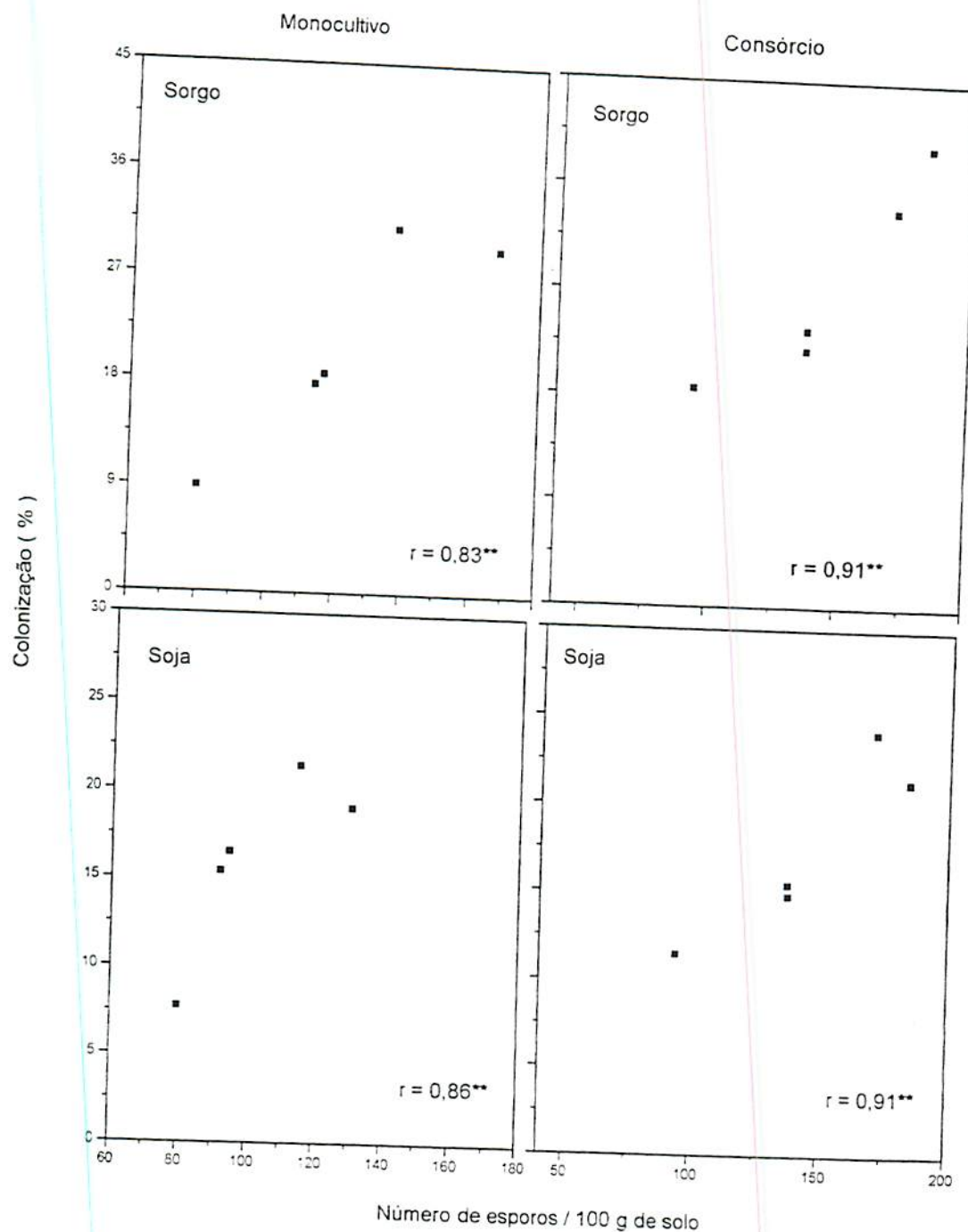


Figura 11 Relação entre o número de esporos no solo e colonização micorrizica no sorgo e na soja em monocultivo e consorciados. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.

3.6 Concentrações foliares de nutrientes

Os dados referentes a análise de variância dos nutrientes no sorgo e soja são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 Resumo das análises de variâncias (Quadrado médio, nível de significância e coeficiente de variação) dos teores de nutrientes nas folhas de sorgo e soja em função do sistema de cultivo (C), doses de fósforo (P), inoculação com *Glomus etunicatum* (I) e aplicação de nitrogênio em cobertura (N).

Fontes de Variação							
N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn

Sorgo							
Sistema de cultivo (C)	5,543*	0,199*	ns	ns	ns	ns	ns
Fósforo (P)	3,416*	0,028*	10,823*	0,035*	0,091*	410,41*	368,28*
Inoculação (I)	11,255*	0,326*	3,693*	0,074*	0,011*	5235,91*	758,71*
N (N)	15,159*	ns	5,666*	0,084*	0,030*	691,87*	64410,98*
C x P	ns	0,004*	0,593*	0,069*	0,025*	400,00*	ns
C x I	ns	0,074*	ns	0,160*	ns	ns	ns
C x N	2,310*	ns	ns	0,040*	0,027*	1346,16*	ns
P x I	7,709*	0,241*	3,536*	ns	ns	1825,69*	ns
P x N	0,478*	0,007*	0,448*	0,042*	0,010*	1825,69*	ns
I x N	ns	ns	ns	0,035*	0,018*	ns	ns
C x P x I	0,805*	0,030*	0,775*	0,028*	0,020*	ns	ns
C x P x N	0,630*	0,006*	0,553*	0,029*	0,004*	146,03*	ns
C x I x N	0,396*	ns	ns	0,014*	0,006*	ns	ns
P x I x N	ns	ns	1,007*	0,036*	0,009*	ns	ns
C x P x I x N	ns	0,008*	0,575*	0,067*	0,009*	630,75*	ns
Resíduo	12,320	0,001	0,184	0,007	0,001	146,68	1450,22
CV	19,64	17,08	19,38	17,76	17,47	26,55	38,75

Soja							
C	55,203*	0,040*	1,348*	ns	0,100*	ns	ns
P	14,687*	0,005*	0,962*	0,685*	0,037*	731,736*	55,507*
I	33,803*	0,035*	3,010*	3,665*	ns	4246,65*	144,784*
C x P	46,066*	ns	1,228*	ns	0,074*	968,83*	40,309*
C x I	ns	ns	0,354*	ns	ns	649,301*	31,386*
C x N	ns	0,015*	0,363*	ns	ns	ns	ns
P x I	4,402*	0,030	0,060*	ns	ns	338,860*	ns
P x N	ns	ns	0,392*	ns	ns	245,450*	ns
I x N	13,831*	ns	0,371*	1,334*	0,164*	1514,781*	98,625*
C x P x I	5,615*	0,006*	0,250*	0,373*	0,010*	663,43*	45,491*
C x P x N	ns	ns	ns	ns	ns	209,14*	ns
C x I x N	11,926*	0,007*	0,845*	0,066*	0,056*	1121,98*	35,576*
P x I x N	7,525*	ns	0,511*	1,008*	0,034*	ns	ns
C x P x I x N	0,967	0,002	0,081	0,148	0,009	80,53	8,996
Resíduo	0,967	0,002	0,081	0,148	0,009	80,53	8,996
CV	22,80	28,77	22,27	25,09	25,09	27,04	22,05

* Significativo pelo teste F a nível de 5% de probabilidade.

3 6.1 Nitrogênio e fósforo no sorgo

A concentração foliar de N no sorgo foi afetada pelos fatores estudados e pelas interações sistema de cultivo x P x inoculação, sistema de cultivo x P x N e P x Inoculação x N (Tabela 4).

Os efeitos da interação sistema de cultivo x P x inoculação são mostrados na Figura 12 a. No monocultivo e no consórcio, o efeito da inoculação variou com as doses de P e os maiores aumentos na concentração de N, devido a inoculação, foram verificados em baixas doses de P. No tratamento sem adição de P, os acréscimos na concentração de N devido a inoculação, foram 1,33 e 1,48 dag N / kg de matéria seca foliar, respectivamente para o monocultivo e o consórcio. Entretanto, nas doses de P que resultaram máxima concentração foliar de N, 145, 160, 108 e 145 mg P / kg de solo, respectivamente para monocultivo inoculado e não inoculado e consórcio inoculado e não inoculados, os acréscimos devido a inoculação foram 0,14 e 0,08 dag N / kg de matéria seca foliar. No monocultivo, em doses superiores a 150 mg P / kg de solo, plantas inoculadas e não inoculadas comportaram-se igualmente. No consórcio, na dose de 126 mg de P / kg de solo as plantas inoculadas e não inoculadas atingiram mesma concentração de N (3,32 dag / kg de matéria seca foliar).

A concentração foliar de N também foi influenciada pela aplicação de N em cobertura, porém esse efeito variou em função do sistema de cultivo e adição de P ao solo (Figura 12 b). No monocultivo e no consórcio, em todas as doses de P, o sorgo com N apresentou maiores concentrações desse nutriente, nas folhas, que o sorgo sem N. O efeito da aplicação de N, sobre a sua concentração foliar, foi influenciado pelas doses de P. No monocultivo, o maior efeito dessa aplicação, ocorreu na dose 135 mg P / kg de solo, atingindo um acréscimo de 0,84 dag N / kg de matéria seca foliar. No consórcio esse acréscimo atingiu 0,78 dag N / kg, nas doses de 124 e 144 mg P / kg de solo, respectivamente para as plantas com e sem N. Além disso, o sorgo consorciado, com e sem N, apresentou maiores valores para a concentração de N, que em monocultivo nesses tratamentos. Os acréscimos devido ao consórcio foram 0,97 e 0,81 dag N / kg de matéria seca, respectivamente para o sorgo com e sem N, considerando as doses 124 e 135 mg P / kg de solo, para consórcio e monocultivo com N, e 144 e 139 mg P / kg de solo para o consórcio com e sem N.

Embora a inoculação com *Glomus etunicatum* e a aplicação de N, como tratamentos isolados, tenha mostrado um efeito positivo sobre o teor de N nas folhas do sorgo, a interação Inoculação x N também influenciou esse teor. Essa interação é mostrada na Figura 12 c. A adição de P ao solo, pouco afetou a resposta do sorgo à aplicação de N, verificando-se um efeito similar do N em todas as doses de P. No sorgo, o acréscimo na concentração foliar de N, decorrente da aplicação de N, foi de 30,34 e 19,23 %, respectivamente para o sorgo inoculado e não inoculado. Esses acréscimos foram calculados em relação às doses de P que resultaram em maiores concentrações de N, 109 e 150 mg P / kg de solo para o sorgo inoculado com e sem N e 139 e 133 mg P / kg de solo para o sorgo não inoculado com e sem N. Comparando-se o efeito da inoculação dentro dos tratamentos com e sem N, verifica-se que a inoculação teve um efeito maior sobre a concentração de N nas folhas do sorgo no tratamento com N.

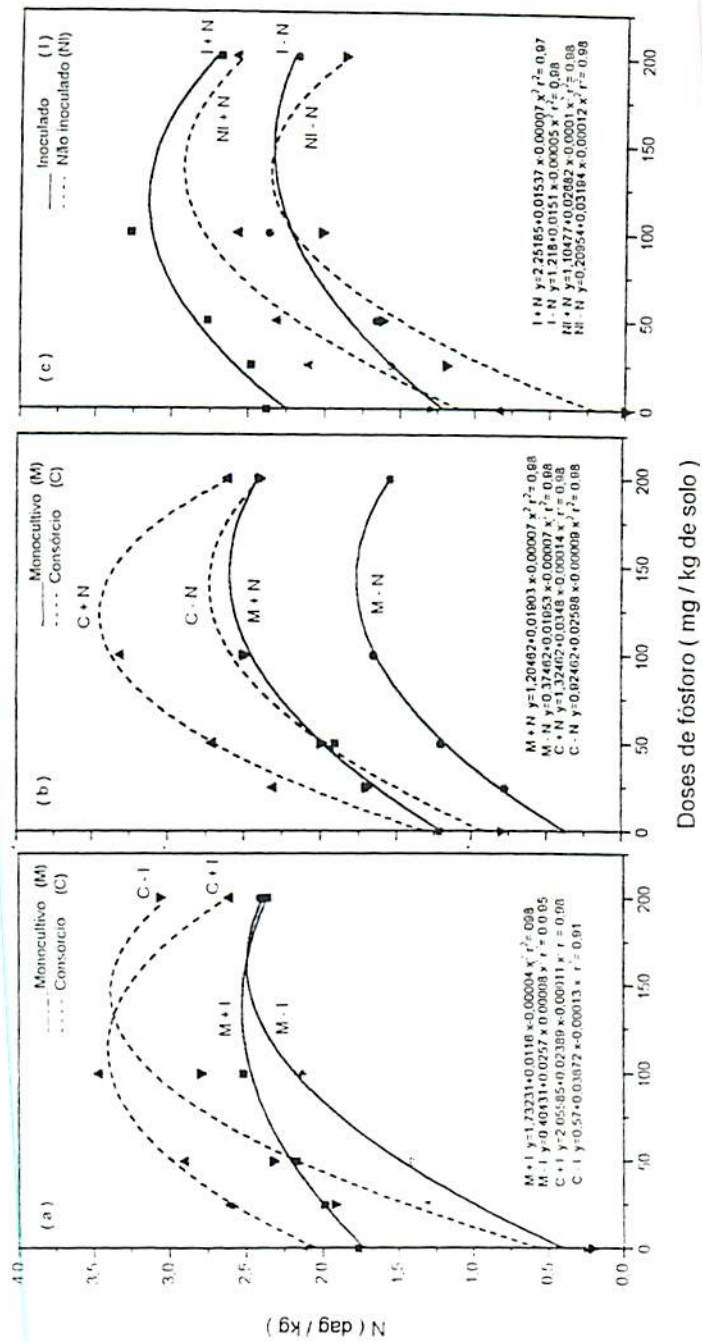


Figura 12 Teor de N nas folhas do sorgo em função das interações: (a) sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* x P; (b) sistema de cultivo x P x N; (c) P x inoculação com *Glomus etunicatum* x N. (C+I) consórcio + inoculação; (C-I) consórcio sem inoculação; (M+I) Monocultivo + inoculação; (M-I) monocultivo sem inoculação; (C+N) consórcio + N; (C-N) consórcio - N; (M+N) monocultivo + N; (M-N) monocultivo - N; (I+N) Inoculado + N; (I-N) Inoculado - N; (NI+N) Não inoculado + N; (NI-N) Não inoculado sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.

Neste caso, a inoculação com fungo micorrízico, associada a maior disponibilidade de N, aumenta marcadamente o teor de N nas folhas (Figura 12).

O teor de N nas folhas do sorgo mostrou correlação significativa com o PMSPA ($r = 0,89^*$) porém não se correlacionou com o PGS, indicando que o aumento da concentração foliar de N resulta em aumento no PMSPA.

A variação na concentração de N nas folhas do sorgo , calculada pela diferença entre a concentração de N no sorgo consorciado e inoculado e o sorgo em monocultivo não inoculado, com e sem N, é mostrada na Figura 13.

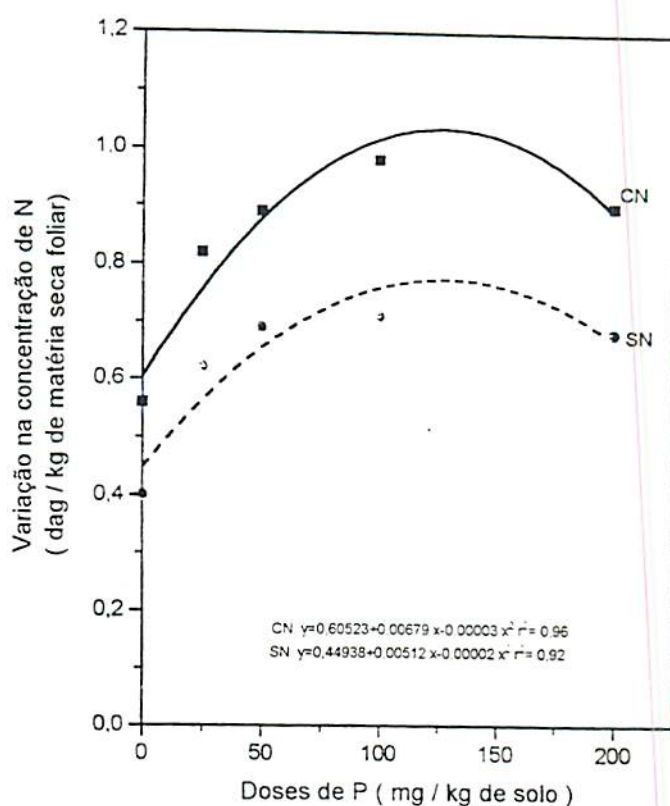


Figura 13 Variação na concentração foliar de N no sorgo consorciado e inoculado com *Glomus etunicatum*. (CN) com N e (SN) sem N. CNPMS. Sete Lagoas. (MG). 1995.

Verifica-se que a aplicação de N resultou em maiores acréscimos na concentração foliar de N, em todos os níveis de P. Os ganhos máximos observados foram 0,98 e 0,77 dag / kg de matéria seca foliar, respectivamente com e sem aplicação de N, nas doses de 113 e 128 mg de P / kg de solo. O ganho em N correlacionou significativamente com a colonização micorrízica, $r = 0,87^*$ e $r = 0,72^*$, respectivamente para o sorgo com e sem N. Entretanto, essa correlação não foi significativa para as doses de P, cujos valores foram $r = 0,62$ e $r = 0,60$. Isto indica que o ganho na

concentração foliar de N, aumenta com o aumento da colonização micorrizica. Considerando, em média, 150.000 plantas de sorgo / ha, verifica-se que o sorgo consorciado com a soja, apresentou um ganho de 72,5 e 52,2 Kg de N / ha, respectivamente, com e sem aplicação de N, porém inoculados com fungo micorrízico.

A concentração de P nas plantas foi influenciada pelo sistema de cultivo, adição de P ao solo e interações entre esses fatores (Tabela 4). A interação sistema de cultivo x adição de P x inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N é mostrada na Figura 14.

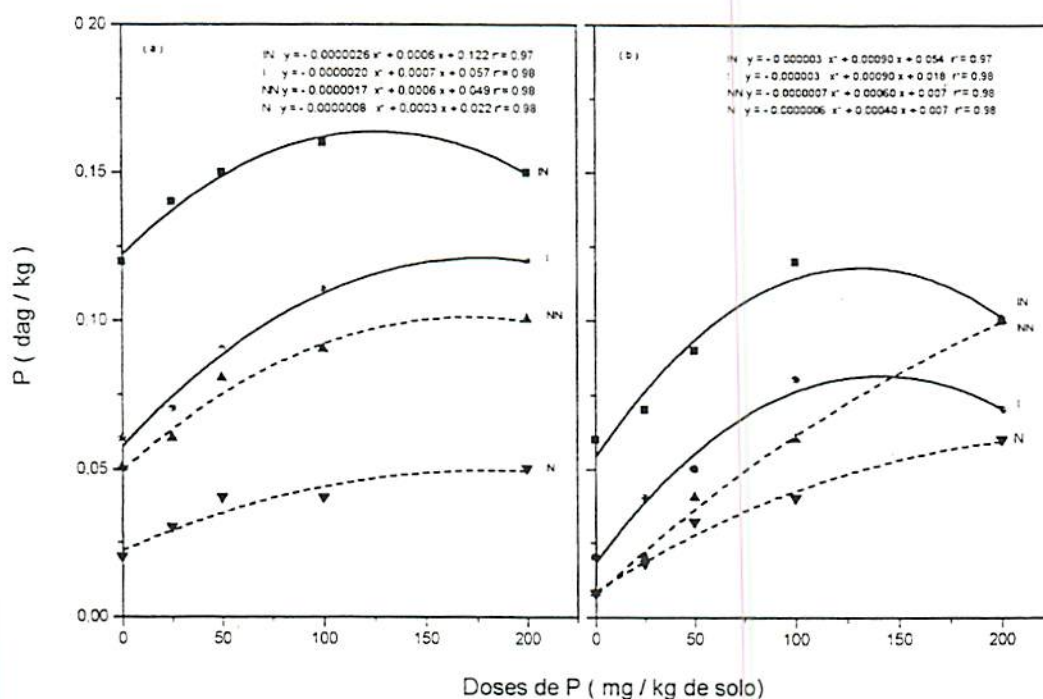


Figura 14 Teor de P nas folhas do sorgo em função do sistema de cultivo (a = monocultivo; b = consórcio), doses de P, inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N. (IN) inoculado + N, (I) inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N e (N) Não inoculado sem N. CNPMS. Sete Lagoas, (MG). 1995.

No monocultivo verificou-se um pequeno efeito do P sobre a sua concentração foliar, tanto no sorgo inoculado como não inoculado. Porém, no consórcio, o P adicionado ao solo, afetou significativamente a sua concentração foliar no sorgo não inoculado. Neste tratamento, na ausência de P, não houve efeito do N sobre o teor de P nas folhas, porém verificou-se um aumento do efeito do N com a adição de P ao solo. Os efeitos das doses de P e da inoculação com fungo micorrízico, sobre a concentração de P nas folhas foram maiores no consórcio que em monocultivo, independente da aplicação de N. No monocultivo e no consórcio dentro do tratamento inoculação com *Glomus etunicatum*, a aplicação de N aumentou o teor de P nas folhas, no sorgo inoculado e não inoculado. Entretanto, no sorgo consorciado não inoculado a aplicação de N não foi significativa na ausência e em doses baixas de P. Os aumentos

nos teores de P devido a aplicação de N em cobertura no sorgo em monocultivo foram 36,3 e 100%, respectivamente para o sorgo inoculado e não inoculado, considerando-se as doses de P que resultaram maior concentração de P nas folhas. No sorgo inoculado essas doses foram 115 e 175 mg P / kg de solo e no sorgo não inoculado foram 176 e 187 mg P / kg de solo. No consórcio, no sorgo inoculado o aumento foi de 57,1 % na dose de 150 mg P / kg de solo, enquanto no sorgo não inoculado a concentração máxima de P nas folhas não foi atingida na maior dose de P (200 mg P / kg de solo) (Figura 14 b). No consórcio, nas doses de P maiores que 148 mg / kg de solo, o sorgo não inoculado mostrou uma concentração de P maior que no inoculado sem N, indicando um efeito inibitório do P sobre o fungo micorrízico. Dentro do tratamento aplicação de N, a inoculação com fungo micorrízico, aumentou a concentração de P nas folhas do sorgo, tanto no monocultivo como no consórcio. Os aumentos no monocultivo atingiram 50 e 100%, respectivamente para o sorgo com e sem N, considerando as dose de 115 e 176 mg P / kg de solo para o sorgo com N e 175 e 187 mg P / kg de solo para o sorgo sem N

(Figura 14 a)

No monocultivo, o efeito do N sobre o sorgo inoculado está relacionado ao efeito inibitório do P sobre o fungo micorrízico, reduzindo a assimilação desse nutriente, considerando-se que o N estimulou a micorrização, como mostrado na Figura 8. No consórcio, a similaridade do aumento no teor de P está relacionada a competição da soja pelo P, reduzindo a sua disponibilidade no solo e o seu efeito inibitório sobre o fungo micorrízico. Comparando o efeito da inoculação com fungo micorrízico com a aplicação de N, em relação ao teor de P nas folhas do sorgo, verifica-se que, no monocultivo o efeito da inoculação foi maior que o do N, enquanto no consórcio, o maior efeito foi devido a aplicação de N. Esses dados indicam que, no consórcio, a inoculação com fungo micorrízico supriu a exigência nutricional do sorgo e da soja, utilizando o P disponível no solo, enquanto no monocultivo o P disponível no solo foi predominantemente utilizado para a nutrição do sorgo, aumentando seu teor nas folhas e reduzindo na soja. O maior efeito do N no consórcio, está relacionado à sua maior disponibilidade, devido a sua aplicação e ao N proveniente da soja.

A diferença nos teores de P observada entre os dois sistemas de cultivo pode estar relacionada a alta competição da soja, que possui uma alta demanda de P para o seu crescimento (Gill, Ali e Nayar, 1985), nodulação e fixação biológica de N (Olofintoye, 1986). Contudo, no sorgo, os teores de P foram maiores que na soja, mostrando uma maior absorção de P pelo sorgo grânifero.

O teor de P nas folhas mostrou correlação positiva com o PMSPA ($r = 0,82^*$), o PGS ($r = 0,75^*$) e a colonização micorrízica ($r = 0,78^*$).

A inoculação aumentou o teor de P nas folhas do sorgo grânifero mesmo sem a adição de P ao solo. Mosse, (1973) verificou que em solos com alta fixação de P, somente as plantas inoculadas com fungos micorrízicos assimilaram o P. Essa não absorção pelas plantas não micorrizadas está ligada a um nível de disponibilidade de P abaixo do qual essas plantas não conseguem absorver o P..

3.6.2 Nitrogênio e fósforo na soja

A concentração de N nas folhas da soja foi influenciada pelos fatores estudados e pela interação sistema de cultivo x P x Inoculação com *Glomus etunicatum*, sistema de cultivo x inoculação x N e P x inoculação x N.

O efeito da interação do sistema de cultivo x inoculação x N sobre a concentração de N nas folhas é mostrado na Tabela 5. A soja consorciada mostrou menores concentrações de N nas folhas que no monocultivo, mesmo quando recebeu N, em todos tratamentos, indicando que a competição com o sorgo por N e, possivelmente, a sua transferência, reduziu o seu teor na soja. No monocultivo e no consórcio, dentro do tratamento inoculação com fungo micorrízico, a aplicação de N em cobertura aumentou o teor de N nas folhas da soja. Além disso, a soja inoculada mostrou maior teor de N que a não inoculada nos dois sistemas de cultivo. Verifica-se que a inoculação com fungo micorrízico e a aplicação de N em cobertura aumentaram o teor de N na soja, porém o consórcio reduziu estas concentrações.

A interação sistema de cultivo x P x inoculação é mostrada na Figura 15 a. A soja em monocultivo, independente da inoculação com *Glomus etunicatum*, mostrou maiores valores para os teores de N nas folhas (Figura 15 a).

Tabela 5 Concentração de N nas folhas da soja (dag / kg de folha seca) em função do sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N em cobertura. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de Cultivo	inoculada		Não inoculada	
	Com N	Sem N	Com N	Sem N
Monocultivo	3,17 Aa	2,33 Ab	1,92 Aa	0,68 Ab
Consórcio	2,67 Ba	1,58 Bb	1,12 Ba	0,56 Bb

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

A adição de P ao solo aumentou os teores de N nas folhas da soja em monocultivo e consorciada. Entretanto, na soja inoculada, nos dois sistemas de cultivo, altas doses de P reduziram o teor de N nas folhas, indicando seu efeito inibitório sobre a micorrização, como verificado na Figura 8. No monocultivo, o máximo teor de N nas folhas foi verificado nas doses de 157 e 143 mg / kg de solo,

atingindo valores de 5,80 e 4,27 dag / kg de folha seca, respectivamente para a soja inoculada e não inoculada com fungo micorrízico. No consórcio, os valores máximos atingidos e suas respectivas doses de P foram 3,5 e 2,01 dag / Kg de folha seca para as doses de 149 e 200 mg P / kg de solo, respectivamente para a soja inoculada e não inoculada. Os aumentos obtidos no teor de N, com a inoculação com fungo micorrízico, variaram com as doses de P, porém o seu ganho, em N, considerando os valores máximos desses teores, foram 27,6 e 74,1 % respectivamente para o monocultivo e o consórcio. Entretanto, os teores de N na soja inoculada foram menores no consórcio

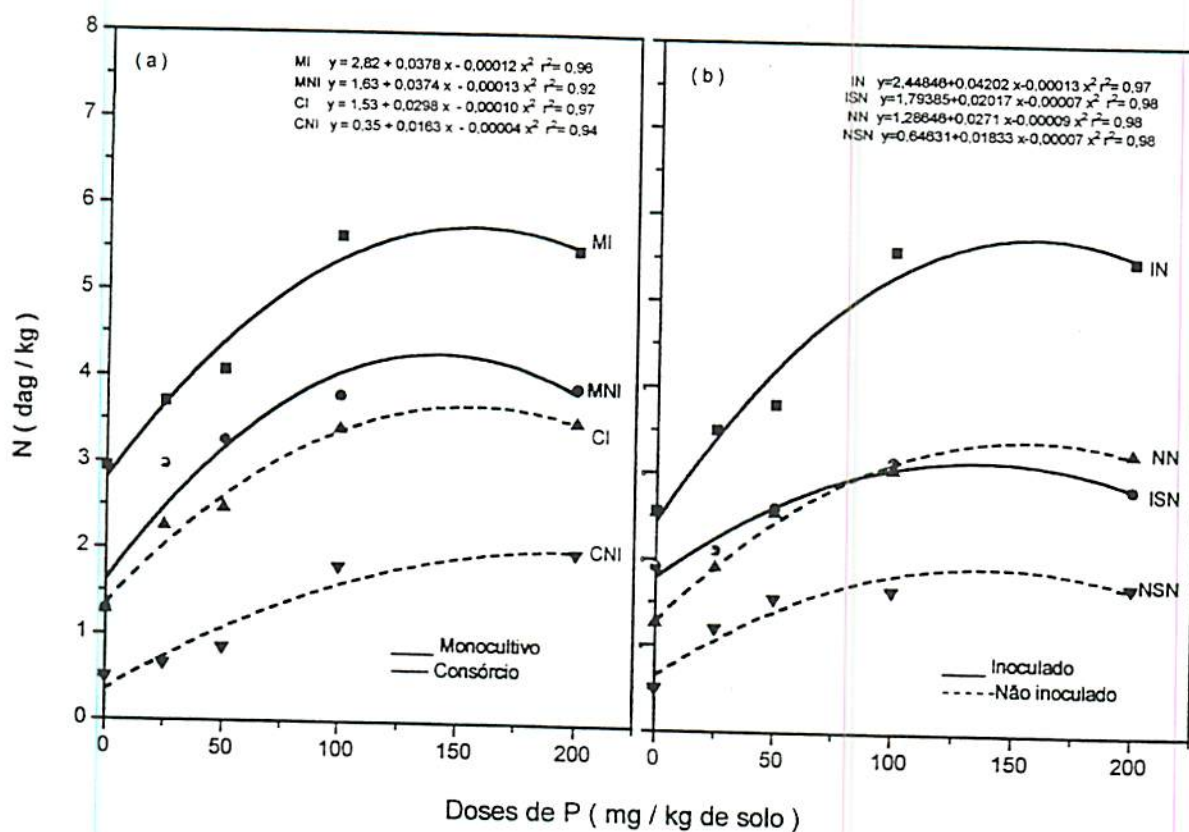


Figura 15 Teor de N nas folhas da soja em função do (a) sistema de cultivo e inoculação com *Glomus etunicatum* e (b) Inoculação e aplicação de N em diferentes doses de P. (MI) Monocultivo inoculado, (MNI) Monocultivo não inoculado, (CI) consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado, (IN) Inoculado + N, (ISN) Inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N (NSN) Não inoculado sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

O efeito da inoculação sobre o teor de N nas folhas foi 65,7 % maior no monocultivo que no consórcio, indicando que o fungo micorrízico favoreceu o sorgo na consorciação com a soja, como verificado anteriormente (Figura 15 a). Verifica-se que o efeito da inoculação sobre o teor de N nas folhas da soja, está relacionado à maior absorção de P, pela soja micorrizada, resultando em maior formação de nódulos (Figura 6) e aumento na fixação biológica de N.

O teor de N nas folhas da soja também foi influenciado pela interação P x Inoculação x N. O efeito dessa interação é mostrado na Figura 15 b. A adição de P ao solo aumentou o teor de N nas folhas da soja. Por outro lado, afetou a resposta da soja à aplicação de N em cobertura. Na soja inoculada os teores máximos de N nas folhas foram 5,91 e 3,2 dag / kg de folha seca, respectivamente para as doses de 161 e 150 mg de P / kg de solo, na soja com e sem aplicação de N. Nos tratamentos sem inoculação esses teores foram 3,2 e 1,8 dag / kg de folha seca nas doses de 142 e 128 mg P / kg de solo, respectivamente para a soja com e sem N. Na soja inoculada com fungo micorrízico, os acréscimos nos teores de N em função da aplicação de N foram maiores que na soja não inoculada em todos os níveis de P, apesar de altas doses desse nutriente ter reduzido a colonização micorrízica (Figura 8). Entretanto, a adição de N, estimulou a colonização micorrízica (Figura 8), atenuando o efeito inibitório do P. A adição de N na soja micorrizada aumentou o teor de N nas folhas da soja em 84,6 %, enquanto na soja não inoculada esse aumento foi de 82,3 %. Nos tratamentos com N a inoculação aumentou o teor de N em 79,0 %, enquanto na soja que não recebeu N esse aumento foi de 76,7 %. Contudo, a inoculação com fungo micorrízico, independente da aplicação de N, aumentou o teor de N nas folhas da soja, porém esse aumento foi marcante quando se aplicou o N em cobertura.

O efeito do N, decorrente da sua aplicação em cobertura, está relacionado a redução na nodulação da soja (Figura 6) e na fixação de N, resultando em uma diminuição no teor de N nas folhas. Por outro lado, a aplicação de N aumenta a sua disponibilidade no solo e supre o decréscimo de N na soja , como resultado da diminuição na nodulação e fixação biológica de N.

Verifica-se que a aplicação de N em cobertura aumentou o teor de N nas folhas da soja, e esse aumento supre a soja de N, reduzindo o efeito da diminuição da nodulação e da fixação biológica de N. Além disso, a inoculação com fungo micorrízico contribui para aumentar a absorção de N do solo na soja micorrizada. O teor de N nas folhas não mostrou correlação significativa com o PMSPA e o PGS.

A concentração de P nas folhas da soja foi influenciado pelo sistema de cultivo, adição de P, inoculação com *Glomus etunicatum* e pelas interações sistema de cultivo x P x Inoculação e sistema de cultivo x inoculação x N (Tabela 4)..

Os dados obtidos para o efeito da interação sistema de cultivo x Inoculação x aplicação de N sobre o P (Tabela 6), mostram que, no monocultivo a concentração de P nas folhas da soja foi maior que no consórcio. Embora a soja tenha alta demanda de P, a competição com o sorgo pelo P disponível no solo reduziu a sua assimilação pela soja. Entretanto, no monocultivo e no consórcio, a inoculação com fungo micorrízico aumentou significativamente a concentração de P nas folhas da soja. Além disso, a aplicação de N também aumentou o teor de P nas folhas da soja.

Tabela 6 Concentração de P nas folhas da soja em função do sistema de cultivo x inoculação x aplicação de N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de Cultivo	Inoculada		não inoculada	
	Com N	Sem N	Com N	Sem N
Monocultivo	0,23 Aa	0,14 Ab	0,09 Aa	0,05 Ab
Consórcio	0,08 Ba	0,05 Bb	0,04 Ba	0,02 Bb

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

Embora a inoculação tenha atenuado o impacto vegetativo da consorciação na concentração de P, plantas inoculadas apresentaram redução superior a 60 % na concentração de P.

A interação sistema de cultivo x P x inoculação é mostrada na Figura 16. A concentração de P foi maior na soja em monocultivo que em consórcio com o sorgo, indicando um efeito competitivo com o sorgo por esse nutriente. No monocultivo as doses de P que resultaram em maior concentração desse nutriente nas folhas da soja foram 100 e 158 mg de P / kg e solo, atingindo valores de 0,21 e 0,16 dag / kg de folha seca, respectivamente para a soja micorrizada e sem micorriza. (Figura 16). Adição de P acima desse valor reduziu os acréscimos nas concentrações de P nas folhas da soja micorrizada,. Nas doses de P acima de 159 mg P / kg de solo, a soja não inoculada mostrou maior concentração desse nutriente . Na soja inoculada e na dose mais alta de P (200 mg / kg de solo) foi verificada a maior redução na concentração de P nas folhas, atingindo o valor de 42,86 %.

Os maiores teores de N observados no sorgo em consórcio com a soja, nos diferentes níveis de P, podem estar relacionados possivelmente a uma transferência de N da soja para o sorgo, através de um processo direto via hifas micorrízicas, como observado por (Haynes, 1980; Whittingham e Read, 1982; Francis, Finlay e Read, 1986; Haystead, Malajzuk e Grove, 1987; Newman et al, 1994) ou por uma absorção de exsudatos da soja. No sorgo consorciado e inoculado com *Glomus etunicatum* a transferência de N pode ter ocorrido pelo contato entre raízes, mas também via hifas micorrízicas (Francis, Finlay e Read, 1986; Haystead, Malajzuk e Grove, 1988; McNeill e Wood, 1990). Embora a inoculação com *Glomus etunicatum* tenha aumentado a possível transferência de N da soja para o sorgo, este, quando não inoculado, também apresentou um aumento de N em relação ao monocultivo. Neste caso, a transferência de N pode ter ocorrido através do contato das raízes do sorgo e da soja como proposto por Heichel et al, (1984), Read, Francis e Finlay, (1985), Boller e Nosberger (1988) e Dubach e Roselle (1994). A liberação de compostos nitrogenados pelas raízes das leguminosas, via

exsudados, tem sido muito observada em diferentes espécies de leguminosas (Ta, Macdowall e Faris, 1986; Brophy e Heichel, 1989; Fujita et al, 1990) e essa liberação pode estar relacionada com a liberação de compostos pela gramínea, que estimularia a liberação pela leguminosa (Ta e Faris, 1987; Wacquant, Ouknider e Jacquard, 1989). Outros estudos, entretanto, relatam que as hifas micorrízicas não apresentam uma função importante na transferência de N entre as plantas (Hamel et al, 1991; Hamel, Furlan e Smith, 1992).

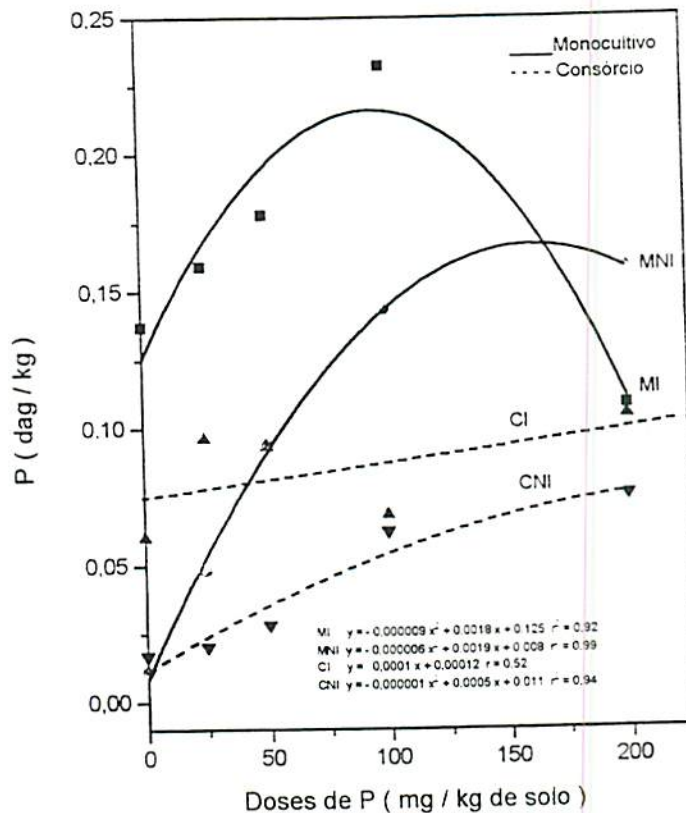


Figura 16 Teor de P nas folhas da soja em função do sistema de cultivo e inoculação com *Glomus etunicatum*. (MI) Monocultivo inoculado, (MNI) Monocultivo não inoculado. (CI) Consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Verifica-se que as plantas cultivadas em condições de baixa disponibilidade de P absorveram menos N, como foi também observado por Lee e Stewart (1978), Israel e Rufty, (1988); Rufty, Mackown e Israel, (1990). A redução de N nas folhas sob condições de baixa disponibilidade de N pode estar relacionada com a redução do sistema radicular da planta, ou com uma redução da energia disponível (ATP) requerida para o transporte ativo de N através das membranas das células da raiz.

Na soja, a sua consorciação com o sorgo resultou em decréscimo na concentração foliar de N. Embora a fixação biológica de N tenha suprido a soja com N, a competição com o sorgo a desfavoreceu. Entretanto, a aplicação de N pode favorecer a soja atenuando o efeito competitivo com

o sorgo, como observado por Willey e Osiru, (1972), para o feijão consorciado com o milho e Beets, (1977), para a soja consorciada com o milho.

Como relatado para o sorgo, a assimilação e concentração de N nas folhas estão relacionadas com a disponibilidade de P. Verificou-se que a soja em condições de baixa disponibilidade de P, apresentou menor concentração foliar de N, como também observado por Rufty et al (1993) para a soja cultivada em condições de baixa disponibilidade de P. A redução do teor de N na planta diminui a taxa de expansão foliar e pode reduzir a fotossíntese / área foliar (Sage e Pierce, 1987). Contudo, plantas cultivadas em condições de alta disponibilidade de N tem a fixação de N reduzida. Os efeitos do N sobre a planta são complexos e quase todos os processos fisiológicos e bioquímicos são afetados como : o crescimento das folhas (Ursino et 1982), a fotossíntese (Bethlenfalvay, Abu-Sakra e Phillips, 1978), e transporte de N entre os órgãos da planta (Kerr, Huber e Israel, 1984), a taxa de troca de CO₂ (Ursino et al., 1982) e a eficiência da carboxilação (Bethlenfalvay, Abu-Sakra e Phillips, 1978).

No consórcio , na soja micorrizada não foi verificada redução acentuada no teor de P em altas doses de adição desse nutriente no solo, como verificado no monocultivo. Embora essa redução não tenha sido acentuada, os valores obtidos para os teores de P nas folhas foram menores em todas as doses de P em relação a soja não micorrizada. Esses dados indicam que, embora o P tenha afetado a micorrização da soja, como mostrado no Figura 10b, o seu efeito foi reduzido na consorciação devido à competição com o sorgo, resultando em diminuição da sua disponibilidade no solo e seu efeito inibitório sobre o fungo micorrízico. Além disso, a alta demanda da soja pelo P também reduziu a sua disponibilidade no solo. Por outro lado a soja não micorrizada, em monocultivo, sómente mostrou maiores teores de P nas folhas, que a consorciada, em doses maiores que 38 mg P / kg de solo.

Verifica-se que, apesar do P afetar a micorrização da soja, o seu efeito inibitório foi reduzido no consórcio resultando em uma maior micorrização nas plantas consorciadas, como mostrado na Figura 9. Entretanto, o efeito do fungo micorrízico foi maior na soja em monocultivo. O teor de P nas folhas mostrou correlação positiva com o MSPA ($r = 0,91^*$ e o PGS ($r = 0,80^*$).

A soja, possuindo um sistema radicular menos desenvolvido que o sorgo, sendo portanto mais micotrófica (Haynes, 1980), a inoculação com *Glomus etunicatum* pode ter contrabalanceado a competição com o sorgo, aumentando a absorção dos nutrientes de baixa mobilidade como o P. Segundo Kothari, Marschner e Romheld (1990), as hifas dos fungos micorrízicos são mais eficientes na absorção de P que as raízes não micorrizadas. Por outro lado, pode ainda ter ocorrido uma transferência de P do sorgo para a soja, uma vez que o sorgo consorciado apresentou um menor teor de P que em monocultivo. Heap e Newman, (1980), observaram a transferência de ³² P entre *Lolium perenne* e *Plantago lanceolata*.

3.6.3 Relação P / N no tecido foliar

A relação P/N nas folhas do sorgo e da soja é mostrada na Figura 17. O sorgo, em monocultivo, mostrou uma maior P/N que em consórcio com a soja. Dentro do tratamento inoculação

com *Glomus etunicatum* o sorgo inoculado mostrou maior P/N que o não inoculado tanto no monocultivo como no consórcio.

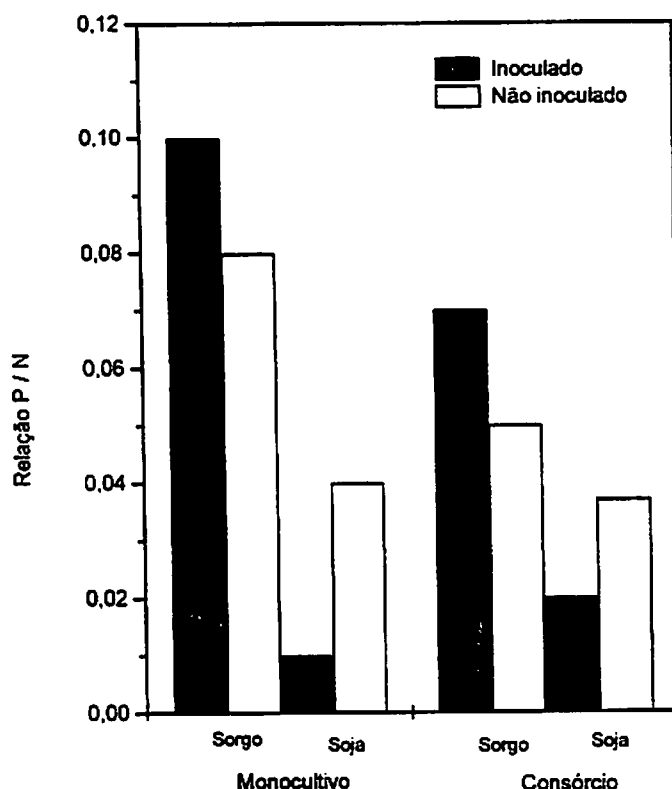


Figura 17 Relação P / N nas folhas do sorgo e da soja, em função do sistema de cultivo e inoculação com *Glomus etunicatum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Os valores obtidos para essa relação no monocultivo foram 0,10 e 0,08, respectivamente para o sorgo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico, enquanto no consórcio os valores foram 0,07 e 0,05 para os mesmos tratamentos. A maior P/N no sorgo em monocultivo, inoculado ou não com fungo micorrízico, foi devido à ausência da competição com a soja, principalmente pelo P. Entretanto, a maior P/N do sorgo inoculado está relacionado com a maior absorção de P pelo fungo micorrízico. No consórcio, para os mesmos tratamentos, os menores valores observados tanto para o sorgo inoculado como não inoculado, em relação ao monocultivo, estão relacionados à competição com a soja principalmente pelo P, reduzindo o seu teor no sorgo. Além disso, no sorgo consorciado verificou-se um aumento no teor de N nas folhas, resultado da transferência da soja. Esses dois fatores resultaram em redução na relação P/N do sorgo consorciado com a soja.

Na soja, tanto em monocultivo como em consórcio com o sorgo, a relação P / N foi maior em plantas não inoculadas. Na soja não inoculada, em monocultivo e consorciada, o efeito da menor

absorção de P, pela não inoculação ou pela competição com o sorgo, pode ter resultado em decréscimo na fixação biológica de N, reduzindo a concentração de N. Essa redução na concentração de N nas folhas, resultou em maior relação P/N. Os valores obtidos no monocultivo foram 0,04 e 0,01 respectivamente para a soja não inoculada e inoculada com fungo micorrízico. No consórcio, para os mesmos tratamentos, os valores obtidos foram 0,037 e 0,02. Comparando a soja micorrizada no monocultivo e no consórcio, verifica-se que a relação P/N foi maior no consórcio que no monocultivo. A transferência de N da soja para o sorgo via hifa micorrízica, reduziu o teor de N na soja, contribuindo para o aumento dessa relação. A soja não inoculada, no monocultivo, mostrou uma relação P / N pouco menor que no monocultivo. Verifica-se que a transferência de N também ocorreu da soja para o sorgo, porém ela foi muito pequena quando comparada com a soja micorrizada, indicando que a inoculação com fungo micorrízico aumentou a transferência de N da soja para o sorgo, resultando em um decréscimo do seu teor na soja e um aumento na relação P / N.

A relação P/N mostrou uma correlação positiva com o PMSPA do sorgo ($r = 0,79^*$) e da soja ($r = 0,71^*$), assim como o PGS do sorgo ($r = 0,74^*$) e da soja ($r = 0,80^*$). O efeito dessa correlação sobre o PGS do sorgo está relacionado ao efeito sinérgico do P e do N. A inoculação com fungo micorrízico, aumentando os teores de P e N nas folhas, contribuiu para o aumento da relação P/N, resultando em aumento no PGS. Na soja, o aumento de P nas folhas, devido a sua aplicação ao solo e a sua maior absorção pelo fungo micorrízico, aumentou a relação P/N, resultando em aumento no seu PGS. Verifica-se que uma nutrição mais equilibrada das plantas em P e N favoreceu a PMSPA e o PGS.

3.7 Outros nutrientes

As análises de variâncias dos teores de nutrientes na parte aérea do sorgo e da soja são mostradas na Tabela 4, no item 3.6. O sistema de cultivo sómente influenciou significativamente ($p \leq 0,05$) a concentração de K e Mg na soja. Entretanto, no sorgo, com exceção do N e P, nenhum outro nutriente foi afetado significativamente pelo sistema de cultivo. Na soja, a concentração desses nutrientes foi maior no monocultivo que no consórcio. A competição com o sorgo por esses nutrientes pode ter reduzido a sua absorção e concentração na soja. Por outro lado, o K e o Mg podem ter sido acumulados nas raízes da soja consorciada reduzindo a sua translocação para a parte aérea. (Tabelas 7 e 8). A adição de P ao solo afetou significativamente ($p \leq 0,05$) a concentração de K, Ca, Mg, Zn, Cu e Mn tanto no sorgo quanto na soja, independentemente do sistema de cultivo. Os teores desses nutrientes aumentaram com os níveis de P. O efeito do P na sua absorção está relacionado ao aumento

Tabela 9. Concentração de nutrientes nas folhas de sorgo em monocultivo ou consorciado com soja em função da inoculação de *Glomus etunicatum*, doses de P e adição de N em cobertura.. CNPMS, Sete Lagoas (MG), 1995.

Cultivo	Níveis de P (mg / Kg solo)	N	Potássio (dag / kg)	Calcio (dag / kg)	Magnésio (dag / kg)	Zinco (µg/g)	Cobre (µg/g)	Manganês (µg/g)
Monocultivo	0	com	1,04 Aa	0,39 Aa	0,14 Aa	0,15 Aa	10,43 Aa	3,36 Aa
		sem	0,68 Ba	0,19 Aa	0,05 Aa	0,10 Aa	6,15 Aa	2,49 Aa
	25	com	1,60 Aa	0,32 Ab	0,15 Ab	0,26 Aa	31,24 Aa	4,14 Ab
		sem	0,58 Ba	0,18 Bb	0,07 Bb	0,14 Ba	17,37 Aa	3,01 Ab
	50	com	1,77 Ab	0,50 Ab	0,21 Ab	0,31 Aa	32,10 Aa	6,81 Ab
		sem	0,88 Bb	0,29 Bb	0,12 Bb	0,18 Ba	28,44 Aa	4,15 Ab
	100	com	2,12 Ab	0,74 Ab	0,32 Ab	0,39 Aa	33,32 Aa	10,84 Ab
		sem	1,43 Bb	0,60 Bb	0,21 Bb	0,30 Ba	28,62 Aa	4,90 Ab
	200	com	2,10 Ab	0,68 Ab	0,30 Ab	0,48 Aa	28,71 Aa	11,64 Ab
		sem	1,37 Bb	0,50 Bb	0,12 Bb	0,36 Bb	27,92 Ba	9,83 Ab
Conso	0	com	1,23 Aa	0,31 Aa	0,17 Aa	0,20 Aa	19,83 Aa	9,46 Aa
		sem	0,64 Aa	0,24 Aa	0,08 Aa	0,11 Aa	8,09 Aa	2,81 Aa
	25	com	1,48 Ab	0,38 Ab	0,20 Aa	0,28 Aa	23,88 Ab	23,97 Aa
		sem	0,74 Bb	0,24 Bb	0,12 Bb	0,19 Ba	4,12 Bb	3,63 Ab
	50	com	1,79 Ab	0,49 Ab	0,27 Ab	0,36 Aa	34,52 Ab	14,20 Ab
		sem	0,98 Bb	0,30 Bb	0,15 Bb	0,27 Ba	20,01 Aa	9,63 Ab
	100	com	2,4 Ab	0,54 Ab	0,28 Ab	0,39 Aa	39,00 Ab	36,47 Aa
		sem	1,62 Bb	0,36 Bb	0,20 Ba	0,30 Bb	18,06 Bb	28,65 Aa
	200	com	1,60 Ab	0,49 Ab	0,22 Ab	0,45 Aa	52,29 Aa	29,40 Aa
		sem	0,62 Bb	0,34 Aa	0,14 Bb	0,38 Ba	30,31 Ba	22,93 Aa

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente (p < 0,05) pelo teste de Duncan.

Quadro 10. Concentração de nutrientes nas folhas das plantas de soja em monocultura ou consorciada com sorgo granífero em função da inoculação com *Glomus etunicatum*, doses de P e adição de N em cobertura.* CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Cultivo	Níveis de P (mg / Kg solo)	N	Potássio (dag / kg)		Cálcio (dag / kg)		Magnésio (dag / kg)		Zinco (µg / g)		Cobre (µg / g)		Manganês (µg / g)	
			Inoculada	Não inoculada	Inoculada	Não inoculada	Inoculada	Não inoculada	Inoculada	Não inoculada	Inoculada	Não inoculada	Inoculada	Não inoculada
Monocultivo	0	com sem	0,92 Aa 0,40 Aa	1,14 Aa 0,90 Aa	1,13 Aa 0,94 Aa	1,48 Aa 1,29 Aa	0,29 Aa 0,27 Aa	0,40 Aa 0,26 Aa	35,20 Aa 21,55 Aa	20,77 Aa 2,58 Aa	11,13 Aa 10,07 Aa	8,11 Aa 5,20 Aa	113,12 Aa 73,22 Aa	98,78 Aa 64,44 Aa
	25	com sem	1,30 Ab 0,52 Bb	1,73 Aa 1,20 Ba	1,18 Aa 1,15 Aa	1,70 Aa 1,41 Aa	0,83 Aa 0,31 Ba	0,89 Aa 0,36 Ba	38,25 Aa 23,62 Aa	30,76 Aa 13,88 Aa	18,34 Aa 11,55 Ba	11,94 Ab 6,29 Bb	154,80 Aa 101,20 Ba	107,04 Ab 47,27 Bb
	50	com sem	1,42 Ab 0,60 Bb	1,96 Aa 1,13 Ba	1,20 Ab 0,70 Ab	2,14 Aa 1,47 Aa	0,94 Aa 0,38 Aa	0,97 Aa 0,38 Ba	48,78 Aa 29,68 Ba	32,58 Ab 14,38 Bb	19,21 Aa 13,48 Ba	13,77 Ab 6,75 Bb	178,54 Aa 115,40 Ba	116,91 Ab 56,14 Bb
	100	com sem	1,56 Ab 0,94 Bb	2,02 Aa 1,24 Ba	1,70 Ab 0,98 Ab	2,55 Aa 2,04 Aa	0,95 Aa 0,41 Ba	1,01 Aa 0,41 Ba	60,78 Aa 36,48 Ba	38,09 Ab 20,07 Bb	19,29 Aa 13,52 Ba	14,69 Ab 7,89 Bb	207,32 Aa 163,31 Ba	149,21 Ab 108,23 Bb
	200	com sem	1,40 Ab 0,93 Bb	1,94 Aa 1,34 Ba	1,48 Ab 1,43 Ab	2,58 Aa 2,46 Aa	1,02 Aa 0,44 Ba	1,38 Aa 0,72 Ba	74,75 Aa 38,57 Ba	34,38 Ab 18,61 Bb	23,20 Aa 14,96 Ba	13,96 Ab 6,26 Bb	219,80 Aa 174,71 Ba	144,10 Ab 83,81 Bb
Consoiciado	0	com sem	0,50 Aa 0,39 Aa	0,63 Aa 0,49 Aa	1,03 Aa 0,72 Aa	1,20 Aa 1,11 Aa	0,24 Aa 0,16 Aa	0,33 Aa 0,24 Aa	14,71 Aa 9,00 Aa	10,11 Aa 8,64 Aa	9,15 Aa 4,56 Aa	7,02 Aa 2,42 Aa	64,56 Aa 32,54 Aa	35,35 Aa 18,55 Aa
	25	com sem	0,75 Aa 0,43 Aa	0,79 Aa 0,59 Aa	1,15 Aa 0,95 Aa	1,31 Aa 1,14 Aa	0,40 Aa 0,22 Aa	0,79 Aa 0,26 Ba	28,89 Aa 11,36 Ba	12,20 Ab 10,09 Aa	15,49 Aa 8,08 Ba	9,07 Ab 3,45 Aa	94,73 Aa 36,72 Aa	40,12 Ab 20,74 Aa
	50	com sem	1,24 Ab 0,50 Bb	1,73 Aa 1,11 Ba	1,38 Ab 1,10 Ab	2,14 Aa 1,84 Aa	0,84 Aa 0,25 Ba	0,89 Aa 0,28 Ba	44,06 Aa 27,44 Ba	28,31 Ab 10,71 Bb	16,87 Aa 7,39 Ba	11,18 Bb 4,78 Ba	163,21 Aa 105,84 Ba	102,18 Ab 54,26 Bb
	100	com sem	1,37 Ab 0,79 Bb	1,86 Aa 1,34 Bb	1,45 Ab 1,47 Aa	2,10 Aa 1,88 Aa	0,87 Aa 0,34 Ba	0,91 Aa 0,30 Ba	47,10 Aa 29,30 Ba	33,11 Ab 21,58 Aa	20,22 Aa 13,52 Ba	14,20 Ab 8,12 Bb	185,30 Aa 128,56 Ba	121,38 Ab 68,28 Bb
	200	com sem	1,16 Ab 0,71 Bb	1,92 Aa 1,40 Bb	1,21 Ab 1,12 Ab	2,15 Aa 1,93 Aa	0,78 Aa 0,22 Ba	1,12 Aa 0,42 ba	55,00 Aa 32,80 Ba	30,33 Ab 25,45 Aa	21,20 Aa 14,88 Ba	10,72 Ab 6,08 Ab	197,94 Aa 139,42 Ba	111,41 Ab 51,15 Ba

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

do sistema radicular, aumentando a absorção desses nutrientes, e sua translocação e concentração nas folhas, como relatado por Lu e Miller, 1989).

A inoculação com *Glomus etunicatum* mostrou um efeito distinto na absorção dos diferentes nutrientes em função da cultura, independente do sistema de cultivo. Segundo Vejsadova et al. (1992), o efeito dos fungos micorrízicos na aquisição de nutrientes está relacionado à colonização das raízes e seu efeito sobre a sua morfologia e sobre os microorganismos na rizosfera. No sorgo, tanto em monocultivo quanto consorciado com a soja a inoculação com *Glomus etunicatum* afetou a concentração de quase todos os nutrientes, com exceção do Mn). A concentração dos nutrientes Ca, Mg, Zn e Cu foi reduzida nas plantas inoculadas, possivelmente pelo efeito de diluição resultante do crescimento do sorgo. Contudo, esse efeito não explica totalmente o decréscimo desses nutrientes (Nielsen e Jensen, 1983), principalmente para os nutrientes Ca e Mg cujo transporte preferível é via fluxo de massa da solução do solo para as raízes (Kothari, Marchner e Romheld, 1990; Lu e Miller, 1989). Os teores de Mn não foram afetados pela inoculação com *Glomus etunicatum*. O efeito dos fungos micorrízicos sobre a absorção de Mn pelas raízes tem sido mostrado como um efeito indireto. Os fungos micorrízicos, podem diminuir a liberação de compostos de baixo peso molecular pelas raízes e afetar a atividade de microorganismos solubilizadores na rizosfera (Dixon, Garret e Cox., 1989; Kothari, Marschner e Romheld, 1990), diminuindo a sua absorção pelas raízes. Na soja, a inoculação com *Glomus etunicatum* afetou significativamente ($p \leq 0,05$) as concentrações de K, Ca, Zn, Cu e Mn. A concentração de Mg não foi influenciada pela inoculação (Tabela 4). As concentrações desses nutrientes nas plantas foram menores na soja inoculada independente do sistema de cultivo (Tabela 8). Como discutido anteriormente para o sorgo, o decréscimo nas concentrações desses nutrientes nas plantas pode ser devido ao efeito de diluição, e não a um efeito de redução na sua absorção pelo fungo micorrízico, como relatado por Bethlenfalvay et al. (1989).

A aplicação de N em cobertura influenciou significativamente ($p \leq 0,05$) as concentrações de K, Ca, Mg, Zn e Mn no sorgo e as concentrações de K, Mg, Zn, Cu e Mn na soja (Tabela 4). O efeito do N está relacionado com a alteração do pH da rizosfera, diminuindo a acidez trocável e aumentando a concentrações dos cátions trocáveis, como relatado por Vaast e Zasoski (1992). Além disso a aplicação de N estimulou a colonização das raízes do sorgo e da soja (Figura 6) aumentando a assimilação desses nutrientes.

3.8 Teor de proteína nos grãos

Os dados referentes à análise de variância do teor de proteína, (PB) nos grãos do sorgo granífero e da soja são mostrados na Tabela 9. O teor de proteína foi afetado por todos os fatores estudados em ambas as culturas e pela interação sistema de cultivo x P x Inoculação x N no sorgo e P x I x N na soja (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo das análises de Variâncias (Quadrado médio, nível de significância e coeficiente de variação) do teor de proteína nos grãos de sorgo e da soja em função do sistema de cultivo, doses de fósforo, inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de nitrogênio em cobertura.

Fontes de variação		Teor de proteína		soja	
Sistema de cultivo (C)					
Fósforo (P)	107,96**			22,56**	
Inoculação (I)	21,29**			138,19**	
Nitrogênio (N)	6,34**			388,36**	
C x P	8,99**			65,29**	
C x I	ns			ns	
C x N	ns			18,15**	
P x I	0,32**			22,63**	
P x N	0,04 *			39,79**	
I x N	ns			11,35**	
C x P x I	0,27**			42,86**	
C x P x N	0,04*			ns	
C x I x N	ns			ns	
P x I x N	0,22**			6,69*	
C x P x I x N	0,06**			ns	
Resíduo	0,014			2,52	
CV %	11,22			14,49	

*, * Significativo pelo teste F a níveis de 1% e 5%.

3.8.1 Sorgo

O efeito da interação sistema de cultivo x inoculação é mostrado na Figura 18 e seguiu uma resposta quadrática em relação as doses de P. No monocultivo e no consórcio, as doses de P mostraram efeitos semelhantes sobre o PB nos tratamentos com e sem inoculação com fungo micorrízico. Entretanto, a dose de P que resultou no teor máximo de PB nos grãos, foi maior no consórcio que no monocultivo, possivelmente devido à competição pelo P com a soja. No monocultivo, tanto para o sorgo inoculado como sem inoculação, a dose máxima de P que resultou em maior PB no sorgo foi 145 mg P / kg de solo. No consórcio, essas doses foram 151 e 148 mg P / kg de solo respectivamente para o sorgo inoculado e não inoculado. Entretanto, doses altas de P reduziram o PB dos grãos em todos os tratamentos, em relação ao teor máximo do PB. A inoculação aumentou o teor de PB nos grãos, no monocultivo e no consórcio. Os aumentos no PB devido a inoculação com fungo micorrízico foram 2,99 e 3,51% respectivamente para o sorgo em monocultivo e consorciado, considerando as doses de P que resultaram em máximo PB. Comparando os valores obtidos, verifica-se que o sorgo inoculado apresentou 17,3 % a mais de PB no consórcio que em monocultivo. A mesma resposta foi verificada no sorgo consorciado não inoculado, em relação ao monocultivo, mostrando um acréscimo de 19,21 % no PB dos grãos. Verifica-se que independente da inoculação, a consorciação com a soja aumentou o teor de PB nos grãos do sorgo, possivelmente como resultado de uma transferência de N da soja, o que se relaciona diretamente o teor de proteína.

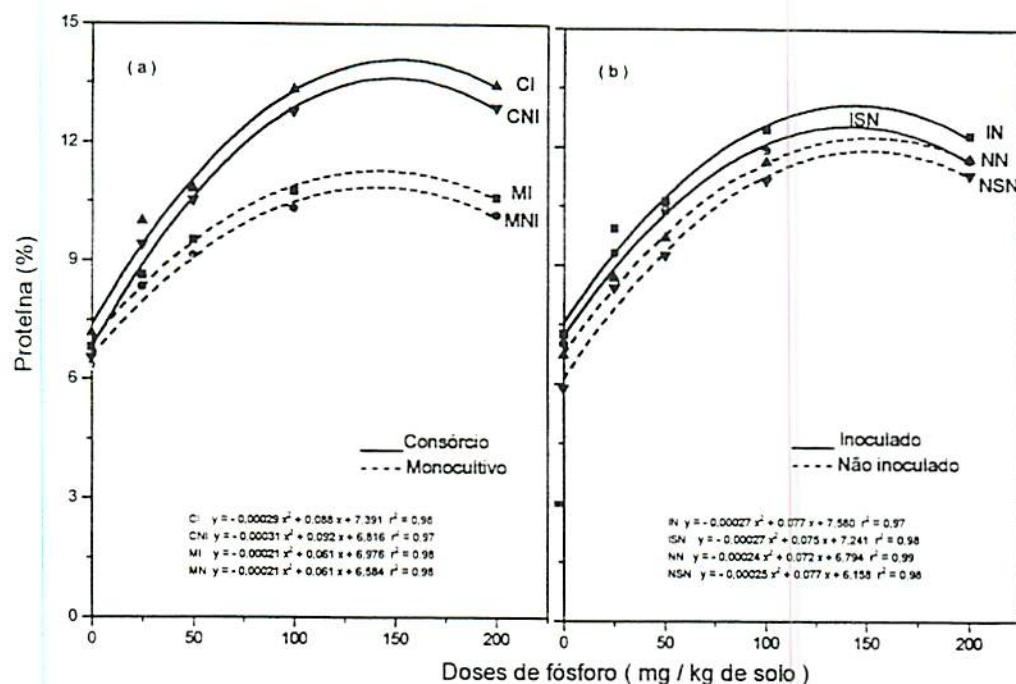


Figura 18 Teor de proteína nos grãos do sorgo em função do (a) sistema de cultivo e inoculação com *Glomus etunicatum*, (b) inoculação e aplicação de N, em diferentes doses de P. (MI) Monocultivo inoculado, (MNI) monocultivo não inoculado, (CI) Consórcio inoculado, (CNI) Consórcio não inoculado, (IN) Inoculado + N, (ISN) Inoculado sem N, (NN) Não inoculado + N, (NSN) Não inoculado sem N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

O efeito da interação Inoculação com *Glomus etunicatum* x N sobre o PB é mostrado na Figura 18b. Verificou-se resposta semelhante ao P nos diversos tratamentos de N, porém as plantas que receberam N apresentaram maior teor de proteína. No sorgo inoculado, as doses de P que resultaram em maior PB, foram 142 e 138 mg P / kg de solo, respectivamente para o sorgo com e sem N. Considerando essas doses, verifica-se que o aumento no PB em função do N foi de 4,9 %. No sorgo não inoculado as doses referentes ao máximo PB foram 150 e 154 mg P / kg de solo para os mesmos tratamentos com N. O aumento no teor de proteína devido ao N, nessas doses de P, foi de 0,6 %. Verifica-se que o efeito do N foi maior no sorgo inoculado, possivelmente devido a uma maior absorção desse nutriente pelas plantas micorrizadas.

3.8.2 Soja

Os efeitos da interação sistema e cultivo x inoculação e sistema de cultivo x aplicação de N são mostrados na Tabela 10. A inoculação com fungo micorrízico aumentou significativamente o teor de proteína nos grãos da soja em 13 e 8 %, respectivamente, no monocultivo e consórcio. Entretanto, plantas não inoculadas não apresentaram uma diferença significativa.

Tabela 10. Teor de proteína (%) nos grãos da soja em função do sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* e sistema de cultivo x aplicação de N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com fungo micorrízico		Aplicação de N	
	inoculado	não inoculado	com N	sem N
Monocultivo	38,05 Aa	33,67Ab	39,20 Aa	32,50 Ab
Consórcio	36,31 Ba	33,59 Ab	35,40 Ba	31,40 Ab

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

A aplicação de N aumentou o PB nos grãos, tanto em monocultivo quanto no consórcio. Na soja, com aplicação de N, o teor de proteína foi maior no monocultivo que no consórcio enquanto que, sem N, não foi observada diferença significativa. O teor de proteína está relacionado ao teor de N. Na soja com N, não foi observada formação de nódulos (Figura 8) indicando que o PB nos grãos destas plantas está relacionado ao N absorvido do solo e não ao derivado da fixação biológica de N. Verifica-se que, a aplicação de N mostrou-se mais eficiente no aumento do teor de proteína nos grãos que a fixação biológica. Os aumentos obtidos para esses teores foram 7,79 e 3,5 %, respectivamente para os tratamentos com e sem N.

O efeito da interação P x inoculação com *Glomus etunicatum* x N nos grãos da soja é mostrado na Figura 19. Como verificado para o sorgo, o P influenciou o PB da soja. Nos tratamentos com inoculação, os teores máximos de proteína nos grãos 44,17 e 39,24 % foram atingidos nas doses de 128 e 141 mg / kg de solo, respectivamente, para a soja com e sem N. As plantas sem inoculação mas com N não atingiram o máximo teor de proteína na maior dose de P aplicada ao solo (200 mg P / kg de solo). Entretanto, aquelas que não receberam N atingiram o máximo teor de proteína nos grãos com a aplicação de 144 mg P / kg de solo resultando em 34,33% de proteína nos grãos (Figura 9). O efeito da inoculação sobre o teor de proteína foi influenciado pela aplicação de N. A inoculação aumentou o PB em 20,46 e 10,54 %, respectivamente para a soja com e sem N., considerando as doses de P que resultaram em máximo valor de proteína nos grãos. Verifica-se que, na soja micorrizada, o teor de proteína dos grãos, não está somente relacionado a maior absorção de N pela soja micorrizada, mas também à maior assimilação de P, que estimulou a formação de nódulos (Figura 6) e a fixação simbiótica de N.

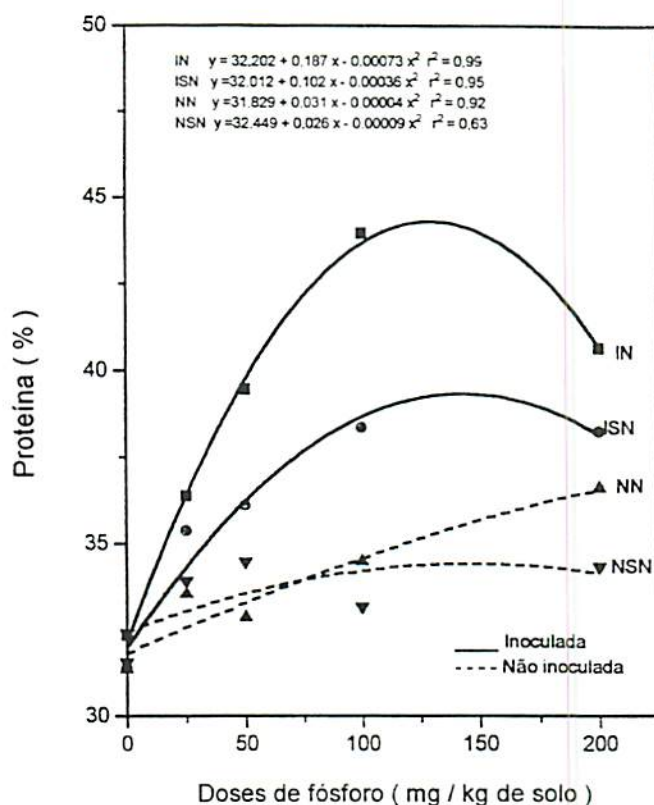


Figura 19 Teor de proteína nos grãos da soja em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N, em diferentes doses de P. (IN) Inoculada + N, (ISN) Inoculada sem N, (NN) Não inoculada + N, (NSN) Não inoculada sem N. Sete Lagoas, (MG), 1975.

Na consorciação gramínea - leguminosa o aumento na produção da matéria seca na gramínea tem sido atribuído a uma transferência de N da leguminosa para a gramínea (Broadbent, Nakashima e Chang, 1982; Ta e Faris, 1987),

O sorgo possui uma vantagem competitiva por nutrientes relacionada a sua maior massa radicular, que leva a uma maior exploração do solo, como relatado por Rabotnov, (1977). Além disso, uma maior eficiência na utilização dos nutrientes absorvidos principalmente do N, pode ter contribuído para um maior PMSPA no sorgo em relação a soja. O acréscimo no PMSPA do sorgo consorciado com a soja pode ser atribuído a transferência de N da soja para o sorgo, e a inoculação com fungo micorrízico contribuiu para o aumento dessa transferência. A proximidade das raízes das plantas consorciadas é um fator importante na transferência de N entre plantas (Hamel et al, 1991). Além disso, é conhecido que o fungo micorrízico pode absorver e translocar o N entre as plantas consorciadas (Ames et al, 1983; Van Kessel, Singleton e Hoben, 1985; Hamel et al. 1991). A aplicação de N contribuiu para o aumento do PMSPA do sorgo. A resposta à aplicação do N em cobertura aumentou com as doses de P, indicando que, em condições de baixa disponibilidade desse nutriente a planta absorve menos N, como também verificado por Rufty, Mackown e Israel (1990). Nas plantas

inoculadas, esse fato está relacionado à ação estimulatória do N sobre o fungo micorrízico, aumentando a colonização micorrízica das raízes e a absorção desse nutriente, como também verificado por Furlan, Bernier e Cardou, (1989).

Além disso, o PMSPA do sorgo mostrou uma correlação positiva com as enzimas Glutamina sintetase (GS) e Fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC) no monocultivo e no consórcio. Os valores obtidos para essas correlações foram: GS ($r = 0,68^*$ e $r = 0,66^*$), PEPC ($r = 0,71^*$ e $r = 0,69^*$), respectivamente para o monocultivo e consórcio. A inoculação com fungos micorrízicos aumentou o teor de N nas folhas e a atividade da GS, resultando em maior assimilação de NH_4^+ e maior síntese de aminoácidos. Entretanto, devido a maior síntese de aminoácidos, há necessidade de se produzir mais cadeias carbonicas para a síntese de proteína. Com isso, há um aumento da atividade da enzima PEPC fixando mais CO_2 e aumentando a produção da cadeia carbonica para a síntese de proteínas. Além disso, a maior absorção de P pelo fungo micorrízico disponibiliza mais P para a ativação da PEPC. Verifica-se que o consórcio, a inoculação com fungo micorrízico aumentam o PMSPA do sorgo, a atividade das enzimas do metabolismo do N estão envolvidas na produção na matéria seca do sorgo.

O efeito do P sobre o PMSPA está relacionado com a capacidade fotossintética da soja. Em baixa disponibilidade de P, pode ter ocorrido uma redução na capacidade fotossintética da soja, uma diminuição no suprimento de compostos fotossintetizados para os nódulos, menor energia, (ATP) disponível para a assimilação de N e menor fixação biológica de N com consequente redução na produção de matéria seca, como relatado nos trabalhos de Rao e Terry, (1989) e Qiu e Israel, (1992). Os dados obtidos para a nodulação (Figura 6) mostraram que em baixas doses de P ocorreu uma baixa nodulação da soja resultando em baixa fixação biológica de N e menor PMSPA da soja.

A concentração de N nas folhas da soja em monocultivo foi maior que na soja consorciada com o sorgo devido à competição por N. Entretanto, o sorgo absorvendo N, diminui sua disponibilidade para a soja propiciando uma melhor condição para o desenvolvimento da fixação biológica do nitrogênio, mesmo que esse aumento não tenha levado a um aumento do PMSPA quando comparado com o obtido na aplicação de N. O PMSPA da soja mostrou uma correlação positiva com a GS ($r = 0,78^*$ e $r = 0,70$) respectivamente para a soja e em monocultivo em consórcio com o sorgo. Como discutido para o sorgo, os teores de N nas folhas da soja afetaram a atividade da enzima GS. Na soja consorciada, a menor concentração desse nutriente pode ter reduzido a atividade da GS. O decréscimo na atividade da GS normalmente leva à redução no processo de assimilação do NH_4^+ e consequentemente redução no PMSPA, como proposto por Sechley, Yamaha e Oaks (1992).

Verifica-se que o consórcio com a soja favoreceu o sorgo, aumentando o peso da parte aérea seca, o peso dos grãos secos e o teor de N nas plantas, que resultou em aumento no teor de proteínas nos grãos do sorgo. O aumento de N foi maior em plantas com *Glomus etunicatum*, resultado de maior absorção e possível transferência de N da soja para o sorgo. O sistema de cultivo e a inoculação com *Glomus etunicatum* influenciaram a relação P / N nas folhas do sorgo e da soja e afetaram o peso da matéria seca da parte aérea e o peso dos grãos secos.

5. CAPÍTULO 3

EFEITO DA INOCULAÇÃO COM FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR NA TRANSFERÊNCIA DE N NA CONSORCIAÇÃO SORGO GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* L. Moench) E SOJA (*Glycine max* L.).

1. Introdução

Os fungos micorrízicos arbusculares são de ocorrência generalizada na maioria dos ecossistemas terrestres, e por não apresentarem especificidade hospedeira, podem colonizar simultaneamente diferentes plantas da mesma espécie ou de espécies distintas (Mosse, 1973; Gerdeman e Trappe, 1974; Gianinazzi, 1991). Isto permite a formação de interconexões de hifas as quais favorecem a transferência de C e nutrientes entre as plantas, especialmente N e P (Henson e Heichel, 1984; Newman e ritz, 1986; Bethlenfalvay et al., 1991; Ledgard, 1991; Dubach e Ruselle, 1994).

A ocorrência ou formação destas pontes de hifas interfere na competição entre plantas, tornando-se de grande importância ecológica e também agronomica em sistemas de consorciação de culturas, especialmente naqueles com gramíneas e leguminosas, onde existem grandes diferenças nutricionais entre as espécies. Nessas consorciações, um dos principais benefícios é a transferência de compostos nitrogenados, derivados da fixação biológica de N através de exsudatos radiculares, como a amônia, aminoácidos, proteína, glutamato, serina, alanina e aspartato (Bowen e Smith, 1981; Wild, 1988; Jansen, 1990) os quais podem estar disponíveis para a gramínea (Eagleshan et al., 1981; Brophy e Heichel, 1989). Os mecanismos de transferência de N da leguminosa para as gramíneas ainda não estão bem definidos mas podem ocorrer por transferência rápida (Virtanen, Von Hauson e Laine, 1937) ou transferência lenta através da mineralização dos nódulos (Henzell e Vallis, 1977). Whittingham e Read, (1982), relataram que a transferência direta de nutrientes entre plantas consorciadas ocorreu na direção fonte - dreno via hifas micorrízicas. O N pode ser transferido diretamente via hifas micorrízicas (Ledgard, Freney e Simpson, (1985); Van Kessel, Singleton e Hoben, 1985), embora vários estudos não detectaram a transferência do N fixado pela leguminosa para a

gramínea (Danzo et al, 1987; Henzell e Vallis, 1977) ou consideraram sendo de pequeno efeito sob condições deficientes de N (Giller, Ormesher e Awah, 1991).

No presente experimento estudou-se a transferência de N da soja para o sorgo consorciados e inoculados com fungo micorrízico.

2. Materiais e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se um delineamento completamente casualizado, em fatorial 2 x 2, composto de 2 sistemas de cultivo (consórcio e monocultivo) e 2 tratamentos de inoculação (inoculado ou não com *Glomus etunicatum*) e 4 repetições por tratamento. O sorgo em consórcio e em monocultivo recebeu a aplicação N em cobertura, enquanto a soja não o recebeu.

O solo e o seu preparo para plantio e as cultivares utilizadas foram as mesmas descritas no experimento no capítulo 2. O solo foi colocado em recipientes plásticos de 2,0 kg, divididos em compartimentos como mostrado na Figura 1. A separação dos compartimentos com 2 telas de nylon de 50 µm, separadas entre si 6 cm, evita a passagem das raízes através dos compartimentos porém permite a interconecção das plantas, nos compartimentos, pelas hifas micorrízicas. No monocultivo, o sorgo granífero ou a soja foram plantados em um dos lados dos compartimentos completando-se o outro com solo.

A adubação de plantio foi efetuada adicionando-se ao solo superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente como fontes de P (100 mg / kg de solo) e K (100 mg / kg de solo). O nitrato de amônio (10 mg / Kg de solo) em solução foi aplicado em cobertura para o sorgo granífero 10 dias após a germinação. A dose de P foi tomada como referencia, em função da resposta do *Glomus etunicatum* , ao P, no experimento discutido no capítulo 1, e o K foi baseado nos dados da análise de solo. A inoculação com *Glomus etunicatum* e *Bradyrhizobium japonicum* seguiu o mesmo procedimento descrito no experimento no capítulo 2, porém foram aplicados 5 ml de inóculo de *Glomus etunicatum* com uma densidade de 108 esporos / ml. Os tratamentos sem inoculação com fungo micorrízico receberam uma solução filtrada de inoculante.

O plantio foi efetuado utilizando-se 5 sementes de sorgo granífero e cinco de soja por compartimento. O desbaste foi efetuado 10 dias após a emergência, deixando-se uma planta de sorgo granífero ou soja por compartimento. A irrigação foi efetuada em função das necessidades das culturas, mantendo-se 60 % do VTP do solo, por pesagem dos vasos.

O experimento foi conduzido até 45 dias após o plantio. As plantas foram colhidas separando-se a parte aérea e as raízes para a obtenção dos seus respectivos pesos verdes. A parte aérea e as raízes foram separadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa a 75 °C até peso constante. Após a secagem foram determinados o peso da parte aérea seca e o peso das raízes secas. O extrato foliar para a determinação de N e P foi obtido segundo Sarruge e Haag (1974). As concentrações

foram obtidas pelo método de Kjeldahl e P por espectrometria de emissão de plasma. Os valores obtidos foram utilizados para a avaliação da quantidade de N transferido da soja para o sorgo.

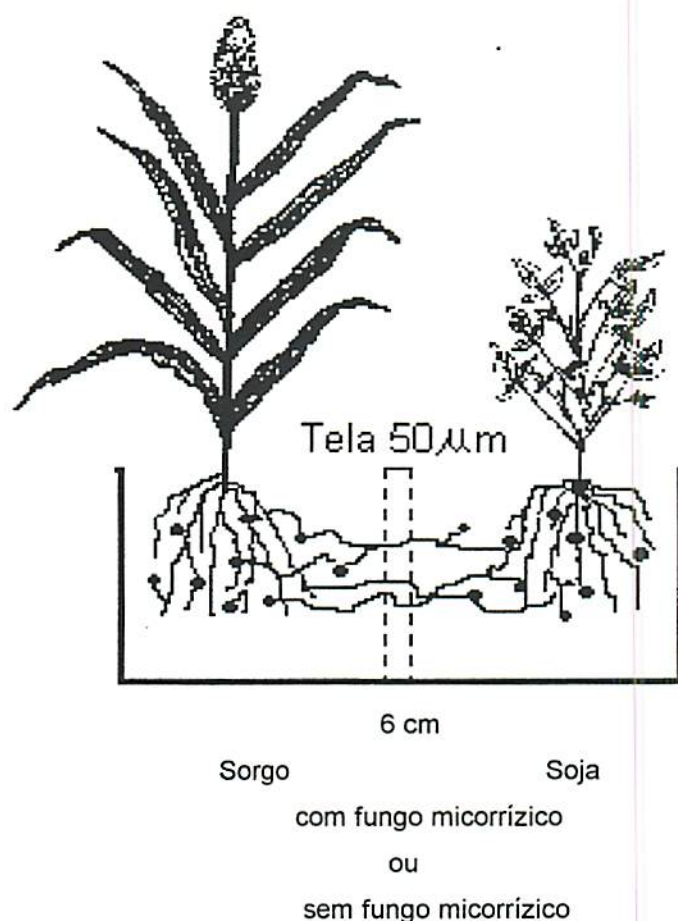


Figura 1. Esquema do vaso com compartimentos utilizado na consorciação sorgo - soja.

As raízes do sorgo granífero e da soja, consorciados ou em monocultura, foram amostradas para a determinação da colonização das raízes *Glomus etunicatum*. As raízes foram clarificadas e coloridas com azul de tripano em lactofenol, segundo Phillips e Hayman (1970) e a porcentagem de colonização foi estimada pelo método da intersecção segundo Giovanetti e Mosse (1980).

Os dados obtidos foram analisados pelo programa MSTAT-C (1989). Os dados referentes à porcentagem de colonização das raízes foram transformados em arco seno antes de serem analisados estatisticamente.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra a análise de variância do peso da matéria seca da parte aérea , PMSPA, do sorgo e da soja, o peso das raízes secas e o teor de N na parte aérea do sorgo e da soja.

Tabela 1 Resumo das Análises de Variâncias (Quadrado médio, nível de significância e coeficiente de variação) do peso da matéria seca da parte aérea , peso das raízes secas do sorgo e da soja e teor de nitrogênio nas folhas em função do sistema de cultivo e inoculação com *Glomus etunicatum*.

Fontes de variação	Peso da matéria seca da parte aérea (g / planta)	Peso das raízes secas (g / planta)	Teor de Nitrogênio nas folhas (dag / kg)
Sorgo			
Sistema de cultivo (C)	0,221*	ns	0,240*
Inoculação (I)	0,331*	ns	1,863*
C X I	ns	ns	0,325*
Resíduo	0,003	0,005	0,008
CV (%)	9,52	27,83	1,99
Soja			
Sistema de cultivo (C)	0,073*	ns	0,203*
inoculação (i)	ns	ns	0,303*
C X I	0,060*	ns	0,168*
Resíduo	0,001	0,001	0,001
CV (%)	6,56	16,69	0,68

* Significativo pelo teste de F a nível de 5%.

3.1 Produção de matéria seca.

O PMSPA do sorgo foi influenciado pelo sistema de cultivo, pela inoculação com *Glomus etunicatum* , enquanto que a soja foi afetada pelo sistema de cultivo e pela interação sistema de cultivo x inoculação (Tabela 1).

Verifica-se que o consórcio aumentou o PMSPA do sorgo (Tabela 2). Esse aumento no consórcio foi de 58,53 %. A inoculação com *Glomus etunicatum* proporcionou um aumento do PMSPA do sorgo em monocultivo e em consórcio. No monocultivo, o sorgo inoculado com *Glomus etunicatum*, mostrou um aumento no PMSPA de 76,6 % em relação ao tratamento não inoculado, enquanto no consórcio, esse aumento foi de 70,8 %.

Tabela 2 Peso da matéria seca da parte aérea e das raízes do sorgo e da soja e colonização das raízes em diferentes sistemas de cultivo e inoculação com fungo micorrízico. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com fungo micorrízico	Peso da matéria seca da parte aérea (g / planta)		Peso das raízes secas (g / planta)		Colonização das raízes (%)	
		sorgo	soja	sorgo	soja	sorgo	soja
Monocultivo	inoculado	0,53 A	0,50A	0,28 A	0,21 A	41,3 Aa	39,0 Ab
	não inoculado	0,30 B	0,39 B	0,24 A	0,19 A	0 B	0 B
Consórcio	inoculado	0,82 A	0,24 B	0,29 A	0,20 A	44,6 Aa	40,3 Ab
	não inoculado	0,48 B	0,38 A	0,23 A	0,18 A	0 B	0 B

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas dentro do sistema de cultivo e minúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

A interação sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum*, na soja, é mostrada na Tabela 3. No monocultivo a inoculação aumentou o PMSPA da soja em 28,2 %. Entretanto no consórcio a inoculação desfavoreceu a soja ,verificando-se uma redução de 36,8% no seu PMSPA.

Na soja não inoculada, não foi verificada diferença no PMSPA entre o monocultivo e o consórcio. De acordo com o esquema dos vasos utilizados no experimento (Figura 1), a tela de 50 μm e a distância entre os compartimentos não permitiu contato entre as raízes do sorgo e da soja e, não havendo a presença de hifas micorrízicas, que pudessem permitir a interligação entre as raízes, a soja consorciada ,nesse tratamento, mostrou o mesmo comportamento da soja em monocultivo.

O consórcio favoreceu o sorgo proporcionando um aumento no PMSPA, enquanto na soja ocorreu redução no PMSPA. Considerando-se o aspecto fonte - dreno, a soja mostrou ser a planta doadora de N e o sorgo a planta receptora. A simbiose com *Glomus etunicatum* beneficiou o sorgo em monocultivo e consorciado, porém a soja sómente foi beneficiada em monocultivo.

Tabela 3. Peso da matéria seca da parte aérea (g/planta) da soja em monocultivo e em consórcio, inoculada e não inoculada com *Glomus etunicatum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG).1995.

Sistema de cultivo	inoculada	não inoculada
Monocultivo	0,50 Aa	0,39 Ab
Consórcio	0,24 Bb	0,38 Aa

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

3.2 Colonização das raízes

Tanto em monocultivo quanto em consórcio as raízes do sorgo como as da soja foram colonizadas por *Glomus etunicatum*, sendo maior no sorgo. O sorgo mostrou maior colonização das raízes que a soja tanto no monocultivo quanto no consórcio (Tabela 2). Hamel et al, (1991), relataram que a colonização das raízes apresenta maiores valores quando as plantas são consorciadas, e o contato entre as raízes ocorre através das hifas micorrízicas. A fixação biológica de N, requerendo alta demanda de P, e o sistema radicular menos desenvolvido, caracterizam a soja como sendo mais dependente da colonização micorrízica, portanto com maior micotrofia. A condição de baixa disponibilidade de N no solo, pode ter afetado a resposta das plantas a colonização. Na soja, essa condição favorece a fixação biológica de N (Pate e Dart, 1961).

3.3 Concentração de nitrogênio.

A concentração de N, no sorgo e na soja é mostrada na Tabela 4. No sorgo inoculado, o consórcio com a soja aumentou a concentração de N no sorgo em 75,7 %. Por outro lado, na soja para os mesmos tratamentos houve um decréscimo de 39,4 %, nessa concentração, em relação ao monocultivo. No tratamento, sem inoculação, não foi verificada uma diferença significativa entre o consórcio e o monocultivo tanto no sorgo como na soja. Contudo, a inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou a concentração de N na parte aérea do sorgo e da soja, em monocultivo e consorciados.

Tabela 4 Concentração de N (dag / kg) no sorgo e na soja, em monocultivo e consorciados, inoculados e não inoculados com *Glomus etunicatum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com <i>Glomus etunicatum</i>	
	inoculado	não inoculado
Sorgo		
Monocultivo	1,32 Ba	0,86 Ab
Consórcio	2,34 Aa	1,05 Ab
Soja		
Monocultivo	4,35 Aa	2,54 Ab
Consórcio	3.12 Bb	2,48 Aa

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Considerando os dados da Tabela 4, verifica-se que no sorgo em consórcio e inoculado , houve um acréscimo de 1,02 dag N / kg, em relação ao monocultivo enquanto na soja houve uma redução de 1,23 dag / Kg. Relacionando-se esse aumento de N no sorgo e o seu decréscimo na soja, com os dados obtidos para o PMSPA, verifica-se essa transferencia foi suficiente para promover o aumento do PMSPA do sorgo e levar a uma redução na soja. Como no consórcio não houve contato entre as raízes do sorgo e da soja, devido a separação das plantas pelas telas de 50 μ m (Figura 1), e considerando que tanto o sorgo em monocultivo quanto consorciado recebeu a mesma aplicação de N no plantio e o aumento na concentração de N no sorgo somente foi significativo pela inoculação com *Glomus etunicatum*, conclui-se que a colonização desempenha papel importante na transferência de N entre plantas de sorgo e soja consorciadas, confirmando vários outros estudos sobre a transferência de N entre plantas (Bowen, 1969; Van Kessel, Singleton e Hoben, 1985; Cooper e Tinker 1978; Bethlenfalvay et al., 1991; Broadbend, Nakashima e Chang, 1982).

A soja não recebeu a adição de N, portanto a maior parte do N medido na sua parte aérea é originário da fixação biológica , assim como o N transferido para o sorgo, que se desenvolveu em condições de baixa disponibilidade de P (10 mg / kg de solo). Segundo Haystead, Malajczuk e Grove, (1987), em condições de baixa disponibilidade de N ocorre uma transferência de N da leguminosa para a gramínea. Os trabalhos realizados sobre a transferência de N, tem mostrado que o N transferido varia de 3 % a 79% do N fixado (Simpson, 1976; Brophy, Heichel e Russelle, 1987).

A concentração de P no sorgo e na soja é mostrada na tabela 5. Verifica-se o consórcio reduziu a concentração de P no sorgo e na soja. Essas reduções foram de 80 e 42%, respectivamente para o

sorgo e a soja. A inoculação reduziu o teor de P no sorgo e na soja inoculados em relação ao monocultivo.

Tabela 5 Concentração de P (dag / kg) no sorgo e na soja, em monocultivo e consorciados, inoculados e não inoculados com *Glomus etunicatum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com <i>Glomus etunicatum</i>	
	inoculado	não inoculado
Sorgo		
Monocultivo	0,09 Aa	0,07 Ab
Consórcio	0,05 Bb	0,07 Aa
Soja		
Monocultivo	0,12 Aa	0,10 Ab
Consórcio	0,07 Bb	0,09 Aa

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$).

Verifica-se que a inoculação favoreceu a soja quando consorciada com o sorgo . Apesar de não ter havido um ganho de P para a soja consorciada, a redução na concentração de P em relação ao monocultivo foi menor que no sorgo. Isso indica que , o processo de transferência de N da soja para o sorgo, pode ter ocorrido concomitantemente com o processo de transferência de P do sorgo para a soja, ou a inoculação com *Glomus etunicatum* proporcionou um equilíbrio na competição pelo P, em vista a alta demanda por esse nutriente no processo de fixação biológica de N, como relatado por Bethenfalvy e Ferrera - Cerrato (1990). Além disso, a inoculação com fungos micorrízicos, aumentando a absorção de P do solo e a transferência de P da gramínea para a leguminosa, aumenta a fixação biológica de N e a quantidade de N que pode ser transferido da leguminosa para a gramínea.

Embora os dados indiquem que ocorreu um maior acúmulo de N no sorgo consorciado, em relação ao monocultivo, e que a inoculação com fungo micorrízico influenciou esse acúmulo, diferentes processos podem ter levado a esse acúmulo de N no sorgo como: transferência direta de N entre as raízes das plantas via hifas micorrízicas ou por uma absorção de exsudatos das raízes da soja, pelas hifas, e sua transferência para o sorgo.

Conclui-se que no consórcio sorgo - soja a inoculação com fungo micorrízico, contribui para a transferência de N do sorgo para a soja e que o sorgo beneficiou-se da consorciação e da inoculação quanto a absorção de N.

6. CAPÍTULO 4

PROTEÍNA E ATIVIDADE DE ENZIMAS DA ASSIMILAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SORGO E SOJA SOB INFLUÊNCIA DE P, N E MICORRIZA.

1. Introdução

O desenvolvimento e produção das plantas são controlados pela capacidade fotossintética das espécies e da integração dos processos de alocação e utilização dos produtos da fotossíntese e sua assimilação (Berry e Throughton, 1974). A eficiente translocação de compostos fotossintetizados é um dos fatores importantes no aumento da produção (Tollemar e Daynard, 1982) estando o metabolismo do C e do N intimamente ligados. Verifica-se uma estreita relação entre os teores de N nas folhas e a assimilação de CO_2 (Ojima, Fukui e Watanabe, 1965; Boote et al, 1978; Cook e Evans, 1983), indicando que o N tem importantes funções na manutenção da capacidade fotossintética e no estabelecimento da capacidade produtiva.

Quanto ao metabolismo de C, as plantas podem ser do tipo C_3 e C_4 . As plantas C_4 possuem uma maior eficiência na utilização do N que as C_3 . Esta vantagem na utilização do N é manifestada na maior produção de matéria seca e assimilação de CO_2 (Schmitt e Edwards, 1981). Estudos comparando a resposta das plantas C_3 e C_4 , à nutrição nitrogenada em condições de baixo suprimento de N, indicam que as plantas C_4 apresentam maior desenvolvimento e são mais competitivas em solos deficientes neste nutriente (Brown, 1978). A maior diferença na utilização do N pelas plantas C_4 em relação às C_3 está relacionada à partição do N entre as proteínas das folhas e sua assimilação de CO_2 .

No metabolismo do N, a Glutamina sintetase, (GS), é uma das principais enzimas envolvidas nesse processo, participando da assimilação da amônia e tendo como produto a síntese da glutamina. A resposta dessa enzima à adição de N, varia com a sua isoforma e localização. A forma GS_2 encontrada nos plastídeos das células do mesófilo celular responde positivamente à adição de N enquanto a encontrada nos plastídeos das células da bainha não respondem ao N (Sakakibara et al, 1992). Oaks (1992) relatou que a forma GS_2 do mesófilo foliar está envolvida na assimilação do NO_3^- , enquanto a localizada nas células da bainha está envolvida na assimilação do NH_4^+ . A forma GS_1 , encontrada no citosol, não mostrou evidências conclusivas da sua resposta ao NH_4^+ . A proporção dessas duas formas nas folhas varia com a espécie de planta e parte da planta (Hirel et al, 1992).

As principais enzimas envolvidas na assimilação do CO_2 nas plantas são a Fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC) e a Ribulose - 1,5 - bifosfato carboxilase (RUBISCO). Todas as plantas possuem essas enzimas mas a proporção entre elas difere entre as plantas C_3 e C_4 . Nas plantas C_4 , o CO_2 é inicialmente catalisado pela PEPC, que transfere o CO_2 das células do mesófilo e o concentra nas células da bainha para melhorar a eficiência da sua fixação pela RUBISCO (Edwards e Huber, 1981). Neste caso a proporção entre as duas enzimas é de 1 : 9 (Latzco e Kelly, 1983). As plantas C_3 contêm em maior quantidade a RUBISCO numa proporção de 15 : 1 em relação a PEPC, contudo a ação da PEPC ainda não é bem estabelecida. A atividade dessas enzimas tem sido estudada em relação à produção de biomassa. No milho, Sugiyama, Mizuno e Hayashi, (1984), não observaram uma relação entre a concentração da RUBISCO e a produção de biomassa porém uma alta correlação positiva foi observada com a atividade da PEPC.

A atividade da PEPC, é controlada pela luz. Entretanto, o efeito da luz se dá através da fosforilação dessa enzima, sendo o P, presente nos tecidos foliares, um fator importante para esse processo. Segundo MacKnaughton et al, (1991), a luz estimula a fosforilação da PEPC aumentando a atividade da enzima proteína-serina quinase, responsável por esse processo (Jiao e Chollet, 1992). Essa ativação, além de aumentar a atividade catalítica da enzima, diminui a ação inibitória do malato sobre a PEPC (Huber, Sugiyama e Akazawa, 1986).

A atividade da RUBISCO é controlada pela enzima Rubisco ativase, através dos açúcares fosfatados. A ativação da RUBISCO é fortemente inibida pela ribulose- 1,5 - bifosfato, frutose - 1,6 - bifosfato e ribose 5 - fosfato. Contudo, essa inibição não ocorre na presença da RUBISCO ativase que possui uma especificidade por esses açúcares fosfatados. A RUBISCO ativase, para a sua ação, necessita de ATP e Mg^{+} (Robinson e Portis, 1989) e o mecanismo pelo qual a Rubisco ativase libera a ligação dos açúcares fosfatados da RUBISCO ainda é desconhecido. Entretanto, açúcares fosfatados como o 6-fosfogluconato estimula a atividade da RUBISCO (Jordan, Chollet e Ogren, 1983).

A atividade dessas enzimas, no sorgo e na soja, e os fatores que a afeta ainda são pouco estudados. O presente estudo avaliou a influência da adição de P ao solo, da inoculação com fungo micorrízico e da aplicação de NO_3^- - N na produção de matéria seca e na atividade de enzimas do metabolismo do C e N nas culturas do sorgo e da soja, em diferentes sistemas de cultivo.

2. Materiais e Métodos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação utilizando-se um delineamento completamente casualizado, em fatorial ($2 \times 3 \times 2 \times 2$) composto de 2 sistemas de cultivo (consórcio e monocultivo), 3 doses de P (50, 100 e 200 mg / kg de solo), consideradas como baixa, ótima e supraótima, 2 tratamentos de inoculação (inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular) e 2 níveis de nitrogênio (com aplicação e sem aplicação de nitrogênio em cobertura) e 3 repetições por tratamento. O solo e as cultivares de sorgo granífero e soja foram os mesmos utilizados no experimento do Capítulo 2.

Os procedimentos utilizados na desinfestação, calagem, fertilização de plantio, aplicação de nitrogênio em cobertura, inoculação com *Glomus etunicatum* e *Bradyrhizobium japonicum* e irrigação foram os mesmos utilizados no experimento do Capítulo 2. As quantidades de fertilizantes e micronutrientes adicionadas ao solo e em cobertura foram ajustadas para vasos com 4 quilos de solo.

O plantio foi efetuado utilizando-se cinco sementes de sorgo granífero e cinco sementes de soja por vaso. O desbaste foi realizado quinze dias após a emergência, deixando-se uma planta de sorgo granífero e uma planta de soja em cada vaso. As condições da casa de vegetação foram temperatura $23 \pm 7^\circ\text{C}$ e luminosidade $600 \mu\text{ einsteins} / \text{m}^2 / \text{seg}$.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação até 45 dias após a emergência das plantas quando foram colhidas separando-se a parte aérea (colmo e folhas) das raízes. A parte aérea foi pesada obtendo-se o peso verde. A coleta das amostras das folhas foi efetuada no período da manhã até às 9:00 horas. Amostras da quarta folha a partir do ápice da haste principal de cada planta de sorgo granífero e soja, foram retiradas, envolvidas em gaze, imersas em nitrogênio líquido e armazenadas a -80°C até o momento das análises, de acordo com os procedimentos utilizados no Laboratório de Biologia Molecular do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS / EMBRAPA).

A parte aérea foi colocada em sacos de papel e seca em estufa a 75°C até peso constante para a determinação do peso seco e concentração de N e P nas folhas.

O preparo do extrato foliar para a determinação da atividade das enzimas fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC) e glutamina sintase (GS) foi efetuado macerando-se 1 grama de tecido foliar (limbo), em areia lavada, a 4°C , com adição de 5 ml de tampão fosfato pH 7,5, $100 \mu\text{l}$ $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ 0,1 M, $50 \mu\text{l}$ EDTA 0,1 M, $10 \mu\text{l}$ DTT 1 M, $10 \mu\text{l}$ PMSF 0,4 M e 100 mg de PVPP. A seguir, a solução obtida foi centrifugada a 18642 g por 15 minutos a 4°C e o sobrenadante foi utilizado como extrato enzimático. Esse procedimento metodológico é utilizado no Laboratório de Biologia Molecular do CNPMS / EMBRAPA.

A atividade da enzima PEPC, foi determinada segundo Meyer, Rustin e Wedding, (1988), tomando-se $100 \mu\text{l}$ do extrato foliar e adicionando-se $500 \mu\text{l}$ de solução tampão contendo Tris - HCl pH 7,5 100 mM, 10 mM $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ e 10 mM de NaHCO_3 . A seguir foram adicionados $20 \mu\text{l}$ de 2-mercaptoetanol 0,5 M, $16,2 \mu\text{l}$ de lactato desidrogenase 1700 unidades / ml, $60 \mu\text{l}$ de malato desidrogenase 10000 unidades / ml, $100 \mu\text{l}$ de glicose-6-fosfato 0,05 M e $100 \mu\text{l}$ NADH 2 mM. A mistura foi incubada em banho maria a 30°C com agitação durante três minutos e transferida para uma cubeta de 1 ml adicionando-se $100 \mu\text{l}$ de PEP 0,05 M. A reação iniciada foi monitorada durante 10 minutos em espectrofotometro a 340 nm. A leitura da absorbância foi utilizada para a determinação da atividade da PEPC, expressa em $\mu\text{mol CO}_2 / \text{g}$ de matéria fresca / minuto.

A atividade da Glutamina sintetase (GS) foi determinada segundo O'Neal e Joy (1974), tomando-se $300 \mu\text{l}$ do extrato foliar e adicionando-se $200 \mu\text{l}$ de Tris - HCl pH 7,5 0,5 M, $100 \mu\text{l}$ de 2-mercaptoetanol 0,1 M, $50 \mu\text{l}$ de $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 0,4 M, $150 \mu\text{l}$ de NH_2OHCl 0,1 M, $100 \mu\text{l}$ de ATP 0,1 M, $100 \mu\text{l}$ de glutamato 0,5 M. Essa mistura foi incubada em banho maria a 30°C por 30 minutos. Após esse tempo, a reação foi

paralizada pela adição de 1,0 ml de uma solução contendo FeCl_3 0,3 M, HCl 0,67 M e TCA 0,20 M. A solução obtida foi centrifugada a 4895 g por cinco minutos e o sobrenadante foi utilizado para a leitura da absorbância em espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da GS foi expressa em unidades de GHA / min / g de matéria fresca, baseada na curva padrão preparada diariamente.

O preparo do extrato foliar para a determinação das proteínas solúveis totais e RUBISCO foi efetuado macerando-se 1 g de tecido foliar (limbo) em areia lavada com a adição de 4 ml de tampão COAT pH 9,6 composto de 0,015 M $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e 0,035 M NaHCO_3 . A seguir foram adicionados 8 μl de DTT 1 M, 10 μl de PMSF 0,4 M e 100 mg de PVPP. A solução obtida foi centrifugada a 18642 g por 15 minutos a 4 ° C e o sobrenadante foi utilizado como extrato enzimático.

A determinação das proteínas solúveis totais (mg de proteínas / g de matéria fresca) nas folhas descongeladas de sorgo granífero e soja foi feita segundo Lowry et al. (1951). Do extrato enzimático obtido foram tomados 20 μl e colocados em tubos de ensaio, adicionando-se 250 μl de NaOH 0,2 N completando-se o volume para 500 μl com H_2O . A seguir adicionou-se 5 ml da solução de Lowry, agitando-se em vortex , deixando-se a solução em repouso por 10 minutos em temperatura ambiente. Após esse tempo foram adicionados 500 μl da solução de fenol 1 N deixando-se por mais 10 minutos em repouso para o desenvolvimento da cor. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 660 nm. A curva padrão foi obtida tomando-se soluções contendo 0, 10, 20, 40, 80, 100, 150 μg de BSA e medindo as suas absorbâncias a 660 nm.

A quantificação da ribulose - 1,5-bifosfato carboxilase (RUBISCO) foi determinada segundo Purcino, Paiva e Silva (1993). O extrato foi diluído 1:5000 e 200 μl da amostra diluída foram colocados em cada orifício de uma placa de gradiente. A placa foi incubada a 37 °C por 4 horas. Após lavada por 3 minutos com PBS - Tween 20, procedeu-se a adição do primeiro anticorpo contra RUBISCO obtido em coelho e diluído (1:1000) em PBS - Tween 20 + 2% PVP. A placa foi incubada por 16 horas em geladeira e novamente lavada com PBS-Tween 20. A seguir, o segundo anticorpo diluído (1:1000), contra IgG do coelho (Sigma A-8025) foi adicionado e a placa foi novamente incubada em geladeira por 16 horas e lavada em seguida por 3 minutos com PBS - Tween 20. Para o desenvolvimento da cor, 200 μl de substrato fosfatase foram adicionados à placa agitando-a por 30 minutos. Após esse tempo adicionou-se 50 μl de NaOH 3M para a paralização da reação. A leitura foi efetuada a 405 nm e utilizada para a determinação da concentração da RUBISCO em curva padrão obtida pela leitura das soluções contendo 160, 135,5, 111,0, 85,5, 62,0, 37,5, 13,0 mg de RUBISCO em 200 μl de solução.

As raízes do sorgo granífero e soja, consorciados ou em monocultura, foram amostradas para a determinação da porcentagem de colonização das raízes por *Glomus etunicatum*. As raízes foram clarificadas e coloridas com azul de tripano em lactofenol segundo Phillips e Hayman (1970) e a porcentagem de colonização foi estimada pelo método da interseção segundo Giovanetti e Mosse (1980).

Os dados obtidos foram analisados pelo procedimento ANOVA do MSTAT-C (1989). Os dados referentes à porcentagem de colonização das raízes foram transformados em arco seno antes de serem analisados estatisticamente.

3.Resultados e Discussão

As Análises de Variâncias para os parâmetros estudados no sorgo granífero e na soja são mostrados na Tabela 1.

3.1 Peso da matéria seca da parte aérea.

3.1.1 Sorgo

O peso seco da matéria seca da parte aérea (PMSPA) mostrou resposta significativa ao sistema de cultivo, níveis de adição de P ao solo, inoculação com *Glomus etunicatum*, aplicação de N em cobertura e às interações sistema de cultivo x inoculação, adição de P x inoculação, aplicação de N e inoculação x aplicação de N (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância (Quadrado médio, nível de significância e coeficiente de variação) do peso da matéria seca da parte aérea, colonização das raízes por fungos micorrízicos, concentração de proteína, concentração de RUBISCO, atividade das enzimas PEPC e GS, concentração de N e P nas folhas do sorgo e da soja em função do sistema de cultivo, doses de fósforo, inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N em cobertura.

Fontes de variação	Peso da matéria seca da parte aérea	Colonização de proteínas nas folhas	Rubisco	PEPC	GS	N	P
Sorgo granífero							
Sistema de Cultivo (C)	87,27*	ns	1294,32*	ns	ns	11,12*	0,095*
Fósforo (P)	518,32*	391,28*	1089,78*	234,82*	1453,33*	0,85*	0,01*
Inoculação (I)	158,32*	20665,44*	466,06*	3947,01*	3947,01*	1,43*	0,149*
Nitrogênio (N)	343,60*	ns	3579,75*	204,86*	52441,06*	34,47*	ns
C x P	ns	ns	754,58*	ns	0,050*	ns	0,009*
C x I	17,22*	ns	90,11*	ns	0,039*	ns	0,076*
C x N	ns	356,76*	ns	ns	ns	1,43*	ns
P x I	17,51*	391,28*	44,87*	49,03*	4246,52*	ns	ns
P x N	44,09*	ns	820,05*	49,03*	4246,52*	ns	0,006*
I x N	29,60*	ns	ns	49,91*	2407,60*	2,09*	ns
C x P x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,004*
C x P x N	ns	ns	836,94*	38,44*	0,030*	ns	0,005*
C x I x N	ns	ns	ns	47,93*	ns	1,56*	ns
P x I x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,004*
C x P x I x N	ns	ns	306,48*	ns	0,045*	ns	0,008*
Resíduo	3,30	9,30	59,52	10,69	663,93	0,149	0,001
CV (%)	8,92	18,00	20,44	23,36	43,13	20,82	18,82
Soja							
C	42,64*	134,94*	2062,67*	148,02*	114,56*	18,20*	0,02*
P	30,92*	325,61*	ns	389,44*	12,49*	3,63*	ns
I	310,70*	8870,50*	ns	36,80*	ns	ns	ns
N	327,51*	ns	1011,54*	37,23*	17,20*	8,21*	ns
C x P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C x I	58,32*	134,94*	ns	ns	0,059*	ns	ns
C x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P x I	ns	325,61*	ns	111,53*	ns	4,23*	ns
P x N	ns	ns	ns	ns	0,208*	ns	ns
I x N	292,31*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C x P x I	ns	ns	ns	ns	ns	0,52*	ns
C x P x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C x I x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P x I x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C x P x I x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Resíduo	2,25	7,38	288,91	6,36	1,48	0,109	0,02
CV (%)	22,46	17,31	1,13	10,36	39,56	26,85	49,14

..* Significativo pelo teste F a nível de 1 e 5 % de probabilidade respectivamente.
nd. Os efeitos do N e suas interações na concentração de proteínas e RUBISCO, e nas atividades das enzimas PEPC e GS não puderam ser testados, visto que, as plantas em monocultivo, que não receberam N, não produziram matéria verde suficiente.

O sorgo mostrou maior PMSPA quando consorciado com a soja (22,50 g / planta). Em monocultivo o PMSPA foi 19,25 g / planta (Tabela 2).

Tabela 2. Peso da matéria seca do sorgo (g / planta), em monocultivo e consorciado com a soja, inoculado e não inoculado com *Glomus etunicatum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com fungo micorrízico		Média
	Inoculado	não inoculado	
Monocultivo	21,20 Ba	17,30 Bb	19,25 B
Consórcio	24,71 Aa	20,29 Ab	22,50 A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

Os dados obtidos para a interação sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* mostraram que a inoculação apresentou uma diferença significativa ($p \leq 0,05$) no PMSPA do sorgo tanto em monocultivo como consorciado. O sorgo não inoculado mostrou uma maior PMSPA quando consorciado com a soja. Dentro dos sistemas de cultivos, no monocultivo e no consórcio, a inoculação aumentou o PMSPA do sorgo. A inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou o PMSPA em todos os níveis de P (Figura 1). No sorgo inoculado, o PMSPA aumentou até a dose de 100 mg P / kg de solo, ocorrendo um decréscimo no seu valor com a adição de 200 mg de P / kg de solo (Figura 1). O sorgo não inoculado, respondeu positivamente à adição de P, em todos os seus níveis. Embora o sorgo inoculado tenha apresentado um decréscimo no PMSPA, na dose de 200 mg P/ kg de solo, o seu PMSPA foi maior que no sorgo não inoculado.

A aplicação de N em cobertura aumentou o PMSPA, em todos os níveis de P. O acréscimo no seu valor, resultante da aplicação, mostrou uma equivalência entre as doses de 100 e 200 mg de P / kg de solo (Figura 1). O PMSPA do sorgo em monocultivo ou consorciado mostrou correlação significativa ($p \leq 0,05$) com a atividade das enzimas GS e PEPC, porém não foi observada correlação com a concentração da RUBISCO. Os coeficientes de correlação são mostrados na Tabela 3. Sugiyama e Hirayama, (1983), verificaram, no milho, uma correlação não significativa entre a concentração da RUBISCO e a produção de biomassa, induzida por uma variação no nível de N na folha. Estudos posteriores sobre a PEPC, Sugiyama, Muzuno e Hayashi, (1984), mostraram que em milho esta enzima está mais diretamente relacionada à produção de biomassa que a RUBISCO.

Os valores obtidos para as enzimas GS e PEPC, indicam que o aumento da atividade dessas enzimas proporciona um aumento no PMSPA do sorgo em monocultivo ou consorciado.

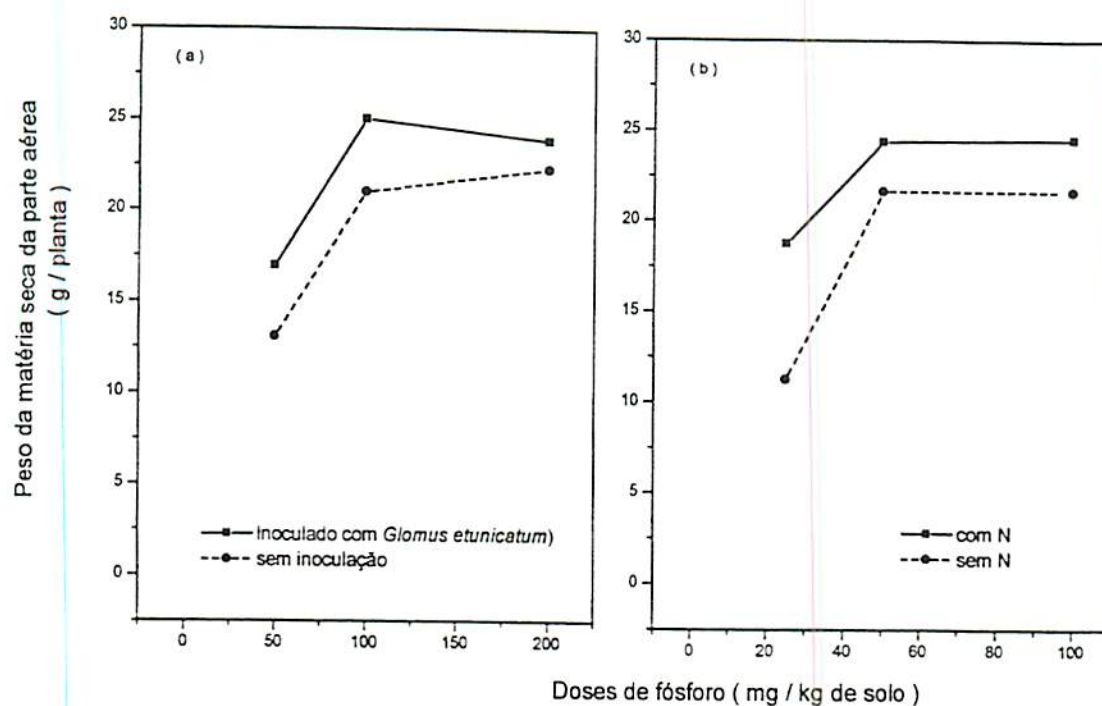


Figura 1 Peso da matéria seca da parte aérea do sorgo em função da inoculação com *Glomus etunicatum* (a) e aplicação de N (b). CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

A atividade da GS está ligada ao processo de assimilação de NH_4^+ , resultando na síntese de aminoácidos e proteína que serão utilizados como fonte de N na produção de biomassa. Contudo, para a síntese de aminoácidos é necessário a disponibilidade de uma cadeia carbônica que será utilizada como esqueleto para sua síntese. A enzima PEPC, no processo de fixação de CO_2 , produz esse esqueleto carbônico necessário à síntese das proteínas. O aumento na síntese de proteínas, disponibiliza mais N para os tecidos em formação aumentando a produção de biomassa.

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre o peso da matéria seca da parte aérea do sorgo e da soja e a atividade das enzimas GS, PEPC e a concentração da proteína RUBISCO.

Variável	Monocultivo		Consórcio	
	Sorgo	Soja	Sorgo	Soja
GS	0,68 *	0,78 *	0,66 *	0,70 *
PEPC	0,71 *	0,51 ^{ns}	0,69 *	0,46 ^{ns}
RUBISCO	0,42 *	0,61 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,58 ^{ns}

* :Significativo ao nível de 5% e não significativo.

ns : não significativo

3.1..2 Soja

O PMSPA da soja mostrou uma resposta significativa ($p \leq 0,05$) ao sistema de cultivo, adição de P ao solo, inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N e às interações sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* e inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N (Tabela 1).

Na interação sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* (Tabela 4) o PMSPA da soja aumentou com a inoculação no monocultivo e no consórcio. Esse aumento foi devido a uma melhor nutrição da soja, decorrente de uma maior absorção de nutrientes pelo fungo micorrízico. O efeito da inoculação sobre o PMSPA foi maior no monocultivo que no consórcio. A redução do PMSPA no consórcio foi o resultado de uma transferência de N para o sorgo através das hifas micorrízicas reduzindo o seu teor na soja e a sua disponibilidade para a produção de matéria seca, visto que, a soja não inoculada não mostrou uma diferença significativa no PMSPA, entre o monocultivo e o consórcio, evidenciando o efeito da inoculação com fungo micorrízico (Tabela 4).

Tabela 4. Peso da matéria seca da soja (g / planta), em monocultivo e consorciada com o sorgo, e inoculada e não inoculada com *Glomus etunicatum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com fungo MA		Média
	Inoculada	não inoculada	
Monocultivo	10,53 Aa	2,56 Ab	6,54 A
Consórcio	6,07 Ba	2,61Ab	4,34 B

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

O efeito da interação inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N sobre o PMSPA é mostrado na Tabela 5. A aplicação de N aumentou o PMSPA da soja inoculada e não inoculada com *Glomus etunicatum*. Este efeito está relacionado à maior disponibilidade de N e à sua absorção pela soja. Além disso, a inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou a absorção desse nutriente resultando um maior PMSPA como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Peso da matéria seca da soja (g / planta), em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N . CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Inoculação com fungo micorrízico	Aplicação de N	
	com N	sem N
Inoculada	9,20 Aa	7,40 Ab
Não inoculada	3,80 Ba	1,37 Bb

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

No tratamento sem a aplicação de N, a inoculação também aumentou o PMSPA da soja. Esse aumento está relacionado à maior absorção de nutrientes, como o P, pelas hifas micorrízicas, aumentando a fixação biológica de N e seus teores na soja, resultando em aumento do PMSPA.

O PMSPA da soja mostrou uma correlação positiva com a atividade da enzima GS. Entretanto não foi observada uma correlação com a atividade da PEPC e a concentração da RUBISCO.

A atividade da GS está relacionada ao metabolismo do N, na assimilação do NH_4^+ . Os fatores que aumentam os teores de N na planta como aplicação de N e inoculação com *Glomus etunicatum*, contribuem para um aumento na atividade dessa enzima, resultando em uma maior disponibilidade de N para a produção da biomassa.

A atividade da PEPC nas plantas C_3 ainda não está bem definida nessas plantas, porém a sua atividade está relacionada à síntese de ácido aspártico (Melzer e O'leary, 1987), que é utilizado como fonte de esqueleto de C para a síntese da asparagina (Mifflin e Lea, 1977).

O PMSPA do sorgo em consórcio foi maior que em monocultivo, entretanto na soja em consórcio houve um decréscimo no seu PMSPA. Esses resultados indicam que o sorgo granífero possuindo maior competitividade por nutrientes que a soja, pode ter levado a uma restrição do desenvolvimento da soja quando consorciada com o sorgo. A inoculação com *Glomus etunicatum* também mostrou um efeito na redução do PMSPA da soja em consórcio. A colonização das raízes do sorgo e da soja, favoreceu uma transferência de N da soja para o sorgo. Essa transferência pode ter ocorrido via hifas micorrízicas, através de um processo direto soja - sorgo ou por uma absorção de compostos nitrogenados exsudados pelas raízes da soja. Contudo, pode ter ocorrido um fluxo de N seguindo um gradiente de concentração da planta doadora para a receptora, respectivamente a soja e o sorgo. A transferência de N entre plantas tem sido relatada por vários autores (Eaglesham et al, 1981; Jansen, 1990; Dubach e Roselle, 1994) e pode ser influenciada pelo suprimento de N (Bethlenfalvay et al, 1991). Contudo, as leguminosas, produzindo uma maior quantidade de exsudatos que as gramíneas, tornam a transferência de N através de um gradiente de concentração uma via importante nesse processo.

A redução do PMSPA do sorgo inoculado, quando o P adicionado ao solo atingiu 200 mg / kg de solo, está relacionada à redução da colonização das raízes devido ao efeito inibitório do P sobre o fungo micorrízico. Porém na soja, esse efeito do P foi compensado pela sua maior disponibilidade no solo e uma maior resposta da soja ao P.

O maior acúmulo do PMSPA no sorgo, espécie C_4 , que na soja, espécie C_3 , pode estar relacionado com a maior eficiência na utilização do N pelo sorgo, desde a sua assimilação até a partição das proteínas das folhas e a assimilação do C (Brown, 1978). Esse melhor aproveitamento do N traduziu em um aumento no acúmulo de matéria seca.. Além disso, a atividade da PEPC também contribuiu para um aumento do PMSPA. Os estudos de Sugiyama, Mizuno e Hayashi, (1984), mostraram que, no milho, a enzima PEPC está mais diretamente relacionada à produção de biomassa que a RUBISCO.

O metabolismo do C e N está relacionado com o desenvolvimento e a produtividade das plantas, principalmente no estabelecimento da capacidade fotossintética (Yoshida, 1972). O decréscimo no acúmulo de N pode levar a um decréscimo na capacidade fotossintética e conseqüentemente a uma redução da matéria seca na planta (Swank et al, 1982). Os dados obtidos, mostraram que a aplicação de N aumentou os seus teores no sorgo e na soja, resultando em aumento do PMSPA. O efeito do N no acúmulo da matéria seca também tem sido relacionado com a proporção da proteína alocada para a RUBISCO. As plantas C_4 , como o sorgo, geralmente possuem baixa concentração da RUBISCO em relação a PEPC (Ku e Edwards, 1975), porém a proteína alocada para as enzimas PEPC + PPDK (Piruvato ortofosfato diquinase) + RUBISCO é de mesma grandeza que a alocada por plantas C_3 somente para a RUBISCO (Schmitt e Edwards, 1981). Esta alocação varia com as condições de crescimento das plantas (Hatch, 1971).

3.2 Colonização das raízes do sorgo e da soja

A colonização das raízes do sorgo por *Glomus etunicatum* mostrou uma resposta significativa à adição de P ao solo e à interação adição de P x inoculação, enquanto a soja respondeu significativamente ao sistema de cultivo, à adição de P, à interação sistema de cultivo x inoculação e à adição de P x inoculação.

Nas duas culturas, independente do sistema de cultivo, a colonização das raízes por *Glomus etunicatum* variou com o nível de fósforo (Figura 2). A colonização aumentou até a dose de 100 mg P / kg de solo, e mostrou um decréscimo na dose de 200 mg de P / kg de solo, tanto no sorgo como na soja. Esse decréscimo está relacionado ao efeito negativo da concentração de P sobre o fungo micorrízico. O efeito do P sobre a colonização micorrízica tem sido bem estudado, relacionando-a com a concentração de P no solo e nos tecidos das plantas (Menge et al, 1978). Em solos com baixos teores de P, as plantas são mais susceptíveis à colonização micorrízica, e pequenas adições de P aumentam a colonização (Schbert e Hayman, 1986; Miranda, Harris e Wild, 1989), porém altas concentrações podem reduzi-la (Siqueira, Hubbell e Valle, 1984; Thompson, Robson e Abbott, 1986). Os dados obtidos mostram esses efeitos do P, estando em concordância com esses estudos.

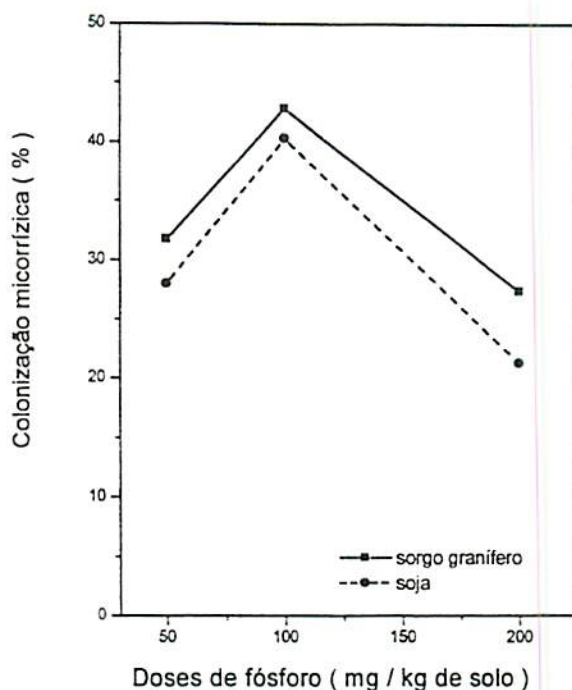


Figura 2 Colonização das raízes do sorgo e da soja em função das doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Na soja os efeitos da interação do sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* são mostrados na Tabela 6. A colonização das raízes da soja por *Glomus etunicatum* foi maior na soja consorciada com o sorgo (Tabela 6).

Tabela 6 Colonização (%) das raízes da soja, em monocultivo e em consórcio. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com fungo micorrízico	
	inoculado	sem inoculação
Monocultivo	36,84 A	0
Consórcio	32,93 B	0

* Médias nas colunas seguidas de diferentes letras maiúsculas diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

3.3 Teor de proteínas solúveis totais e nitrogênio

3.3.1 Sorgo

O teor de proteínas solúveis totais (PST) nas folhas de sorgo apresentou uma diferença significativa em relação ao sistema de cultivo, níveis de P, inoculação, aplicação de N em cobertura e às interações sistema de cultivo x adição de P, sistema de cultivo x aplicação de N, sistema de cultivo x adição de P x aplicação de N, adição de P x aplicação de N e sistema de cultivo x adição de P x Inoculação x aplicação de N (Tabela 1).

A interação sistema de cultivo x adição de P x inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N sobre o PST é mostrada na Figura 3.

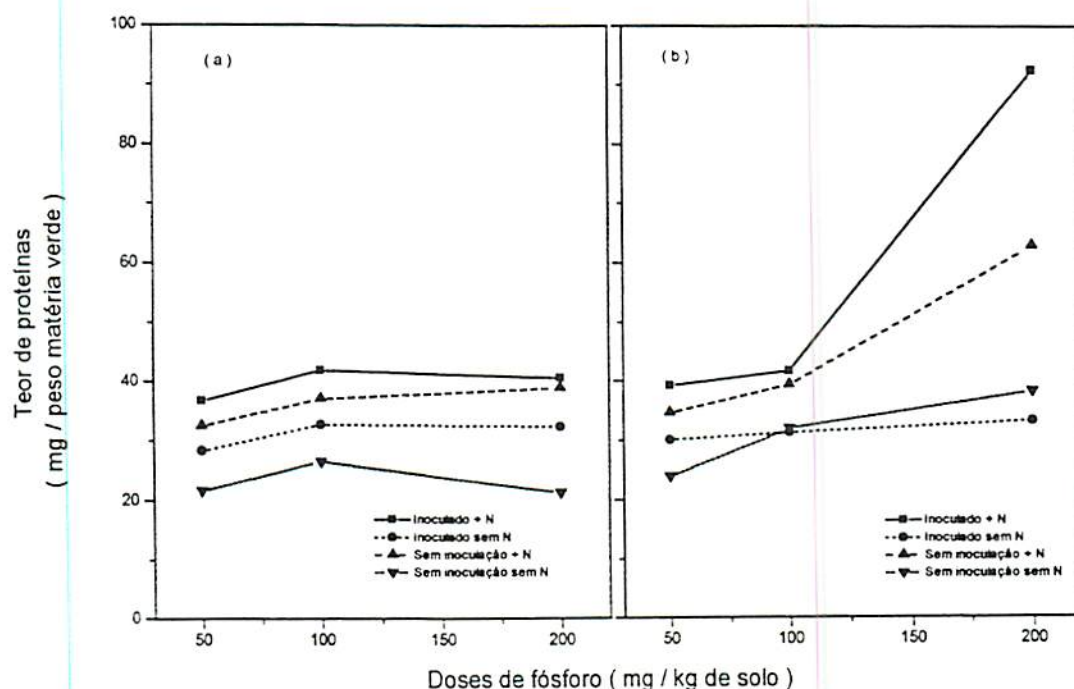


Figura 3 Teor de proteínas nas folhas do sorgo em monocultivo (a) e consorciado (b) em função das doses de P, inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

No monocultivo, o PST no sorgo inoculado aumentou até o nível de 100 mg / Kg de solo. Entretanto, esses teores mostraram um decréscimo na dose de 200 mg / kg de solo. A adição de P não mostrou um efeito significativo sobre o PST, no sorgo inoculado adicionado ou não de N. Entretanto, no sorgo não inoculado o efeito do P somente foi significativo a partir de 100 mg P / kg de solo, independente da aplicação de N.

A aplicação de N aumentou o PST do sorgo inoculado ou não com *Glomus etunicatum*., em todos os níveis de P. Esses dados indicam que no monocultivo independente da inoculação com *Glomus etunicatum* a aplicação de N aumenta o teor de PST nas folhas do sorgo. No sorgo, sem inoculação e sem aplicação de N, foram verificados os teores mais baixos de PST em todos os níveis de P. O sorgo sem inoculação e com aplicação de N, apresentou um maior teor de PST que o sorgo inoculado que não recebeu o N. Neste caso, a maior disponibilidade de N para a o sorgo foi o fator responsável pelo maior PST. No consórcio, em todos os tratamentos foi verificado um aumento significativo do PST em função da adição de P ao solo. Esses aumento foi maior dentro do tratamento com inoculação A aplicação de N aumentou o PST independente da inoculação ou não com *Glomus etunicatum*. Os maiores valores foram verificados no sorgo inoculado com *Glomus etunicatum* e com aplicação de N. No sorgo inoculado, embora tenha ocorrido uma redução da colonização das raízes pelo efeito do P (Figura 2), e conseqüentemente uma menor assimilação de N pelo fungo micorrízico, a maior disponibilidade de N, decorrente da aplicação de N, supriu a possível redução de sua assimilação pelo fungo micorrízico. Este fato é evidenciado quando comparado com o sorgo inoculado mas que não recebeu a aplicação de N (Figura 3).

O PST do sorgo mostrou uma correlação positiva ($r = 0,72^*$; $p \leq 0,05$) com os teores de N nas folhas. O aumento de N nas folhas decorrente da sua aplicação ou inoculação com *Glomus etunicatum* levou ao aumento do teor de PST nas folhas do sorgo. Os dados obtidos estão de acordo com os dados observados por Molino et al .,(1995), em cultivares de trigo, nas quais o suprimento adicional de N aumentou o teor de proteínas solúveis totais nas folhas. Os teores de N nas folhas do sorgo mostraram uma resposta significativa ao sistema de cultivo, adição de P, inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N em cobertura e às interações sistema de cultivo x aplicação de N, inoculação x aplicação de N e sistema de cultivo x inoculação x aplicação de N (Tabela 1).

A interação sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N é mostrada na Figura 4. Os teores de N no sorgo foram significativamente maiores quando consorciado com a soja que em monocultivo. No monocultivo e no consórcio, quando o sorgo recebeu a aplicação de N, o teor de N na parte aérea foi maior com a inoculação de *Glomus etunicatum* (Figura 4). Esse aumento no teor de N está relacionado a uma maior absorção desse pelo fungo micorrízico, resultando no seu acúmulo na parte aérea do sorgo. No monocultivo, dentro do tratamento sem aplicação de N, a inoculação também aumentou o teor de N no sorgo, porém no sorgo consorciado não foi observada uma diferença significativa no teor de N com a inoculação com *Glomus etunicatum*. Segundo Pereira et al. ,(1996), o efeito do fungo micorrízico em relação à resposta à aplicação de N, não é resultante da melhoria na nutrição da planta em P, mas de uma melhor absorção do N. Os maiores teores de N foram observados no sorgo consorciado , inoculado com *Glomus etunicatum* e com aplicação de N, e os menores no sorgo em monocultivo, sem inoculação e sem aplicação de N (Figura 4).

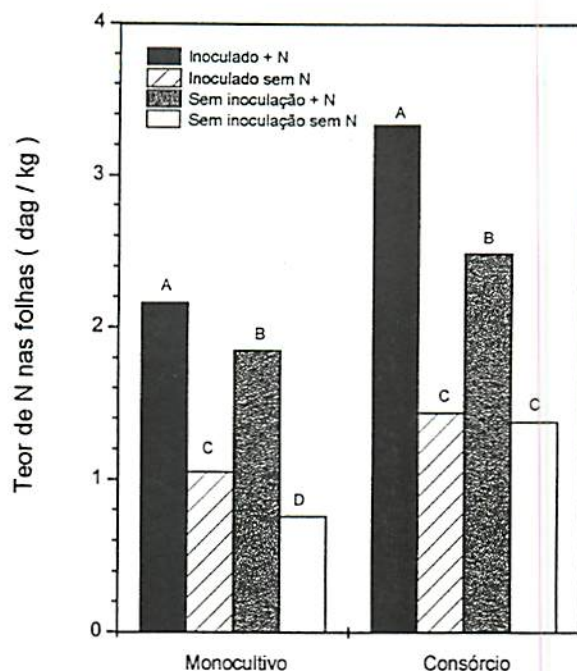


Figura 4 Teor de N nas folhas do sorgo em função do sistema de cultivo inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N. Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente, a nível de 5 %, pelo teste de Duncan. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

3.3.2 Soja

Na soja o teor de PST foi significativamente influenciado pelo sistema de cultivo, níveis de P, inoculação com *Glomus etunicatum* e pela interação sistema de cultivo x adição de P ao solo (Tabela 1). O teor de PST nas folhas foi significativamente menor no consórcio que em monocultivo. Os valores médios obtidos foram 48,85 e 66,01 mg / g matéria verde, respectivamente, para a soja consorciada e em monocultivo (Tabela 7).

Tabela 7 Teor de proteínas solúveis totais nas folhas da soja (mg / g de matéria verde) em monocultivo e consorciado. CNPMS. Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Teor de proteínas solúveis totais
Monocultivo	66,01 A
Consórcio	48,85 B

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

O efeito da interação sistema de cultivo x adição de P sobre o PST é mostrado na Figura 5. No monocultivo, o PST da soja mostrou aumento significativo com a adição de P ao solo enquanto no consórcio com o sorgo, o PST aumentou até o nível de 100 mg de P / kg de solo. A adição de P acima desse nível não mostrou uma resposta significativa sobre o PST da soja. (Figura 5). Esse efeito está relacionado à tendência de estabilização na absorção de N pela soja refletindo na síntese protéica.

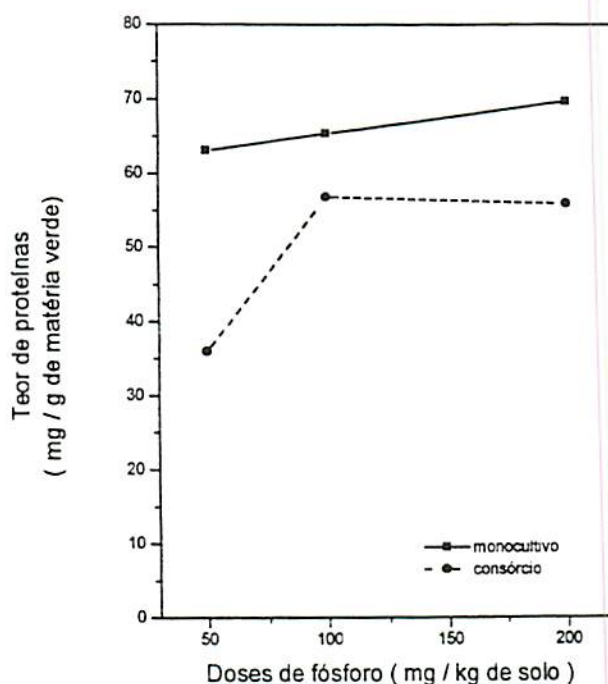


Figura 5 Teor de proteínas nas folhas da soja, em monocultivo e consorciada, em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.

Os teores de N na parte aérea da soja mostraram uma resposta significativa ao sistema de cultivo, adição de P, aplicação de N e as interações sistema de cultivo x aplicação de N e sistema de cultivo x adição de P x inoculação com *Glomus etunicatum* (Tabela 1).

A interação sistema de cultivo x adição de P x inoculação com *Glomus etunicatum* é mostrada na Figura 6. Os dados obtidos para os teores de N nas folhas da soja mostram que a soja em monocultivo apresenta, maiores teores de N que em consórcio com o sorgo, independente da inoculação com *Glomus etunicatum*.

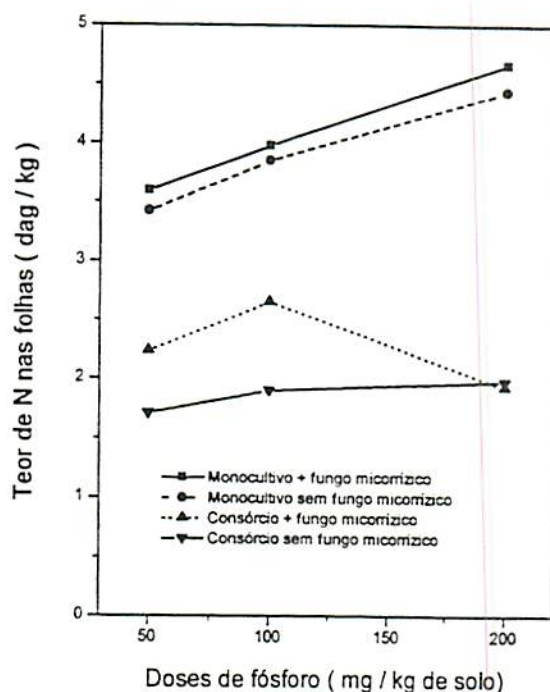


Figura 6 Teor de N nas folhas da soja em função do sistema de cultivo e inoculação *Glomus etunicatum* em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Na soja em monocultivo os teores de N nas folhas aumentaram com os níveis de P. Os acréscimos nos teores de N, verificados com inoculação com *Glomus etunicatum*, foram equivalentes, em todos os níveis de P, indicando que o efeito da adição de P ao solo foi similar tanto para a soja inoculada como para o tratamento sem inoculação. Na soja consorciada, a adição de P afetou diferentemente o teor de N nas folhas em relação à inoculação com *Glomus etunicatum*. Na soja inoculada, o teor de N nas folhas aumentou até a adição de 100 mg de P / kg de solo, verificando-se, a partir desse nível, uma redução no teor de N. Porém na soja sem inoculação não foi observado um decréscimo no teor de N nas folhas (Figura 6).

Nos dois sistemas de cultivo, a inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou o teor de N nas folhas da soja. Entretanto, na soja em monocultivo, não foi verificada uma redução no teor de N quando o P adicionado ao solo foi maior que 100 mg / kg de solo. A redução verificada no teor de N na soja consorciada e inoculada com *Glomus etunicatum* está relacionada a um efeito do P sobre o fungo micorrízico. Embora a soja consorciada estivesse sob um efeito competitivo com o sorgo por nutrientes, uma maior absorção de P pelo sorgo, reduzindo a sua disponibilidade no solo, não foi suficiente para reduzir, o efeito do P adicionado ao solo, sobre o fungo micorrízico. Os menores teores de N foram observados no soja em consórcio, sem a inoculação com *Glomus etunicatum*. Esses teores estão

relacionados à competição com o sorgo granífero. A inoculação com *Glomus etunicatum* também pode ter afetado os teores de N no consórcio, contribuindo para uma transferência de N da soja para o sorgo. Entretanto, na soja consorciada e inoculada com *Glomus etunicatum*, os teores de N foram maiores que na soja sem inoculação. Neste caso, a maior disponibilidade de P e sua maior absorção pelo fungo micorrízico estimulou a fixação do N, aumentando o seu teor, compensando o N transferido para o sorgo. No entanto, pode ter ocorrido uma possível transferência de nitrogênio para o sorgo granífero através de compostos nitrogenados originários da exsudação das raízes da soja, cujo processo é facilitado pelo contato das suas raízes com as do sorgo. Os estudos sobre o teor de PST nas folhas mostram que ele está relacionado aos teores e partição do N entre as proteínas das folhas (Brown, 1978). O teor de PST na soja mostrou uma correlação positiva com o teor de N nas folhas ($r = 0,64$; $p \leq 0,05$). Os resultados obtidos mostraram que, os tratamentos que influenciaram os teores de N nas folhas do sorgo e da soja, também influenciaram os teores de PST. No sistema de cultivo, o aumento dos teores de N no sorgo consorciado, resultou em um maior teor de PST nas folhas, enquanto na soja, a redução dos teores de N levou a um decréscimo do PST.

O aumento dos teores de N no sorgo e na soja, com a inoculação com *Glomus etunicatum*, independentemente do sistema de cultivo, resultou em aumento do PST. Embora, no sorgo inoculado o aumento dos teores de N tenha variado com a adição de P ao solo, os teores de PST seguiram o mesmo comportamento do N, indicando que os teores de PST estão associados aos teores de N nas folhas. Essa relação foi também verificada por Sugiyama, Mizuno e Hayashi (1984).

3.4 Concentração da RUBISCO

3.4.1 Sorgo

A concentração da RUBISCO nas folhas de sorgo mostrou uma resposta significativa a adição de P ao solo, à aplicação de N em cobertura e às interações sistema de cultivo x adição de P x N e sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* x N.

A interação sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N em cobertura é mostrada na Figura 7. No monocultivo e no consórcio, a aplicação de N aumentou significativamente a concentração da RUBISCO nas folhas do sorgo granífero. As maiores concentrações da RUBISCO nos dois sistemas de cultivo foram verificadas no sorgo inoculado e adicionado de N em cobertura. Os valores obtidos foram 18,84 e 18,34 mg RUBISCO / g de matéria verde, respectivamente, para o sorgo em monocultivo e consorciado (Figura 7). As menores concentrações foram verificadas no sorgo não inoculado e sem a aplicação de N, nos dois sistemas de cultivo, atingindo os valores de 9,53 e 11,35 mg de RUBISCO / g de matéria verde, respectivamente para o monocultivo e consorciado com a soja (Figura 7). Dentro dos tratamentos com aplicação de N,

nos dois sistemas de cultivo, a inoculação com *Glomus etunicatum*, aumentou significativamente a concentração da RUBISCO. Os mesmos resultados foram obtidos no tratamento sem a aplicação de N.

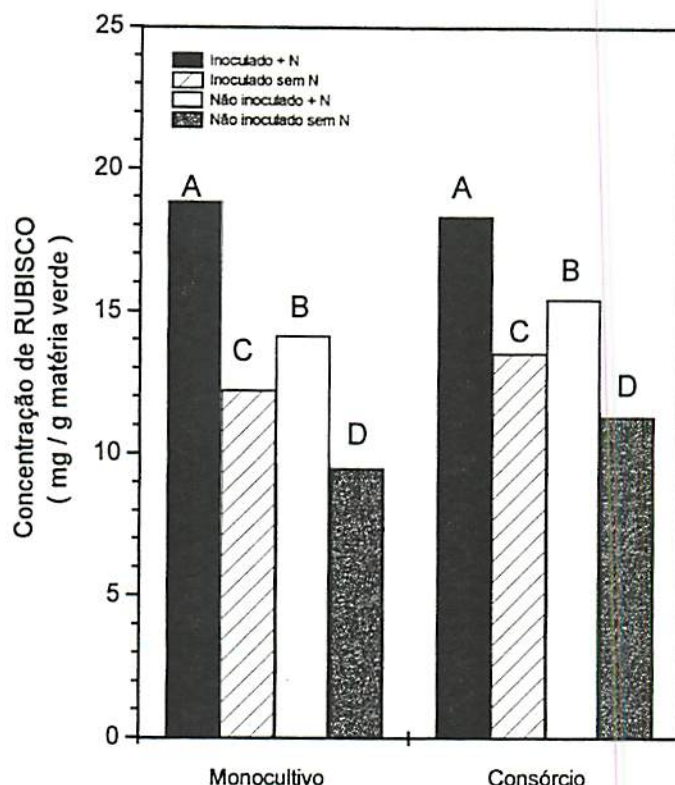


Figura 7 Concentração da RUBISCO nas folhas do sorgo em monocultivo e consorciado em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N. Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente a nível de 5 %, pelo teste de Duncan.CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

A interação sistema de cultivo x adição de P x aplicação de N é mostrada na Figura 8.

A concentração da RUBISCO foi maior em todos os níveis de P, nos dois sistemas de cultivo, quando o sorgo recebeu a aplicação de N em cobertura. A adição de P aumentou a concentração da RUBISCO em todos os tratamentos (Figura 8).Nos tratamentos que receberam a aplicação de N, o sorgo consorciado com a soja apresentou maiores valores, para a concentração da RUBISCO, quando consorciado com a soja. No tratamento sem aplicação o sorgo consorciado também apresentou uma maior concentração da RUBISCO (Figura 8). Os maiores valores apresentados pelo sorgo consorciado e com aplicação de N estão relacionado com a maior disponibilidade de N para o sorgo granífero, decorrente da sua aplicação e um efeito adicional da sua transferencia da soja, via hifas micorrízicas e exsudatos. A diferença observada na concentração da RUBISCO, entre o sorgo em monocultivo e consorciado que recebeu N, é decorrente da transferencia de N da soja (Figura 8).

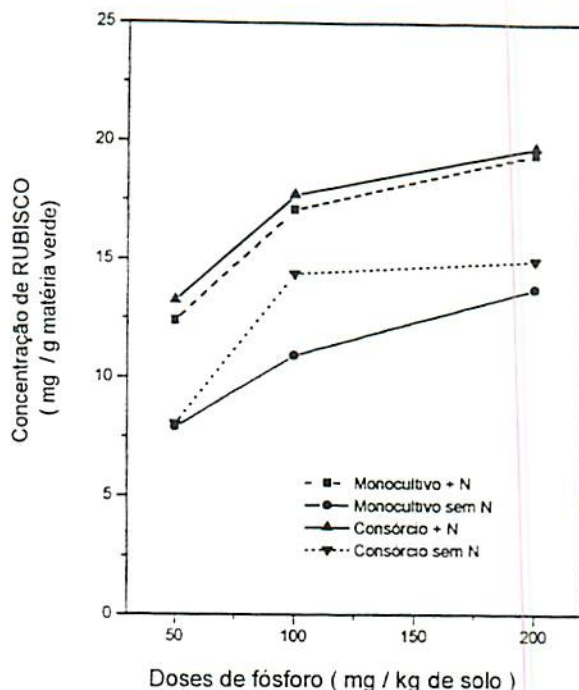


Figura 8 Concentração da RUBISCO nas folhas do sorgo em função do sistema de cultivo, aplicação de N e doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG), 1995.

3.4.2 Soja

Na soja, a concentração da RUBISCO foi influenciada significativamente pelo sistema de cultivo, adição de P, inoculação com *Glomus etunicatum* e pelas interações sistema de cultivo x adição de P e adição de fósforo x inoculação com *Glomus etunicatum*. Os valores obtidos mostram que a soja em monocultivo apresentou uma maior concentração da RUBISCO, que em consórcio, em todos os níveis de P (Tabela 8). No monocultivo a concentração média da RUBISCO foi de 27,08 mg / g de matéria verde enquanto no consórcio esse valor foi 23,33 mg / g de matéria verde (Tabela 8).

Na interação adição de P x inoculação com *Glomus etunicatum* (Figura 9) a inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou significativamente ($p \leq 0,05$) a concentração da Rubisco nas folhas em todos os níveis de P. Embora tenha ocorrido uma redução na colonização das raízes da soja, por *Glomus etunicatum*, na dose de 200 mg P / kg de solo (Figura 2) essa redução não afetou a concentração de RUBISCO na folha. O teor de N tem sido relatado como um fator que afeta a concentração de RUBISCO nas folhas, e o seu efeito tem sido descrito em vários trabalhos. Em baixos níveis de N ocorre uma diminuição da concentração da RUBISCO nas folhas (Sugiharto et al, 1990) enquanto em altos níveis ocorre um aumento na concentração da RUBISCO (Makino e Osmond, 1991). Os dados obtidos estão em concordância com esses estudos, e mostraram que o N contribuiu para um aumento na concentração da RUBISCO nas folhas.

Tabela 8 Concentração da RUBISCO (mg / g matéria verde) nas folhas da soja em monocultivo e consorciada. CNPMS. Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Concentração da Rubisco
Monocultivo	27,08 A
Consórcio	23,33 B

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

A concentração da RUBISCO mostrou uma resposta à adição de P, à inoculação com *Glomus etunicatum* no sorgo e na soja, e no sorgo ao N.

Os estudos referentes à concentração da RUBISCO, têm mostrado que a sua concentração em plantas C_4 é relativamente baixa em relação as C_3 (Ku e Edwards, 1978). Os dados obtidos para a sorgo (C_4) e a soja (C_3), mostraram que a concentração da RUBISCO no sorgo foi menor que na soja.

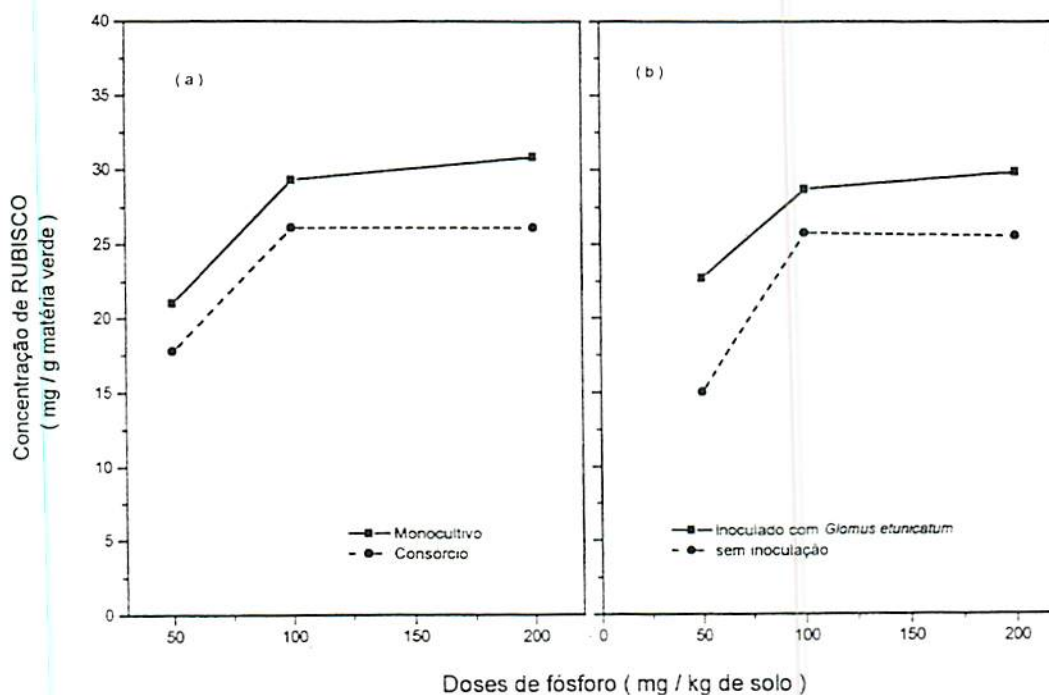


Figura 9 Concentração da RUBISCO nas folhas da soja em função do sistema de cultivo (a) e inoculação com *Glomus etunicatum* (b) em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas,(MG),1995.

Essa diferença está relacionada a partição do N entre as proteínas das folhas (Brown, 1978). Na soja a maior parte das proteínas é alocada para a RUBISCO, enquanto no sorgo as proteínas são alocadas para a RUBISCO e a PEPC. No sorgo a aplicação de N aumentou os teores de N nas folhas e o teor de PST, resultando em um aumento na concentração da RUBISCO. Na soja, a inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou o teor de N nas folhas assim como o teor de PST. Como na soja a RUBISCO é a proteína em maior concentração, é esperado que o aumento do teor de PST resulte em um aumento na concentração da RUBISCO. O P também aumentou a concentração da RUBISCO, mas o seu efeito está relacionado ao aumento da assimilação do N.

3.5 Atividade da Glutamina Sintetase

3.5.1 Sorgo

A atividade da enzima glutamina sintetase (GS) no sorgo, respondeu significativamente, à aplicação de N em cobertura, e às interações sistema de cultivo x adição de P, sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* e sistema de cultivo x adição de P x inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N em cobertura (Tabela 1).

A interação sistema de cultivo x inoculação com *Glomus etunicatum* é mostrada na Tabela 9. Os dados mostram que no sorgo em consórcio foi verificada maior atividade da GS (0,54 $\mu\text{mol GHA} / \text{g}$ matéria verde/min) que em monocultivo (0,45 $\mu\text{mol GHA} / \text{g}$ matéria verde/min).

Tabela 9 Atividade da GS ($\mu\text{mol GHA} / \text{g}$ matéria verde / min) nas folhas do sorgo em monocultivo e consorciado e inoculado e não inoculado com *Glomus etunicatum*. CNPMS. Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com <i>Glomus etunicatum</i>		Média
	inoculado	não inoculado	
Monocultivo	0.46 Ba	0.45 Ba	0.45 B
Consórcio	0.59 Aa	0.49 Ab	0.54 A

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

A inoculação com *Glomus etunicatum* não aumentou significativamente a atividade da GS no sorgo em monocultivo, porém foi verificado um aumento significativo, na sua atividade, no sorgo

consorciado com a soja. A atividade da GS, estando relacionada ao processo de assimilação de N, uma maior disponibilidade de N aumentaria a sua atividade. Embora no sorgo em monocultivo a inoculação tenha aumentado o teor de N nas folhas, esse aumento não foi suficiente para aumentar a atividade da GS. No sorgo consorciado, a inoculação com *Glomus etunicatum*, além de aumentar a absorção de N do solo, contribuiu para a transferência de N da soja. Esse aumento adicional de N no sorgo, resultado dessa transferência, concorreu para o aumento da atividade da GS no sorgo. Nos tratamentos com inoculação, o sorgo consorciado, inoculado e não inoculado com *Glomus etunicatum*, apresentou uma maior atividade da GS que em monocultivo.

A interação sistema de cultivo x adição de P x aplicação de N é mostrada na Figura 10. No monocultivo, dentro do tratamento inoculação com *Glomus etunicatum*, a aplicação de N não mostrou uma diferença significativa em relação ao tratamento sem aplicação, quando a adição de P foi de 50 mg / kg de solo. Entretanto, nas doses de 100 e 200 mg P / kg de solo, a aplicação de N, aumentou significativamente a atividade da GS. Nos tratamentos sem inoculação, a aplicação de N aumentou significativamente a atividade da GS em todos os níveis de P (Figura 10). Os dados mostram que a aplicação de N resultou em maior atividade da GS nas doses mais baixas de P. Esse efeito está relacionado ao P que nas doses mais baixas, estimula a atividade do fungo micorrízico, resultando em maior absorção de N e maior atividade da GS.

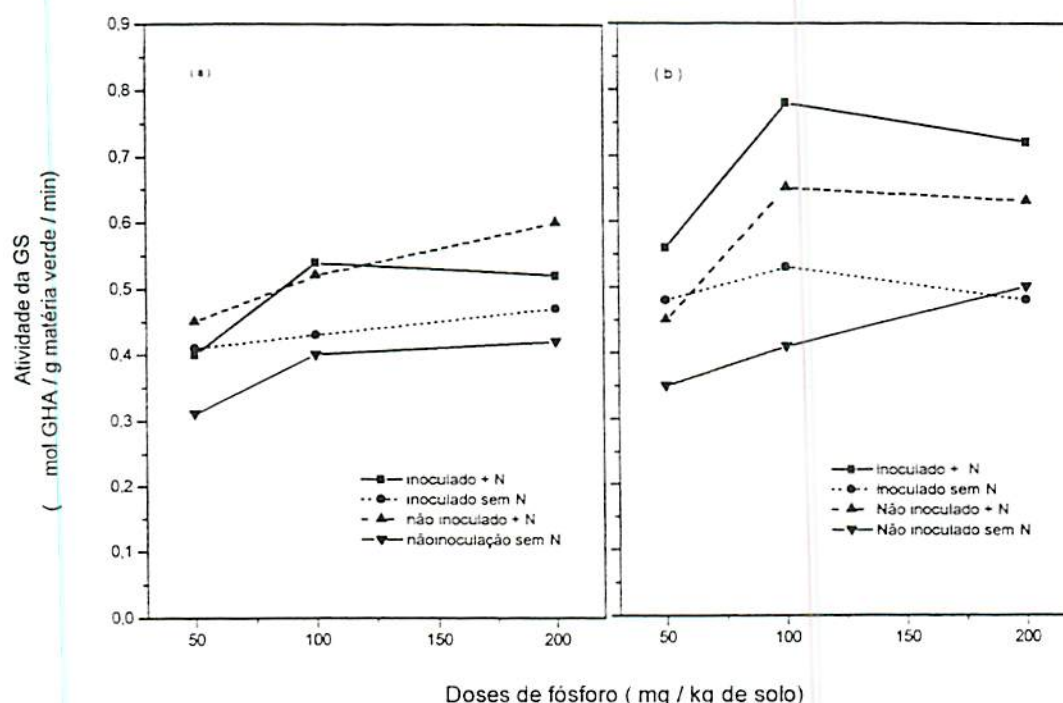


Figura 10 Atividade da Glutamina sintetase (GS) nas folhas do sorgo em monocultivo (a) e em consórcio (b) em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

Nos tratamentos com aplicação de N, o sorgo inoculado com *Glomus etunicatum* sómente mostrou uma maior atividade da GS em relação ao não inoculado, na dose de 100 mg P / kg de solo. O seu menor valor na dose de 50 mg P / kg de solo está relacionado ao menor estímulo desse nível de P à colonização da raízes do sorgo pelo fungo micorrízico, enquanto na dose de 200 mg P / kg de solo, ocorreu o efeito inibitório do P sobre o fungo micorrízico (Figura 10). Nos tratamentos sem aplicação de N, o sorgo, inoculado com *Glomus etunicatum* mostrou uma maior atividade da GS que o sorgo não inoculado em todos os níveis de P.

Os dados indicam que a inoculação com *Glomus etunicatum* tem um efeito mais significativo na atividade da GS, quando a disponibilidade de N é baixa, ou quando o nível de P atinge um nível ótimo para a atividade do fungo micorrízico. No consórcio, dentro dos tratamentos com inoculação com *Glomus etunicatum*, a aplicação de N em cobertura aumentou a atividade da GS em todos os níveis de P, entretanto foi verificado um decréscimo na atividade da GS, nos dois tratamentos quando o nível de P atingiu 200 mg / kg de solo, mostrando um efeito do P sobre o fungo micorrízico, reduzindo a assimilação de N. (Figura 10). Nos tratamentos não inoculados, também foi verificado uma aumento na atividade da GS com a aplicação de N.

A atividade da GS mostrou uma correlação positiva com o teor de N nas folhas ($r = 0,78$; $p \leq 0,05$), indicando que um aumento na sua atividade, decorrente de uma maior absorção de N, aumenta o teor de N nas folhas, levando a uma maior síntese protéica e maior teor de N disponível para a produção de biomassa. Dentro dos tratamentos com aplicação de N, o sorgo, inoculado com *Glomus etunicatum*, mostrou uma maior atividade da GS em todos os níveis de P que o sorgo não inoculado. Por outro lado, no sorgo inoculado, mas sem N, foi verificada uma maior atividade da GS em relação ao sorgo não inoculado, porém não foi observada uma diferença significativa entre, eles, com a dição de 200 mg P / kg de solo.

3.5.2 Soja

A atividade da GS na soja foi influenciada significativamente pelo sistema de cultivo, inoculação com *Glomus etunicatum* e pelas interações sistema de cultivo x inoculação e adição de P x inoculação (Tabela 1). A soja mostrou uma maior atividade da enzima GS em monocultivo que em consórcio com o sorgo (Tabela 10). No sistema de cultivo, a inoculação aumentou a atividade da GS da soja tanto em monocultivo como em consórcio (Tabela 10). Dentro dos tratamentos com inoculação, a soja em monocultivo, inoculada ou não com *Glomus etunicatum*, apresentou uma maior atividade da GS. A consorciação da soja com o sorgo reduziu a atividade da GS na soja em 16,95 % e 21,96 % respectivamente, com inoculação com *Glomus etunicatum* e sem inoculação.

Tabela 10 Atividade da GS ($\mu\text{mol GHA} / \text{g matéria verde} / \text{min}$) nas folhas da soja em monocultivo e consorciada e inoculada e não inoculada com *Glomus etunicatum*. CNPMS. Sete Lagoas, (MG). 1995.

Sistema de cultivo	Inoculação com <i>Glomus etunicatum</i>		Média
	inoculada	não inoculada	
Monocultivo	0.59 Aa	0.41 Ab	0.50 A
Consórcio	0.49 Ba	0.32Bb	0.40 B

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

Os dados obtidos para o sorgo e a soja mostram que nos tratamentos em que ocorreu um aumento no teor de N nas folhas, houve também um aumento na atividade da GS. A adição de N, em diferentes culturas, tem mostrado um efeito positivo na atividade da GS (Hoezle et al, 1992; Vézima e Langlois, 1989), sendo um dos principais fatores que afeta a sua atividade (Edwards e Coruzzi, 1989, Sakakibara et al, 1992). TA (1991) verificou que plantas de milho cultivadas em meio com alta disponibilidade de N e transferidas para um meio deficiente nesse elemento apresentaram um aumento na atividade da GS como resultado da remobilização do N. Os dados obtidos para a concentração de N nas folhas do sorgo mostraram resposta à aplicação de N em cobertura, resultando em um aumento na atividade da GS.

No sistema de cultivo, o sorgo consorciado apresentou um maior teor de N das folhas e uma maior atividade da GS. Na soja consorciada a atividade da GS foi menor que no monocultivo devido ao menor teor de N. Embora o sorgo em consórcio, sem inoculação, tenha mostrado uma maior atividade da GS que em monocultivo, a inoculação contribuiu [para um aumento da sua atividade no sorgo consorciado O maior teor de N no sorgo consorciado, com e sem inoculação, aumentou a atividade da GÁS como resultado do seu maior teor de N.

A inoculação, aumentou a atividade da GS nas folhas do sorgo e da soja. O efeito da inoculação está relacionado ao aumento da assimilação do N pelas hifas micorrízicas, aumentando os seus teores nas folhas e resultando em aumento da atividade da GS. A GS mostrou uma correlação positiva ($r = 0,71$; $p \leq 0,05$) com os teores de N nas folhas, indicando que um aumento na sua atividade resultou em aumento no teor de N nas folhas.

A inoculação com fungos micorrízicos aumenta a utilização do N pelas plantas (Smith, 1980). O seu efeito sobre o metabolismo do N tem sido proposto como um efeito indireto via aumento da nutrição do P na planta (Smith, 1980) ou um efeito somatório da nutrição do P com o efeito relativo ao fungo micorrízico (Ames et al, 1983; Azcón-Aguillar, Gomez e Tobar, 1992).

Os dados obtidos mostram que a colonização da raízes e o aumento de P no solo estão associados ao aumento da GS. O efeito da inoculação pode ser interpretada em termos de uma melhoria da nutrição de P. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Smith et al (1985). Considerando que as plantas inoculadas mostraram um maior PMSPA que as não inoculadas e nessas plantas foi verificada uma maior atividade da GS, e que o PMSPA foi menor em condições de baixos teores de P e sem aplicação de N, o aumento da atividade da GS foi consequência do aumento do P, permitindo uma maior absorção de N e sua assimilação para suportar um aumento no crescimento das plantas.

3.6 Teores de P

3.6.1 Sorgo

Os teores de P no sorgo mostraram uma resposta significativa ao sistema de cultivo, adição de P, inoculação com fungo micorrízico e às interações sistema de cultivo x adição de P, sistema de cultivo x inoculação, adição de P x aplicação de N, sistema de cultivo x adição de P x inoculação com fungo micorrízico, sistema de cultivo x adição de P x aplicação de N, adição de P x inoculação x aplicação de N e sistema de cultivo x adição de P x Inoculação x aplicação de N (Tabela 1).

A interação sistema de cultivo x adição de P x inoculação é mostrada na Figura 11. Dentro do sistema de cultivo a inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou os teores de P no sorgo em monocultivo e consorciado, em todos os níveis de P. Entretanto nos dois sistemas de cultivo, a adição de 200 mg de P / kg de solo reduziu os teores de P no sorgo. Essa redução está relacionada ao efeito do P sobre o fungo micorrízico, reduzindo a colonização das raízes (Figura 2) e a sua absorção de P. Na dose de 200 mg P / kg de solo, o teor de P no sorgo consorciado sem inoculação não diferiu do sorgo consorciado e inoculado.

A interação adição de P x inoculação x aplicação de N é mostrada na Figura 12. Nos tratamentos com inoculação com *Glomus etunicatum* e sem inoculação, a aplicação de N aumentou o teor de P nas folhas do sorgo em todos os níveis de P.

Dentro do tratamento, aplicação de N, o sorgo inoculado mostrou um maior teor de P, que não inoculado, nas doses de 50 e 100 mg de P / kg de solo. Entretanto na dose de 200 mg / kg de solo, a diferença entre os teores não foi significativa, mostrando que a concentração do P afetou a atividade dos fungos micorrízicos.

Dentro do tratamento, aplicação de N, o sorgo inoculado mostrou um maior teor de P, que não inoculado, nas doses de 50 e 100 mg de P / kg de solo. Entretanto na dose de 200 mg / kg de solo, a diferença entre os teores não foi significativa, mostrando que a concentração do P afetou a atividade dos fungos micorrízicos.

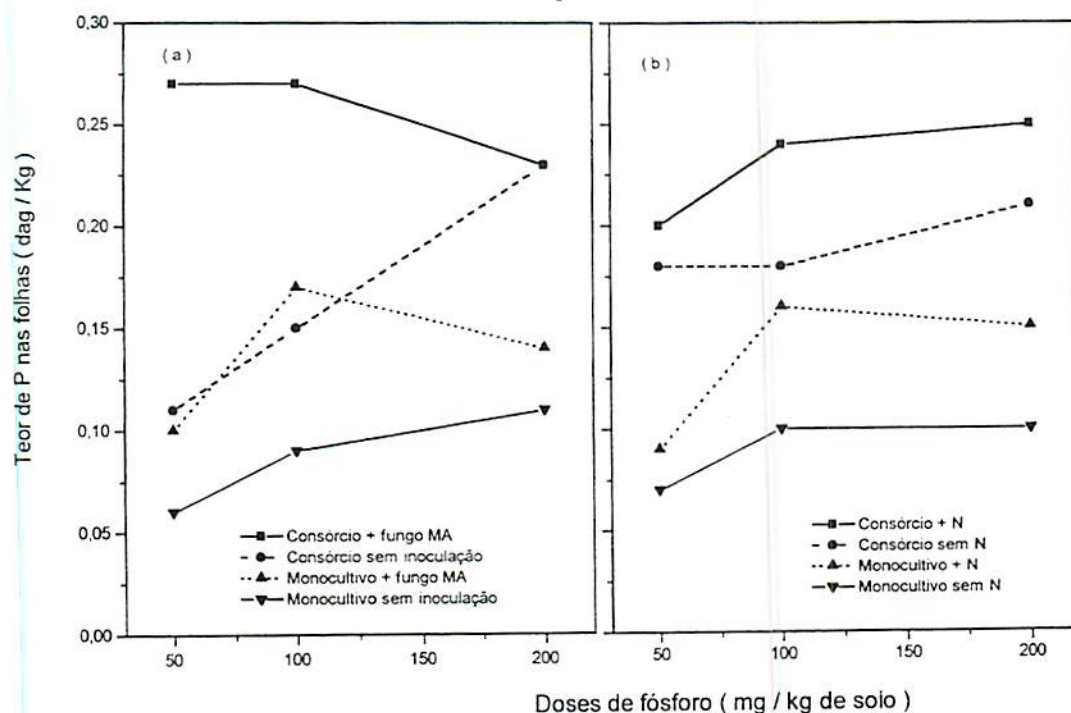


Figura 11 Teores de P nas folhas do sorgo. (a) sistema de cultivo x doses de P x inoculação com *Glomus etunicatum*, (b) sistema de cultivo x doses de P x aplicação de N. CNPMS, Sete Lagoas, (MG).1995.

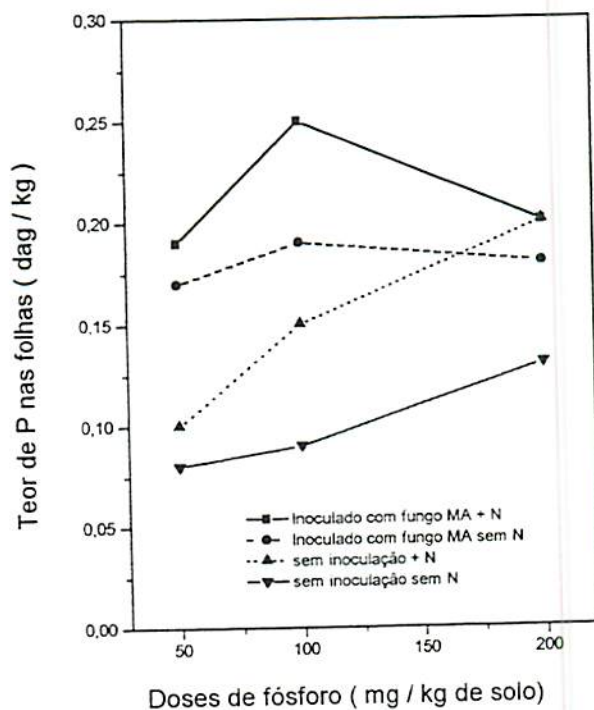


Figura 12 Teores de P nas folhas do sorgo em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas, (MG).1995.

3.6.2 Soja

O teor de P na soja respondeu significativamente ao sistema de cultivo (Tabela 1).

Os dados, da Figura 13, mostram que a soja em monocultivo apresentou um maior teor de P que a soja consorciada, em todos os níveis de P. Os menores teores observados na soja consorciada estão relacionados à competição com o sorgo por esse nutriente.

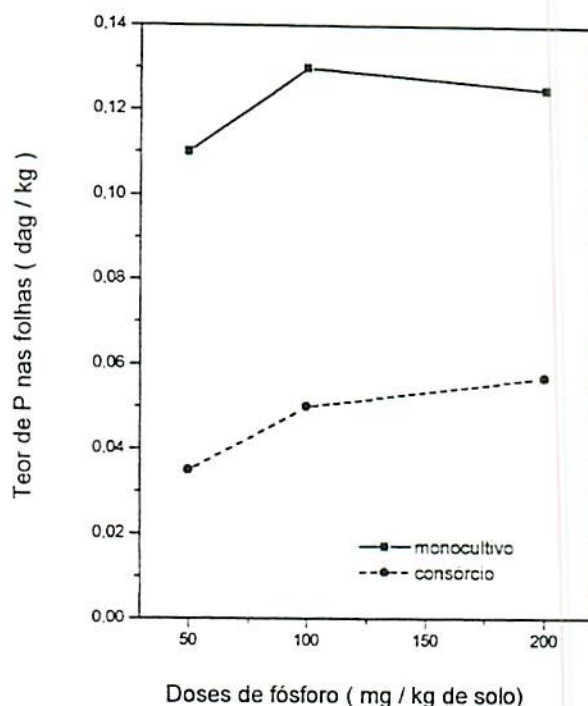


Figura 13 Teores de P nas folhas da soja em monocultivo e em consórcio, em diferentes doses de P. CNPMS. Sete Lagoas, (MG). 1995.

3.7 Atividade da PEPC

3.7.1 Sorgo

A atividade da enzima PEPC no sorgo, mostrou uma resposta significativa à adição de P, inoculação com fungo micorrízico, aplicação de N em cobertura e às interações adição de P x aplicação de N, inoculação x aplicação de N e sistema de cultivo x adição de P x inoculação (Tabela 1).

Os resultados obtidos para a interação adição de P x aplicação de N são mostrados na Figura 14. Os dados, da Figura 14, mostram que a atividade da PEPC, nas folhas do sorgo, foi maior com aplicação de N em todos os níveis de P. Entretanto, na dose de 200 mg P / Kg de solo, foi verificado um

decréscimo na sua atividade independente da aplicação de N em cobertura. O efeito do P, sobre a atividade da PEPC, no sorgo sem aplicação de N, não foi significativo, porém o sorgo que recebeu a aplicação de N mostrou uma resposta significativa à adição de P. Entretanto, comparando a atividade da PEPC nos dois tratamentos, com e sem aplicação de N, a resposta ao P sómente foi significativa em baixos níveis de P. Nas adições maiores que 100 mg P / kg de solo a resposta do sorgo, foi semelhante para os dois tratamentos com N.

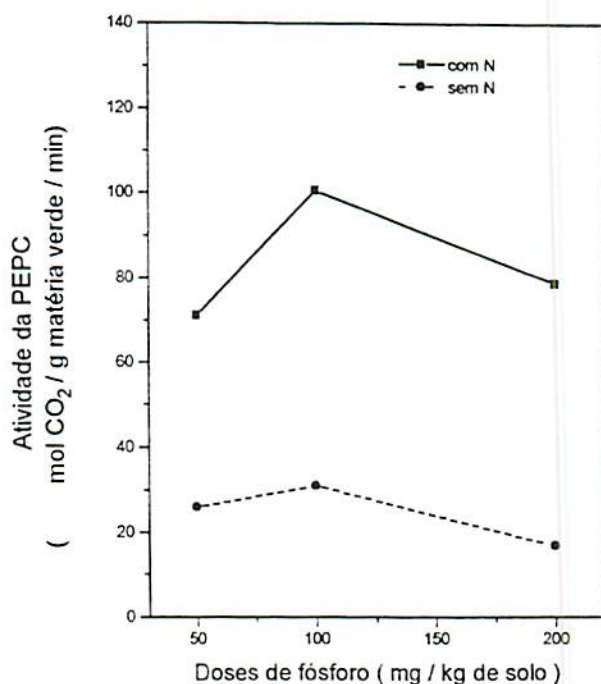


Figura14 Atividade da PEPC nas folhas do sorgo em função da aplicação de N em diferentes doses de P. CNPMS, Sete Lagoas,(MG).1995.

A aplicação de N, pode afetar a atividade da PEPC através da atividade da GS. O aumento da absorção de N, resulta em maior atividade da GS e uma mudança na relação glutamina / glutamato (Quy, 1991), requerendo uma maior demanda na formação de esqueletos de C. Essa demanda concorre para um aumento da atividade da PEPC na fixação de C.

O efeito da interação inoculação com *Glomus etunicatum* x aplicação de N é mostrado na Tabela 11.

A inoculação com *Glomus etunicatum* aumentou a atividade da PEPC nos dois tratamentos com N. Entretanto o efeito da inoculação foi maior através da aplicação de N. Como relatado anteriormente, o efeito da inoculação está relacionado a uma maior absorção de N , seguida de um

aumento da atividade da GS requerendo uma maior fixação de CO_2 pela PEPC para a síntese de aminoácidos e proteínas.

Tabela 11 Atividade da PEPC ($\mu\text{mol CO}_2$ / g matéria verde / min) nas folhas do sorgo em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e aplicação de N em cobertura. CNPMS. Sete Lagoas, (MG). 1995.

Inoculação com <i>Glomus etunicatum</i>	Aplicação de N em cobertura	
	com N	sem N
Inoculado	92.43 Aa	31.17 Ab
Não inoculado	74.62 Ba	17.94 Bb

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e de mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente ($p \leq 0,05$) pelo teste de Duncan.

A interação sistema de cultivo x adição de P x inoculação é mostrada na Figura 15. Nos tratamentos inoculados com *Glomus etunicatum*, o sorgo em monocultivo ou consorciado, mostrou a mesma resposta ao P, quando a sua adição foi maior que 100 mg P / kg de solo. A sua adição reduziu a atividade da PEPC, devido ao efeito do P sobre a atividade do fungo micorizico. Entretanto, em níveis de P menores que 100 mg / kg de solo, a adição de P aumentou a atividade da PEPC, ocorrendo uma maior resposta no sorgo em monocultivo (Figura 15). Nos tratamentos sem inoculação, dentro dos sistemas de cultivo, o efeito do P sómente foi significativo, em níveis de P acima de 100 mg P / kg de solo (Figura 15).

A atividade da PEPC mostrou uma correlação positiva significativa com o teor de P nas folhas ($r = 0,65$; $p \leq 0,05$).

Dentro do sistema de cultivo, a inoculação com *Glomus etunicatum*, aumentou a atividade da PEPC, no sorgo em monocultivo e consorciado. Entretanto, quando adição de P atingiu 200 mg / kg de solo, houve uma redução na sua atividade tanto no sorgo em monocultivo como no consorciado. A maior atividade da PEPC, foi verificada no sorgo em monocultivo e inoculado, quando a adição de P no solo atingiu o valor de 100 mg / kg de solo (Figura 15). Nos tratamentos sem inoculação, a atividade da PEPC foi maior no sorgo consorciado, em todos os níveis de P. Entretanto, houve um decréscimo nessa diferença, a partir da adição de 100 mg P / kg / solo, decorrente do aumento da sua atividade no sorgo em monocultivo e uma redução no sorgo consorciado até a dose de 200 mg P / kg de solo.

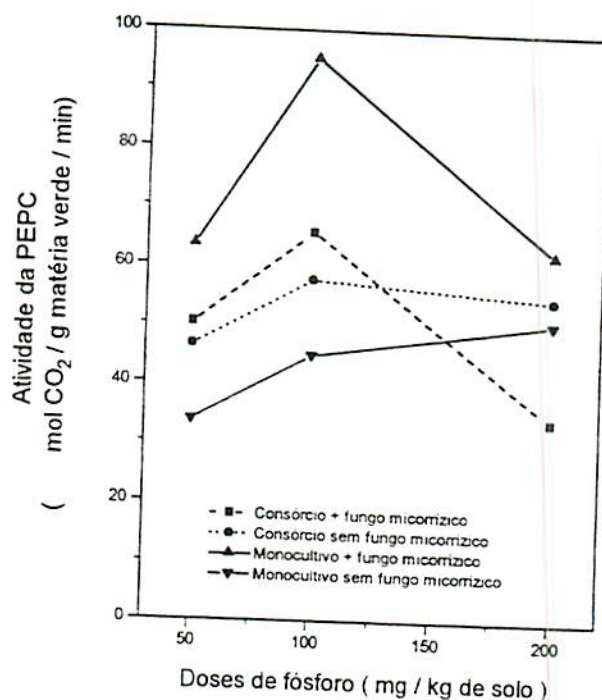


Figura 15 Atividade da PEPC nas folhas do sorgo em função do sistema de cultivo e inoculação com *Glomus etunicatum*. CNPMS, Sete Lagoas, (MG).1995.

3.7. 2 Soja

Na soja a atividade da PEPC, foi significativamente influenciada pelo sistema de cultivo, adição de P e pela interação sistema de cultivo x adição de P (Tabela 1)

A interação sistema de cultivo x adição de P é mostrada na Figura 16. A atividade da PEPC, nas folhas da soja, apresentou maiores valores no monocultivo que em consórcio em todos os níveis de P. No consórcio essa atividade mostrou uma tendência a se estabilizar a partir da adição de 100 mg P / kg de solo, enquanto no monocultivo foi verificado um aumento contínuo a partir desse nível de P. Além disso, a resposta à adição de P foi maior no monocultivo em todos os níveis de adição de P ao solo.

A menor atividade da PEPC no consórcio está relacionada ao menor teor de P nas folhas da soja, devido à competição com o sorgo. Entretanto, a atividade da PEPC não mostrou uma correlação com o teor de P na folha.

Os estudos sobre a atividade da PEPC nas folhas, tem mostrado que ela é influenciada pelo teor de P (Doncaster e Leegodd, 1987; Jiao e Chollet, 1989; Jiao et al, 1991) e N (Burnell, Suzuki e Sugiyama, 1990).

O efeito do P na atividade da PEPC está associado a ativação dessa enzima através de um processo de fosforilação pela proteína quinase (MacNaughton et al., 1989). Além disso, o P diminui a sensibilidade dessa enzima ao malato, que é um inibidor da sua atividade ((Jiao e Chollet, 1988; Jiao et

al, 1991). Os dados obtidos estão coerentes com esse efeito do P, mostrando uma maior atividade da PEPC com aumento nos teores de P nos tecidos foliares. Contudo, nas plantas C_3 , como a soja, a sua ação ainda não está bem definida, devido a maior ação da RUBISCO no processo de carboxilação (Edwards e Huber, 1981; Kluge, 1983).

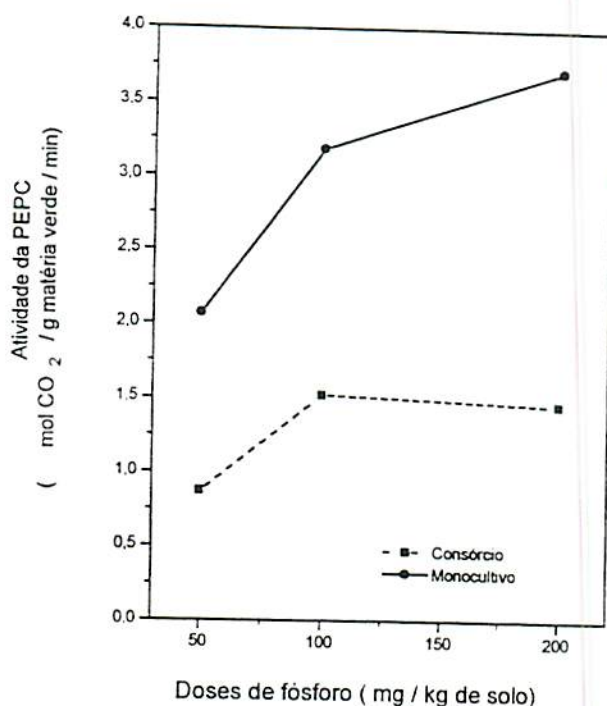


Figura 16 Atividade da PEPC nas folhas da soja, em função do sistema de cultivo. CNPMS, Sete Lagoas, (MG). 1995.

No sorgo, o efeito da inoculação com *Glomus etunicatum* sobre a atividade da PEPC está associada a uma melhor nutrição em P e N decorrente de uma maior assimilação desses nutrientes pelas plantas inoculadas.

A variação da atividade da PEPC em função da inoculação com *Glomus etunicatum* está relacionada com o efeito do P sobre a colonização das raízes por esse fungo. Em baixos níveis de P houve um estímulo na colonização micorrízica resultando em um aumento da atividade da PEPC. No nível mais alto houve um decréscimo da colonização, resultando uma redução da atividade da PEPC. O nível ótimo de P em relação a colonização foi 100 mg / kg de solo, correspondendo a maior atividade da PEPC.

O efeito da colonização resultando em aumento do N nas folhas do sorgo e da soja aumentou a atividade da PEPC. O N tem sido relatado afetar a atividade da PEPC. Em baixos teores reduz a atividade da PEPC (Burnell, Suzuki e Sugiyama, 1990), porém o seu efeito atua de modo indireto sobre a PEPC. O aumento do N das folhas aumenta a atividade da enzima Anidrase carbônica, aumentando a

hidratação do CO_2 à HCO_3^- (Hatch e Burnell, 1990), aumenta o substrato para a fixação pela PEPC, resultando em maior atividade da PEPC. A relação entre a Anidrase carbônica e a PEPC foi demonstrada por Martineau e Taylor , (1985).

Os resultados obtidos indicam que os tratamentos que influenciam a nutrição do sorgo e da soja , principalmente os que afetam os teores de P e N nas folhas afetam, de modo significativo , a atividade da PEC, como o sistema de cultivo, a inoculação com *Glomus etunicatum* e a aplicação de N.

Conclui-se que a atividade das enzimas e o teor de proteínas solúveis totais influenciaram o peso da matéria seca e o peso dos grãos secos do sorgo e da soja, mostrando uma relação com os teores de P e N nas folhas dessas plantas. A inoculação com *Glomus etunicatum* contribuiu para a atividade dessa enzimas pelo aumento dos teores de N e P nas folhas das plantas.

7. CONCLUSÕES GERAIS

O sorgo granífero beneficiou-se da consorciação com a soja, produzindo mais biomassa, grãos e teores mais elevados de proteínas nos grãos, sendo esses benefícios dependentes da espécie de fungos micorrízicos, da disponibilidade de fósforo no solo e nitrogênio.

A relação entre a produção de biomassa do sorgo e da soja foi influenciada pela disponibilidade de P no solo e inoculação com fungo micorrízico, resultando em redução nessa relação para o sorgo com aumento da disponibilidade de P, enquanto que na soja essa relação aumentou tanto no consórcio quanto no monocultivo..

A inoculação com fungos micorrízicos, contribuiu na consorciação para a absorção de P e para a transferência de N da soja para o sorgo, maximizando o efeito da consorciação para o sorgo. Entretanto, a inoculação maximizou os efeitos sinérgicos do N e P nas concentrações foliares de N na soja e atenuou o impacto negativo da consorciação na concentração foliar de P.

O ganho em N pelo sorgo consorciado, foi dependente da disponibilidade de P e da aplicação de N resultando em maior ganho com a inoculação com fungo micorrízico e aplicação de N.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. Infectivity and effectiveness of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi: effect of inoculum type. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria ,v. 32, n.4, p. 631 - 639, June, 1981.
- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D.; BOER, G DE. The effect of phosphorus on the formation of hyphae in soil by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus etunicatum* . **New Phytologist**, Cambridge, v. 97,n.3, p. 437 - 446, July, 1984.
- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. Formation of external hyphae in soil by four species of visicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v. 99, n.2, p. 245 - 255, Feb.,1985.
- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. Factors influencing the occurence of vesicular - arbuscular mycorrhizas. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 35, n. 2 - 3, p. 121 - 150, 1991.
- AGBOOLA, A.A.; FAYEMY, A.A. Fixation and excretion of nitrogen by tropical legumes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n.4, p. 409 - 412, July/Aug., 1972.
- ALEXANDER, M. **Introduction to Soil Microbiology**. 2. ed., New York: John Wiley, 1977, 467 p.
- AMES., R.N.; REID, C.P.P.; PORTER, L.K.; CAMBARDELLA, C. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two ¹⁵N - labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. **New Phytologist**, Cambridge, v. 95, n.3, p. 381 - 396, Nov. ,1983.
- ASIMI, S., GIANINNAZZI,-PEARSON, V.; GIANINNAZI, S. Influence of increasing soil phosphorus levels on interactions between vesicular - arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* in soybeans. **Candian Journal of Botany**, Ottawa, v.58, n 21, p. 2200 - 2206, Nov. ,1980.
- AYO ODUNFA, V.S. Free amino acids on the seed and root exudates in relation to the nitrogen requirements of rhizosphere soil Fusaria. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.52, n.4, p. 491-499, Sept. ,1979.
- AZCON, R.; BAREA, J.M. Nodulation, N₂ fixation (¹⁵N) and N nutrition relationship in mycorrhizal or phosphate amended alfafa plants. **Symbiosis**, Philadelphia, v.12, n. 1, p.33 - 41, 1992.

- AZCON-AGUIILLAR, C.; GOMEZ, M.; TOBAR, R. Effects of nitrogen source on growth, nutrition, photosynthetic rate and nitrogen metabolism of mycorrhizal and phosphorus-fertilized plants of *Lactuca sativa* L. **New Phytologist**, Cambridge, v. 121, n.2, p.227 - 234, June, 1992.
- BAREA, J.M.; AZCÓN-AGUILAR, C. Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen fixing plantas. **Advances in Agronomy**, New York, v.36, n.1, p. 1-54, 1983.
- BAREA, J.M.; AZCÓN-AGUIILLAR, C.; AZCÓN, R. Vesicular - arbuscular mycorrhiza improve both symbiotic N₂ fixation and N uptake from soil as assessed with a ¹⁵N technique under field conditions. **New Phytologist**, Cambridge, v.106, n.3, Feb., 1987.
- BARKER, C.M.; BLAMEY, F.P.C. Nitrogen fertilizer effects on yield and nitrogen uptake of sorghum and soybean growth in sole intercropping systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.12, n. 2, p.233 - 240, 1985.
- BÉCARD, G., PICHE, Y. New aspects on the acquisition of biotrophic status by a vesicular - arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarida*. **New Phytologist**, Cambridge, v.112, n.1, p. 77 - 83, 1989.
- BÉCARD, G.; PICHE, Y. Physiological factors determining vesicular - arbuscular mycorrhizal formation in host Ri T - DNA transformed roots. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.68, n. 4, p. 1260 - 1264, July, 1990.
- BÉCARD, G.; PICHE, Y. Establishment of vesicular - arbuscular mycorrhiza in root organ culture: review and proposed methodology. In: NORRIS, J.R.; READ, D.J.; VARMA, A.K.; eds. **Methods in Microbiology**. London: Academic Press, 1992. v. 24, p 89 -108.
- BECKER, W.N.; GERDERMANN, J.M. *Glomus etunicatum* sp. nov. **Micotaxon**, Ithaca, v. 6, n.1, p. 29, 1977.
- BEETS, H.C. Multiple cropping of maize and soybean under a high level of crop management. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 25, n. 1, p. 95 - 102, 1977.
- BELGARD, S.E. The topsoil as the major store of the propagules of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in southeast Australian sandstone soils. **Mycorrhiza**, Nederland, v.3, n.1, p.19 - 24, 1993.
- BERGENSEN, F.J. Biochemistry of simbiotic nitrogen fixation in legumes. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.21, n.2, p. 121 - 140, 1971.
- BERTA, G.; TAGLIASACCHI, A.M.; FUSCONI, A. ; GERLERO D.; TROTTA, A.; CITTERIO, A.; BOTTONE, M.F.; SPARVOL, E.; SCANNERINI, S. The mitotic cycle in root apical meristems of *Allium porrum* L. is controlled by endomycorrhizal fungus *Glomus* sp. strain E3. **Protoplasma**, New York, v.161, n. 1, p. 12 - 16, 1991.

- BETHLENFALVAY, G.J.; ABU-SHAKRA, S.S.; PHILLIPS, D.A. Interdependence of nitrogen nutrition and photosynthesis in *Pisum sativum* L. I. Effect of combined nitrogen on symbiotic nitrogen fixation and photosynthesis. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 62, n. 1, p.127 - 130, July, 1978.
- BETHLENFALVAY, G.J.; YODER, J.F. The *Glycine* - *Glomus* - *Rhizobium* symbiosis. I. Phosphorus effects on nitrogen fixation and mycorrhizal infection. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v.52, n. 2, p. 141 - 145, July, 1981.
- BETHLENFALVAY, G.J.; FRANSON, R.L. Manganese toxicity alleviated by mycorrhizas in soybean. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 12, n.5, p. 953 - 970, 1989.
- BETHLENFALVAY, G.J.; FRANSON, R.L.; BROWN, M.S.; MIHARA, K.L. The *Glycine*-*Glomus*-*Bradyrhizobium* symbiosis. IX. Nutritional morphological and physiological responses of nodulated soybean to geographic isolates of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.76, n.2, p. 226 - 323, June, 1989.
- BETHLENFALVAY, G.J.; FERRERA CERRATO, R. Mycorrhizae in intercrops: Significant N transfer from soybean to corn. **Agronomy Abstracts**. Madison, 1990, p.53.
- BETHLENFALVAY, G.J.; REYES-SOILS, M.G.; CAMEL, S.B.; FERRERA- CERRATO, R. Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal micellium. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 82, n. 3, p. 423 - 432, July, 1991.
- BIRCH, H.F.; FRIEND, M.T. The organic - matter and nitrogen status of East African soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 7, n.2, p. 156 - 167, June, 1956.
- BLECKINSOP, P.; DALE, J.E. The effects of nitrate supply and grain reserves on fraction I protein level in the first leaf of barley. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 25, n.4, p. 913 - 926, Nov., 1974
- BOLAN, N.S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**, Netherlands, v.134. n. 2, p. 189 - 207, July, 1991.
- BOLLER, B.C.; NOSBERGER, J. Influence of dissimilates in temporal and spatial N- uptake patterns on ¹⁵N - based estimates of fixation and transfer of N in rye-grass clover mixtures. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.112, n.1, p. 167 - 175, 1988.
- BOLLER, B.C.; NOSBERGER, J. Symbiotical fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrasses at low levels of ¹⁵N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.104, n.1, 209 - 226, 1987.
- BONFANTE, P.; PEROTTO, S. Plants and endomycorrhizal fungi: the cellular and molecular basis of their interaction. In: VERMA, DPS, ed.. **Molecular Biology in Plant - Microbe Communications**. Boca Raton: CRC Press, 1992. p.445 - 470.

- BONFANTE, P.; SCANNERINI, P. The cellular basis of plant - fungus interchanges in mycorrhizal associations. In: ALLEN, M.G., ed. **Functioning micorhizae**. New York, London : Chapman & Hall, 1992. p.65 - 101.
- BOOTE, K.J.; GALLAHER, R.N.; ROBERTSON, W.K.; HINSON, K; HAMMOND, L.C. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n.5, p. 787 - 791, Sept./Oct., 1978.
- BOWSHER, C.G.; HUCKLESBY, D.P.; EMES, M.J. Induction of ferredoxin-NAD⁺ oxidoreductase and ferredoxin synthesis in pea root plastids during nitrate assimilation. **Plant Journal**, Madison, v. 3, n.3, p.463 - 467, 1993.
- BOWEN, G.D. Phosphate uptake by mycorrhiza and uninfected roots of *Pinus radiata* in relation to root distribution. Proceedings of the International Congress of Soil Science, Cambridge, v.2, n.9, p. 219 - 228, 1980.
- BOWEN G.D. Nutrient status effects on loss of amides and amino acids from pine roots. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 30, n. 2, p.139 -142, 1969.
- BOWEN, G.D. Mycorrhizal roles in tropical plants and ecosystems. In: MIKOLA, P., (ed.) **Tropical Mycorrhiza Research**. Oxford: University Press, 1980. p.165-169.
- BRASIL, G.A.; BOUTY, F. DE A.C. Estudo da viabilidade técnica economica do consórcio sorgo granífero x feijão vigna. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO CEARÁ. **Relatório Anual de Pesquisa**. Fortaleza, 1980. 166-127.
- BREWING, N.J. The role of the plant plasma membrane in symbiosis. In: LARSON, C., MOLLER, M., eds. **The Plant Plasma Membrane**. Berlin: Springer - Verlag, 1990. p. 351 -375.
- BROADBEND, F.E.; NAKASHIMA, T.; CHANG, G.Y. Estimation of nitrogen fixation by isotope dilution in field and greenhouse experiments. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n.5, p. 625 - 628, Sept. / Oct., 1982.
- BROPHY, L.S.; HEICHEL, G.H. Nitrogen release from roots of alfafa and soybean grown in sand culture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.116, n.1, p. 77-84, 1989.
- BROPHY, L.S.; HEICHEL, G.H.; RUSSELLE, M.P. Nitrogen transfer from forage legumes to grass in a systematic planting design. **Crop Science**, Madison, v.27, n.4, p. 753 - 758, July/Aug., 1987.
- BROWLEE, C.; DUDDRIGE, J.A.; MALIBRE, A.; READ, D.J. The structure and function of mycelial systems of ectomycorrhizal roots with special reference to their role in forming inter-plant connections and providing pathways for assimilate and water transport. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.71, n. 3, p. 433 - 443, 1983.

- BROWN, R.H. A difference in N use efficiency in C₃ and C₄ plants and its implications in adaption and evolution. **Crop Science**, Madison, v. 18, n.1, p. 93 - 98, 1978.
- BROWN, M.S.; THAMASURAKUL, S.; BETHENFALVAY, G.J. *The Glycine-Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis. 8. Phosphorus-use efficiency of CO₂ and N₂ fixation in mycorrhizal soybean. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.74, n.1, p. 159 - 163, Sept., 1988.
- BRUNDETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, San Diego, v.21, p. 171 - 313, 1991.
- BURITY, H.A.; T.A, T.C.; FARIS, M.A.; COULMAN, B.E. Estimation of nitrogen fixation and transfer from alfalfa to associated grasses and mixed swards under field conditions. **Plant and Soil** Dordrecht, v. 144, n.2, p.:249 - 255, Aug., 1989.
- BURNELL, J.N.; SUZUKI, I.; SUGIYAMA, T. Light induction and the effect of nitrogen status upon the activity of carbonic anhydrase in maize leaves. **Plant Physiology**, Bethesda, v.94, n.1, p.384 - 387, Sept., 1990.
- BWALDA, J.G.; GOH, K.M. Host-fungus competition for carbon as a cause of growth depressions in vesicular-arbuscular mycorrhizal ryegrass. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmford, v. 14, n. 1, p. 103 - 106. 1982.
- CAPPACIO, L.C.M.; COLLON, J.A. The enzymes of polyphosphate metabolism in vesicular-arbuscular micorrhizas. **New Phytologist**, Cambridge, v. 91, n.1, p. 81-91, 1982.
- CARADUS, J.R. The structure and function of white clover root systems. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.. 43, p. 2 - 37, 1990.
- CARLING, D.E.; RIEHLE, W.G.; BROW, M.F.; JOHNSON, D.R. Effects of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on nitrate reductase and nitrogenase activities in nodulating and nonnodulating soybeans. **Phytopathology**, St. Paul, v.68, n.11,p. 1590 - 1596, 1978.
- CHANG, J.F.; SHIBLES, R. Analysis of competition between intercropped cowpea and maize. 1. Soil N and P levels and their relationship with dry matter and seed production. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. 12, n.2, p. 133- 143, 1985.
- CHIARIELLO, N.; HICKMAN, J.C.; MOONEY, H.A. Endomycorrhizal role of interspecific transfer of P in a community of annual plants. **Science**, New York, v.217, n.4563, p. 941-943, 1982.
- CLIQUET, J.B.; STEWART, G.R. Ammonia assimilation in *Zea Mays* L. infected whit a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatum*. **Plant Physiology**, Rockville, v.101, n.3, p. 865 - 871, 1993.
- COOK, M.G.; L.T. EVANS. 1983. Nutrient responses of seedlings of wild and cultivated *Oryza* species. **Field Crop Research**, Madison, v. 6, n.2, p. 205 - 218, 1983.

- COOMBS, J.; BALDREY, C.W.; BUCKE, C. The C_4 pathway In *Pennisetum purpureum*. I. The allosteric nature of PEP carboxylase. *Planta*, Berlin, v.119, n.2, p. 95 - 107, 1975.
- COOPER, K M.; TINKER, P.B. Translocation and transfer of nutrients in vesicular - arbuscular mycorrhizas. II. Uptake and translocation of phosphorus, zinc and sulphur. *New Phytologist*, Cambridge, v.81,n.1, p. 43 - 52, 1978.
- COOPER, K.M. Adaptation of mycorrhizal fungi to phosphate fertilizers. In: FERGUSON, A.R.; BIELESKI, R.L.; FERGUSON, I, B. *Plant Nutrition*. New Zealand: C.R.Press, 1978. p.178.
- COWAN, I.R. Economics of carbon fixation in higher plants. In: GIVINISH, T.J. ed. *On the economy of Plant form and function*. Cambridge: Cambridge University, 1986. p.214.
- CRAIG, L.A.; WIEBOLD, W.J.; McINTOSH, M.S. Nitrogen fixation rates of alfafa and red clover grown in mixture with grasses. *Agronomy Journal*, Madison, v.73, n.6, p. 996 - 998, 1981.
- CRUZ, J.C.; RAMALHO, M.A.P.; SALLES, L.T.E.; Utilização de cultivares de milho prolífico no consórcio milho-feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.22, n.2, p. 203-211, Feb., 1987.
- DANSO, S.K.A.; ZAPATA, F.; HARDARSON, G.; FRIED, M.; Nitrogen fixation in favabeans as affected by planta population density in sole or intercropped systems with barley. *Soil Biology and Biochemistry*, Elmsford, v. 19, n.4, p. 411 -415, 1987.
- DAVIES, W.E. The yields and composition of lucerne grass and clover under diferent systems of management. V. Method of growing lucerne and meadow fescue. *Journal of British Grassland Society*, London, v. 19, n.2, p. 263 - 270, 1964.
- DESIR, S.; PINCHINAT, A.M. Produccion agronomica y economica de maiz y frijol comun asociados, segun tipo e poblacion de plantas. *Turrialba*, San Jose, v.26, n.3, p. 237-240, July / Sept., 1976.
- DIEM, H.G.; GUEYE, M.; DOMMERGUES, Y. The development of extraradical hyphae in relation to the response of cowpea to VA mycorrhizal infection. In: GIANINAZZI - PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, London: Academic Press, 1986. p.. 227 - 232.
- DIXON, R.K.; GARRET, H.E.; COX, G.S. Boron fertilization, vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization and growth of *Citrus jambhiri* Lush. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 12, n.4, p. 687 - 700, 1989.
- DONCASTER, H.D.; LEEGOOD, R. Regulation of phosphoenolpyruvate carboxylase activity in maize leaves. *Plant Physiology*, Bethesda, v. 84, n.1, p. 82 - 87, May, 1987.
- DOUGALL, D.K. Evidence for the presence of the glutamate synthase in carrot cell cultures. *Biochemical Biophysical Research Communications*, New York, v.58, p. 639 - 649. 1974.

- DUBACH, M.; RUSELLE, M. Forage legume roots and their role in nitrogen transfer **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n.2, p. 259 - 266, Mar./Apr., 1994.
- EAGLESHAM, A.R.J.; AYABANA, A.; RANGA RAO, V.; ESKEW, D.L. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 13, n.2, p. 169 - 171, 1981.
- EDWARDS, G.E.; HUBER, S.C.; The C_4 pathway. In: BOARDMAN, NK; HATCH, (eds.) **The Biochemical of Plants**. New York: Academic Press. 1981. v. 8, Cap. 6, p. 237 - 281.
- EDWARDS, G.E.; H. NAKAMOTO. Pyruvate, P_i dikinase and NADP- malate dehydrogenase in C_4 photosynthesis : properties and mechanism of light / dark regulation. **Annual Review of. Plant Physiology**, Palo Alto, v. 36, p. 255 - 286, 1985.
- EDWARDS, J.W.; CORUZZI, G.M. Photorespiration and light act in concert to regulate the expression of the nuclear gene for chloroplast glutamine synthetase. **Plant Cell**, Baltimore, v. 1, n.2, p. 241 - 248, 1989.
- EL-DIN, S.M.S.B.; MOAWAD, H. Enhancement of nitrogen fixation in lentil, faba bean, and soybean by dual inoculation with Rhizobia and mycorrhizae. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.108, n.1, p. 117 - 124, 1988.
- EVANS, D.G.; MILLER, M.H. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of maize. **New Phytologist**, Cambridge, v.114, n.1, p. 65 - 71, 1990.
- EZUMAH, H.C.; NAM, N.K.; WALKER, P. Maize - cowpea intercropping as affected by nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n.2, p.275 - 280, 1987.
- FARIS, M.N.; ARAUJO, M.R.A.; LIRA, M.D.A.; ARCOVERDE, A.S.S. Yield stability in intercropping studies of *Sorghum bicolor* or maize (*Zea mays*) with cowpea (*Vigna unguiculata*) or common bean (*Phaseolus vulgaris*) under different levels in northeastern Brazil. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v. 63, n.4, p. 789 - 800. 1983.
- FERNANDES, A.B.; SIQUEIRA, J.O.; MENEZES, M.A.L.; GUEDES, G.A.A. Efeito diferenciado do fósforo sobre o estabelecimento e efetividade da simbiose endomicorrízica em milho e soja. **Revista Brasileira de.Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.1, p.101 1-8, Jan./Abr., 1987.
- FIELD, C.; MOONEY, H.A. The photosynthesis - nitrogen relationship in wild plants. In: GIVNISH, T.J. ed. **On the Economy of Plant Form and Function**. Cambridge. s.d., 1986.
- FRANCIS, R.; FINLAY, R.D.; READ, D.J. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems: IV. Transfer of nutrients in inter and intra - specific combinations of host plants. **New Phytologist**, Cambridge, v. 102, n.1, p.103 - 111, Jan., 1986.

- FRANCIS, R.; READ, D.J. Direct transfer of Carbon between plants connected by vesicular-arbuscular mycorrhizal micelium. **Nature**, New York, v. 307, n. 5946, p 53 - 56, 1984
- FREY, B.; SCHUEPP, H. Transfer of simbiotically fixed nitrogen from berseem (*Trifolium alexandrinum* L.) to maize via vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae. **New Phytologist**, Cambridge, v. 122, n.2, p. 247 - 454, 1992.
- FREY, N.M.; MOSS, D.N. Variation in RuDPCase activity in barley. **Crop Science**, Madison, v. 16, n.2, p. 209 - 213, 1976.
- FUJITA K.; OGATA, S.; MATSUMOTO, K.; MASUDA T.; OFOSU-BUDU, K.; KUWATA, K. Nitrogen transfer and dry matter production in soybean and sorghum mixed cropping systems at different population densities. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 36, n.2, p. 233 - 241, 1990.
- FUJITA, K.; OFOSU-BUDU, K.G.; OGATA, S. Biological nitrogen fixation im mixed legume-cereal cropping systems. **Plant and Soil**, Netherlands, v.141, n.1, p.155 - 175, Mar., 1992.
- FURBANK, R.T.; LEEGOOD, R.C. Carbon metabolism and gas exchange in leaves of *Zea mays* L. Interaction between the C₃ and C₄ pathways during photosynthetic induction. **Planta**, Berlin, v 162, n.4, p. 457 - 462, 1984.
- FURLAN, V.; BERNIER - CARDOU, M. Effects of N, P, and K on formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae, growth and mineral content of anion. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 113, n.1, p.167 - 174, 1989.
- GERDERMAN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, London, v.46, n.2, p. 235 - 244, 1963.
- GERDERMAN, J.W.; Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. **Annual Review. of Phytopatology**, Palo Alto, v, 6, p. 397 - 418, 1968.
- GERDERMAN, J.W.; TRAPPE, J.M.. The Endogonaceae in the Pacific Northwest, **American Society of Mycology**, Bronx: The New York Botanical Garden, Bronx, 1974.
- GIANINNAZZI, S. Vesicular - arbuscular (endo)mycorrhizas: cellular, biochemical and genetic aspects. **Agriculture and Ecosystem Environmental**, Madison, v.35, p.105 -119, 1991.
- GIANINAZZI - PEARSON V., SMITH, S.E.; GIANINAZZI, S.; SMITH, F.A. Enzymatic studies on the metabolism of vesicular - arbuscular mycorrhizas. V. Is H⁺ - ATPase a component of ATP - hydrolysing enzyme activities in plant - fungus interfaces. **New Phytologist**, Cambridge, v. 117, n.1, p. 61 - 76, 1991.

- GIANINAZZI - PEARSON, GOLLOTE, A.; LHEMINIER, F.; TISSERANT, B.; FRANKEN, P.; DUMAS-GAUDOT, E.; LEMOINE, M.C.; VAN TUINEN, D.; GIANINAZZI, S. Cellular and molecular approaches in the characterization of symbiotic events in functional arbuscular mycorrhizal associations. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.73, n.1, 114 - 117, 1995.
- GILL, M.A.; ALI, N.; NAYAR, M.M. Relative effect of phosphorus combined with potash and *Rhizobium phaseoli* on the yield of *Vigna aureus* (mung). **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 23, n.1, 279 - 282, Jan., 1985.
- GILLER, K.E.; ORMESHER, J.; AWAH, F.M. Nitrogen transfer from *Phaseolus* bean to intercropped maize measured using ^{15}N - enrichment and ^{15}N - isotope dilution methods. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 23, n.4, p.339 - 346, Apr., 1991.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 84, n.3, p. 489 - 500, 1980.
- GIOVANETTI, M.; AVIO, L.; SBRANA, C.; CITERNESI, A.S.. Factors affecting appressorium development in the vesicular - arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe. **New Phytologist**, Cambridge, v.123, n.1, p. 114 - 122, 1993.
- GLIESSMAN, S.R. Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. In: GLIESSMAN, S.R. ed. **Agroecology**, New York: Spring- Verlag, 1990. p. 3 - 10.
- GRAHAN, J.H.; EISSENSTAT, D.M. Host genotype and the formation and function of VA mycorrhizae. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.159, n.1, p. 179-185, 1994.
- GUIZ, C. **Contribution à l'étude des enzymes du métabolisme azoté chez Phaseolus vulgaris**. Université de Nancy - I, Nancy. 1979. Tese Doutorado em Fisiologia Vegetal .
- GUNAWARDENA, S.F.B.N.; DANSO, S.K.A.; ZAPATA, F. Phosphorus requirements and nitrogen accumulation by three mungbean (*Vigna radiata*) (L) cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 147, n.2, p.267 - 274, 1992.
- HAMEL, C.; FURLAM, V.; SMITH, D. Mycorrhizal effects on interspecific plant competition and nitrogen transfer in legume-grass mixtures. **Crop Science**, Madison, v.32, n.4, p. 991 - 996, July/Aug., 1992.
- HAMEL, C.; BARRANTES-CARTIN, U.; FURLAN, V.; SMITH, D.L. Endomycorrhizal fungi in nitrogen transfer from soybean to maize. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.138, n.1, p. 33 - 40, 1991.
- HARLEY, J.L.; SMITH, S.E. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press, 1983. 483 p.
- HARPER, J.E. Nitrogen metabolism - In: WILCOX, J.R. ed. **Soybeans Improvement Production, and Uses**. 1987, Madison: Am. Soc. Agron., 1987. p. 497 - 533. (Monograph, 16).

- HARRIS, D.; PACOVSKY, R.S.; PAUL, E.A. Carbon economy of soybean-*Rhizobium-Glomus* associations. **New Phytologist**, Cambridge, v. 101, n.3, p. 427 - 440, Nov., 1985.
- HATCH, M.D. Mechanism and function of the C_4 pathway of photosynthesis. In: HATCH, M.D.; OSMOND, C.B.; SLATYER, R.O. eds. **Photosynthesis and photorespiration**, New York: Willey-Interscience 1971. p. 139 - 152.
- HATCH, M.D.; BURNELL, J.N. Carbonic anhydrase activity in leaves and its role in the first step of C_3 photosynthesis. **Plant Physiology**, Cambridge, v. 93, n.2, p. 825 - 828, June, 1990.
- HAWES, M.C.; LIN, HAO-JIN. Correlation of pectolytic enzyme activity with the programmed release of cells from root caps of pea (*Pea sativum*). **Plant Physiology**, Cambridge, v.94, n.4, p.1855 - 1859, 1990.
- HAYAKAWA, T.; YAMAYA, T.; MAE, T.; OJIMA, K. Changes in content of two glutamate synthase proteins in spikelets of rice (*Oryza sativa*) plants during ripening. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 101, n.4, p. 1257 - 1262, 1993.
- HAYMAN, R.J.; TAVARES, M. Plant growth responses to vesicular - arbuscular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. **New Phytologist**, Oxford, v. 100, n.3, p. 367 - 377, 1985.
- HAYNES, R.J. Competitive aspects of the grass-legume association. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 33, p. 227 - 261, 1980.
- HAYSTEAD, A.; MALAJZUK, N.; GROVE, T.S. Underground transfer of nitrogen between pasture plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v.108, n. 4, p.417 - 423, Apr., 1987.
- HAYSTEAD, A.; MARRIOT, C.J. Transfer of legume nitrogen to associated grass. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 11, p.99 - 104, 1979.
- HEAP, A.J.; NEWMAN, E.I. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhizas on phosphorus transfer between plants. **New Phytologist**, Cambridge, v.85, n.1, p.173 - 179. 1980.
- HEICHEL, G.H.; BARNES, D.K.; VANCE, C.P.; HENJUM, K.I. N_2 fixation, and N dry matter partitioning during a 4-year alfalfa stand. **Crop Science**, Madison, v.24, n.4, p. 811 - 815, July/Aug., 1984.
- HENSON, R.A.; HEICHEL, G.H. Partitioning of symbiotically fixed nitrogen in soybeans and alfalfa. **Crop Science**, Madison, v.24, n.5, p. 986 - 990, Sept./ Oct., 1984.
- HENZELL, E.F.; VALLIS, I. Transfer of nitrogen between legumes and other crops. In: AYANABA, A.; DART, P.J. (ed) **Biological Nitrogen in Farming Systems of the Tropics**, New York: Wiley, 1977. p.73 - 78..

- HEPPER, C.M. The effect of nitrate and phosphate on the vesicular - arbuscular mycorrhizal infection of lettuce. **New Phytologist**, Cambridge, v. 92, n.3, p. 389 - 399, Nov., 1983.
- HERBERT, S.J. ; PUTNAM, D.H.; POOS-FLOYD, M.I.; VARGAS , A. CREIGHTON J.F. Forage yield of intercropped corn and soybean in various planting patterns. **Agronomy Journal**, Madison,v. 76, n.3, 507 - 515, May/June, 1984.
- HIREL, M.C.; GERDEMANN, J.W. Enhanced carbon transfer between onions infected with a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. **New Phytologist**, Cambridge, v.83, n.3, p.731 - 738. Nov., 1979.
- HIREL, B.; VIDAL, J.; GADAL,P. Evidence for a cytosolic-dependent light induction of chloroplasts glutamine synthetase during greening of etiolated leaves. **Planta**, Berlin, v.155, n.1, p. 17 - 23, 1982.
- HIREL, B.; MARSOLIER, M.C.; HEARN, A.; HOARAU, J.; BRANGEON, J.; CHAFER, R.; VERMA, D.P.S. Forcing expression of a soybean root glutamine syntetase gene in tobacco leaves induces a native gene encoding a cytosolic enzyme. **Plant of Molecular Biiology**, Bethesda, v.30, n. 2, p. 207 - 218, 1992.
- HOEZLE, I.; FINER, J.J.; MCMULLEN, M.D.; STREETER, J.G. Induction of glutamine synthetase activity nonnodulated roots of *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris*, and *Pisum sativum*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 100, n.1, p. 525 - 528, Sept.,1992.
- HOWELER, R.H.; SIEVERDING, E.; SAIF, S. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. **Plant and Soil**, Dordrecht, v 100, n.2, p.249 - 283,1987.
- HUBER, S.C.; SUGIYAMA, T. Changes in sensitivity to effectors of maize leaf phosphoenolpyruvate carboxylase during light / dark transitions. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 81, n. 2, p. 674 - 677, June, 1986.
- HUBER, S.C.; SUGYAMA, T.; AKAZAWA, T. Light modulation of maize leaf phosphoenolpyruvate carboxylase. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 82, n.2, p. 550 - 554, Oct., 1986.
- ISLAM, R.; AYANABA, A.; SANDERS, F.E. Response of cowpea (*Vigna unguiculata*) to inoculation with VA mycorrhizal fungi and to rock phosphate fertilization in some unsterilized Nigerian soils. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 54, n.1, p. 107 - 117, 1980.
- ISRAEL, W.D.; Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. **Plant Physiology**, Bethesda, v.84, n. 3, p. 835 - 840, July, 1987.
- ISRAEL, W.D. Symbiotic-dinitrogen fixation and host-plant growth during development of and recovery from phosphorus deficiency. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 88, n.2, p. 294-300, 1993.
- ISRAEL, W.D.; RUFTY, T.W. Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological responses in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 28, n. 6, p. 954 - 960, Nov./Dec., 1988.

- JACKMAN, R.H.; MOUAT, M.C. Competition between grass and clover for phosphate. I, Effect of browntop (*Agrostis tenuis* Sibth) on white clover (*Trifolium repens*) growth and nitrogen fixation. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 15, n.5, p. 653-666, 1972.
- JACOBSEN, I. The role of phosphorus in nitrogen fixation by young pea plants (*Pisum sativum*) . **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 64, n.1, p.190- 196, May, 1985.
- JANSEN, H.H.; Deposition of nitrogen into the rhizosphere by wheat roots. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.22, n.8, p. 1155 - 1160, 1990.
- JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A.P.; HETRICK, B.A.D. Mineralization of organic phosphorus by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry** .v. 24, n. 9, p. 897 - 903, Sept., 1992.
- JEFFRIES, P. Use of mycorrhizae in agriculture. **Critical Review of Biotechnology**, Cleveland, v. 5, n.3, p.319 - 357. 1987.
- JIAO J. A.; CHOLLET, R. Light / dark regulation of maize leaf phosphoenolpyruvate carboxylase by *in vivo* phosphorylation. **Archive of Biochemistry and Biophysics**, Madison, v. 261, p. 409 - 417, 1988.
- JIAO, J. A.; VIDAL, J.; ECHEVARRIA, C.; CHOLLET, R. *In vivo* regulatory phosphorylation site in C₄ leaf phosphoenolpyruvate carboxylase from maize and sorghum. **Plant Physiology**, Bethesda, v.96, n.2, p. 297 - 301. June, 1991.
- JIAO, J.A.; CHOLLET, R. Light activation of maize phosphoenolpyruvate carboxylase protein - serine kinase activity is inhibited by mesophyll and bundle sheath-directed photosynthesis inhibitors. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 98. n.1, 152 - 156, Jan., 1992.
- JODHA, N.S. Intercropping in traditional farming systems. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ON INTERCROPPING**, Hyderabad, India. 1979. **Proceedings ...** Patancheru, AP: ICRISAT, 1981, p. 282 - 291.
- JOHNSON, C.R.; JARREL, W.M.; MENGE, J.A. Influence of ammonium nitrate ratio and solution pH on mycorrhizal infection, growth and nutrient composition of *Crysanthemum morifolium* var. Circus. **Plant and Soil**, Netherlands, v.77, n.1, p.151 - 157, 1984.
- JOHNSON, C.R.; JOINER, J.N.; CREWS, C.E. Effects of N,K, and Mg on growth and leaf nutrient composition of three container grown woody ornamentals inoculated with mycorrhizae. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Cambridge, v. 105, n.2, p. 286 - 288, June, 1980.
- JORDAN, D.B.; CHOLLET, R.; OGREN, W. L. Binding of phosphorylated effectors by active and inactive forms of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase. **Biochemistry**, Bethesda, v.22, p. 3410 - 3418, June, 1983.

- KAISER, W.M.; SPILL, D.; BRENDLE, BEHNISH, E. Adenine nucleotides are apparently involved in the light-dark nodulation of spinach leaf nitrate reductase. **Planta**, Berlin, v.186, p. 236 - 240, 1992.
- KALIL, S.; LAYANACHAN, T.E.; TABATABAI, M.A. Mycorrhizal dependency and nutrient uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, n.6, p. 949 - 958, Nov./Dec., 1994.
- KAMACHI, K.; YAMAYA, T.; HAYAKAWA, T.; MAE, T.; OJIMA, K. Vascular bundle specific localization of cytosolic glutamine synthetase in rice leaves. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 99, n.4, p. 1481 - 1486, 1992.
- KANAMORI, T.; MATSUMOTO, H. Glutamine synthetase from rice plant roots. **Archives. Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 125, n.2, p. 404 - 412, 1972.
- KANG, S.M.; TITUS, J.J. Characterization of glutamine synthetase in the apple. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 53, n.2, p. 239 - 244, 1981.
- KAUR, S. ; O.S. SINGH. Response of ricebean to single and combined inoculation with *Rhizobium* and *Glomus* in a P-deficient sterilized soil. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 112, n.2, p. 293 - 295, 1988.
- KAUSHIK, S.K.; GAUTAM, R.C. Effect of nitrogen and phosphorus on the production potential of pearl-millet / cowpea or green gram intercropping systems under rainfed conditions. **Journal of Agricultural Science**, Madison, v.108, p.361-364, 1987.
- KAWAMOTO, Y.; MASUDA, Y.; GOTO, I. Studies on suitable legume species for forage in mixed culture with sorghum. **Journal of Japanese Society of Grassland Sciences**, v.28, n.3, p. 284 - 291, 1982. In: HERBAGE ABSTRACTS, Farnham Royal, v.53, n. 11, p.548, Nov.1983 (abst.) 4.931.
- KERR, P.S.; HUBER, S.C.; ISRAEL D.W. Effect of N-source on soybean leaf sucrose phosphate synthase, starch formation, and whole plant growth. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 75, n.2, p.483 - 488, June, 1984.
- KESSEL, C. VAN; ROSKOSKI, J.P. Row spacing effects on N_2 - fixation, N yield and soil N uptake of intercropped cowpea and maize. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.111, n. 1, p. 17 - 23, 1988.
- KHAN, A.G. The occurrence of mycorrhizas in halophytes and xerophytes, and of Endogone spores in adjacent soils. **Journal of General Microbiology**, London, v. 81, p.7 - 14, 1974.
- KINDEN, D.A.; BROWN, M.F. Electron microscopy of vesicular-arbuscular mycorrhizae of yellow poplar. I. Characterization of endophytic structures by scanning stereoscopy. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.21, p. 989, 1975.

- KLUGE, M. The role of phosphoenolpyruvate carboxylase in C_4 photosynthesis and Crassulacean acid metabolism plants. In TING, I.P.; GIBBS, M. (eds.). **Crassulacean Acid metabolism**. Rockville: American Society of Plant Physiology. 1983. p. 153- 169.
- KOIDE, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Cambridge, v. 117, n. 3, p. 365 - 386, Mar., 1991.
- KOTHARI, S.K.; MARSCHNER, H.; ROMHELD, V. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil. **New Phytologist**, Cambridge, v.116, n.4, p. 637 - 645, Dec., 1990.
- KOTHARI, S.K.; MARSCHNER, H.; ROMHELD, V. Contribution of VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. **Plant and Soil**, Netherlands, v.131, n.2, p. 177 - 185, Mar., 1991.
- KU, S.B.; EDWARDS, G.E. Photosynthesis in mesophyll protoplasts and bundle sheath cells of various types of C_4 plants. **Zeitschrift Pflanzenphysiologie, Leipzig**, v. 77, p.16 - 32, 1975.
- KUO, C.G.; HSU, F.H.; TSAY, J.S.; PARK, G. Variation in specific leaf weight and RuBcase activity in mungbean. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 60: n.3, p.1059 - 1062, 1980.
- LATZCO, E.; KELLY, G.J. The many-faceted function of phosphoenolpyruvate carboxylase in C_3 plants. **Physiologie Vegetale**, Montrange, v. 21, n.4, p. 805 - 813, 1983.
- LEDGARD, S.F.; FRENEY, J.R.; SIMPSON J.R. Assessing nitrogen transfer from legumes to associated grasses. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.17, n.4, p. 575, 1985.
- LEDGARD, S.F.; BRIER, G.J.; LITTLER, R.A. Legume production and nitrogen fixation in hill pastures communities. **New Zealand Journal of Agriculture Research**, Wellington, v.30, n.4, p.413 - 421, 1987.
- LEDGARD, S.F. Transfer of fixed nitrogen from white clover to associated grasses in swards grazed by dairy cows, estimated using ^{15}N methods. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.131, n.2, p. 215 - 223, Mar., 1991.
- LEDGARD, S.F.; STEELE, D. Nitrogen fixation in legume / grass pastures. **Plant and Soil**, Netherlands, v.141, n.1-2, março, p. 140 - 151, Mar., 1992.
- LEE, J.A.; STEWART, G.R. Ecological aspects of nitrogen assimilation. **Advances in Botanical Research**, San Diego, v. 6, p. 1 - 43, 1978.
- LI, X.; GEORGE, E.; MARSCHNER, H. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. **New Phytologist**, Cambridge, v.119, n.3, p. 397 - 404, Nov., 1991.

- LILLEY, R.M.; PORTIS, A.R. Activation of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) by Rubisco activase. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 94, n.1, p. 245 - 250, 1990.
- LOPES, E.S. **Solos sobre "cerrado" : características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato. 1984. 162 p.
- LOPES, E.S.; DE OLIVERA, E. Efeito de espécies de micorrizas vesicular-arbuscular em Siratro (*Macroptilum atropurpureum*). **Bragantia**, Campinas, v. 39, n.17, p. 241 - 245, Nov., 1980.
- LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O. Vesicular - arbuscular mycorrhizas - their potencial in phosphate nutrition in tropical regions. In: RUSSEL, R.S.; IGUE, K. ; MEHTA, Y.R. ed. **The soil / root system in relation to Brazilian Agriculture**. Londrina: IAPAR, 1981. p. 225 - 242.
- LOPES, E.S., SIQUEIRA, J. O.; ZAMBOLIM, L. Caracterização das micorrizas vesicular-arbusculares (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p. 1 - 19, Jan./Apr., 1983.
- LOUIS, I.; SLIM, G. M. Differential response in growth and mycorrhizal colonization of soybean to inoculation with two isolates of *Glomus clarum* in soils of different P availability. **Plant and Soil**, Netherlands, v.112, n.1, p. 37 - 43, 1988.
- LOWRY, O.N.; NIRA, J.; ROSENBROUGH, A.; EARL, A.L.; RANDALL, R.J. Protein measurement with the Follin-phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 193, n.1, p. 267 - 275. Nov., 1951.
- LU, S.; MILLER, M.J. The role of VA-mycorrhizae in the absorption of P and Zn by maize in field and growth chamber experiments. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 69, n.1, p.97 - 109, Feb., 1989.
- LYND, J.Q.; J. T. RONALD; A.A.A. PURCINO. Mycorrhiza - soil fertility on regrowth, nodulation and nitrogenase activity of siratro (*Macroptilum atropurpureum* (DC) Urb.) **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 8, n.11, p. 1047 - 1059, Aug., 1985.
- MACKNAUGHTON, G.A.L.; FEWSON, C.A.; WILKINS, M.B.; NIMMO, H.G. Purification, oligomerization, state and malate maize leaf phosphoenolpyruvate carboxylase. **Biochemical Journal**, Liverpool, v.232, p. 261 - 349. 1989.
- MAKINO, A.; OSMOND, B. Effects of nitrogen nutrition on nitrogen partition between chloroplasts and mitochondria in pea and wheat. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 96, n.2, p.355 - 362, June, 1991.
- MANDAL, B.J.; DHAARA, M.C.; MANDAL, B.B.; DAS S.K.; NANDY, R. . Rice, mungbean, soybean, peanut, ricebean and black gram yields under different intercropping systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n.6, p.1063 - 1066, Nov./Dez., 1990.

- MANJUNATH, A.; BAGYARAJ, D.J. Response of pigeon pea and cowpea to phosphate and dual inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhiza and *Rhizobium*. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.61, p 48 - 52. 1984.
- MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**. Dordrecht, v.159, n.1, p. 89 - 102, Feb., 1994.
- MARTINEAU, B.; TAYLOR W.C. Photosynthetic gene expression and cellular differentiation in developing maize leaves. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 78, n.2, p. 399 - 404, June, 1985.
- MARTY, J.R.; HILAIRE, A.; DABASSE, M. Associations soja - mais et soja - sorgho grain en cultures fourragères. *Compte Rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France*. V. 64, n.4, p. 34 - 345, 1978. In: **HERBAGE ABSTRACTS**, Farnham Royal, v. 60, n.1, p. 31, Jan., 1980. (abst. 168).
- MAYO, K.; DAVIS, R.E.; MOTTA, J. Stimulation of germination of spores of *Glomus versiforme* by spore associated bacteria. **Mycologia**, New York, v. 78, p. 426 - 431, 1986.
- MCNALLY, S.F.; HIREL, B. Glutamine synthetase isoforms in higher plants. **Physiologie Vegetable**, v. 21, n.1, p. 761 - 774, 1983.
- MCNALLY, S.F.; HIREL, B.; GADAL, P.; MANN, A.F.; STEWART, G.R.; Glutamine synthetase in higher plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 72, n. 1, p. 22 - 25, 1983.
- MCNEILL, A.M.; WOOD, M. Fixation and transfer of nitrogen by white clover to ryegrass. **Soil Use and Management**, Oxford, v.6, n.2, p.84 - 87, 1990.
- MEDINA, O.A.; D.M. SYLVIA; A.E. KRETSCHMER. Response of Siratro to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. I. Selection of effective VA fungi in amended soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.52, n.2, p.416 - 419, Mar./Apr., 1988.
- MENGE, J.A.; STEIRLE, D.; BAGYARAJ, D.J.; JOHNSON, E.L.V.; LEONARD, R.T. Phosphorus concentrations in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Cambridge, v.80, n.3, p. 575-578, 1978.
- MENGE, J.A.; JARREL, W.M.; LABANAUSKAS, C.K.; OJALA, J.C.; HUSZAR, C.; JOHNSON E.L.; SIBERT, D. Predicting mycorrhizal dependency of troyer citrange on *Glomus fasciculatum* in California citrus soils and nursey mixes. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 46, n.4, p. 762-768, July/Aug., 1982.
- MEYER, C.R.; RUSTIN, R.P.; WEDDING, R.T.; A simple and accurate Spectrophotometric assay for phosphoenolpyruvate carboxylase activity. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 86, n.2, p. 325 - 328, Feb., 1988.

- MELZER, E; O'LEARY M.H. Anapleurotic CO₂ fixation by phosphoenolpyruvate carboxylase in C₃ plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 84, n.1, p. 58 - 60, May, 1987.
- MIFLIN, B.; LEA, G.R. Amino acid metabolism. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 28, p. 299 - 329, 1977.
- MILLER, D.D.; P. A. DOMOTO; C. WALKER. Colonization and efficacy of different endomycorrhizal fungi with apple seedlings at two phosphorus levels. **New Phytologist**, Cambridge, v. 100, n.3, p. 393 - 402, July, 1985.
- MIRANDA, J.C.C.; HARRIS, P.J.; A.WILD. Effects of soil and plant phosphorus concentrations on vesicular-arbuscular mycorrhiza in sorghum plants. **New Phytologist**, Cambridge, v.112, n.3, p. 405 - 410, July, 1989.
- MOLINO, I.M.M.; CARRASCO-MARTINEZ, R.; HERNADEZ, L.; MORCUENDE, R.; SANCHES DE LA PUENTE, L. Influence of nitrogen supply and sink strength on changes in leaf nitrogen compounds during senescence in two wheat cultivars. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.95, n.1, p. 51 -58, Sept., 1995.
- MONTGOMERY, M.J. Soybeans - grain sorghum vs. corn for silage for lactating cows. Proceedings of the 38 th Southern pasture and Forrage Crop Improvement Conference, 1982. In: **HERBAGE ABSTRACTS**, Farnham Royal, v.53, n.10, p.490, Oct. 1983. (abst.4375).
- MORTON, J.B.; BENNY, G.L Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (zygomycetes) a new order glomales, two new suborders, *Glomineae* and *Gigasporineae* and two new of *Glomaceae*. **Mycotaxon**, Ithaca, v. 37, p. 471 - 491, 1990.
- MOSSE, B.; PHILLIPS, J.M. The influence of phosphate and other nutrientes on the development of vesicular - arbuscular mycorrhiza in culture. **Journal of General Microbiology**, London, v. 69, n.1, p. 157-166, 1971.
- MOSSE, B. The influence of soil type and Endogone strain on the growth of mycorrhizal plants in phosphate deficient soils. **Revue du Ecologie et Biologie de Sol**. Paris, v.9, p. 529 - 537, 1972.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. **Annual Review. of Phytopatology**, Palo Alto, v.11, p. 171 - 196, 1973.
- MOSSE, B.; POWELL, C.L.; HAYMANN, D.S. plant growth responses to vesicular - arbuscular mycorrhiza. IX. Interactions between VA mycorrhiza, rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. **New Phytologist**, Oxford, v.76, n.3, p. 331 - 342, 1976.
- MOSSE, B. Plant growth response to vesicular-arbuscular mycorrhiza. X. Responses of *Stylosantes* and maize to inoculation in unsterile soils. **New Phytologist**, Cambridge, v.78, n. 2, p. 277 - 288, May, 1977.

- MOSSE, B. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza Research for Tropical Agriculture**. Hawaii: Intitute for Agriculture. and Human Research, 1981. 82 p.
- MICROCOMPUTER STATISTICAL PROGRAM (MSTAT-C). MICHIGAN STATE UNIVERSITY. INSTITUTE OF INTERNATIONAL AGRICULTURE. 1989.
- NAMBIAR, P.C.T.; RAO, M.R.; REDDY, M.S.; FLOYD, C.; DART, P.J.; WILLEY, R.W. Effect of intercropping on nodulation and N₂ fixation by groundnut. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 19, p.79 - 86, 1983.
- NELSEN, C.E.; BOLGIANO, N.C.; FURUTANI, S.C.; SAFIR, G.R.; ZANDSTRA, B.H. The effect of soil phosphorus levels on mycorrhizal infection of field-grown onion plants and on mycorrhizal reproduction. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount, v. 106, n.6, p. 786-788, Nov., 1981.
- NEWMAN, E.I.; RITZ, K. Evidence on the pathways of phosphorus transfer between vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **New Phytologist**, Cambridge, v.104, n.1, p. 77 - 87, Sept., 1986.
- NEWMAN, E.I.; DEVOY, C.L.N.; EASEN, N.J.; FOWLES, K.J. Plant species that can be linked by VA mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Cambridge, v.126, n. 4, p. 691 - 693, Apr., 1994.
- NIELSEN, J.D.; JENSEN, A. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi on growth and uptake of various nutrients as well as uptake ratio of fertilizer P for lucerne (*Medicago sativa*). **Plant and Soil**, Dordrecht, v.70, n.2, p.165 - 172, 1983.
- NYE, P.H.; TINKER, P.B. Solute movement in the soil-root system. **Studies in Ecology**, Berkeley, v.4, n.2, p.123, June, 1977.
- OAKS, A. A re-evaluation of nitrogen assimilation in roots. **BioScience**, Washington, v.42, n.2, p.103 - 111. 1992.
- OFORI, F.; STERN, W.R. Cereal - legume intercropping systems. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 41, p. 41 - 90, 1987.
- OFORI, F.; PATE, J.S.; STERN, W.R. Evaluation of N₂ fixation and nitrogen economy of a maize / cowpea intercrop system using ¹⁵N dilution methods. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.102, n.1, p.149 - 160, 1987.
- OFOSU-BUDU, K.G.; FUJITA, K.; OGATA, S. Excretion of ureide and other nitrogenous compounds by the root system of soybean at different growth stages. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.128, n.2, p. 135 -142, 1990.
- OGATA, S.; FUJITA, K.; MATSUMOTO, K.; SANEOKA, H. Studies on mixed cropping of grasses and legumes. 1. Dry matter production and behavior of fixed N in the system of mixed cropping of sorghum, soybean and siratro. **Journal of Japanese Grassland**, Tokio, v. 32, p. 36 -43, 1986.

- OJIMA, M.; FUKUI, J.; WATANABE, I. Studies on the seed production in soybean. II Effects of three major nutrient elements supply and leaf age on the photosynthetic activity and diurnal changes in photosynthesis under constant temperature and light intensity. **aproceedings of Crop Science Society of Japan**, Tokio, n.33; p. 437 - 442, 1965.
- OKIGBO, B.N.; GREENLAND, D.J. Intercropping systems in tropical Africa. In : PAPENDICK, R. (ed). **Multiple Cropping**.Madison: ASA, 1976. p 63 -101. (Special. Publication, 27).
- OLIVER, A.J.; SMITH, S.E.; NICHOLAS, D.J.D.; WALLACE, W. Activity of nitrate reductase in *Trifolium subterraneum*: Effects of mycorrhizal infection and phosphate nutrition. **New Phytologist**, Cambridge, v.94, n.1, p. 63 - 79, 1983.
- OLOFINTOYE, J.A. Cowpea (*Vigna unguiculata*) (L) response to different levels of phosphorus and nitrogen in the Guinea savanna of Nigeria. **Philippines Agriculture**, Manila. v.69, p. 411 - 418. 1986.
- O'NEAL, D.J.; JOY, K.W. Localization of glutamine synthetase in chloroplasts. **Nature New Biology**, v. 246, p. 61 - 62. 1973.
- O'NEAL, D.J.; JOY, K.W.; Glutamine synthetase of pea leaves. I. Purification, Stabilization, and pH optima. **Archives of Biochemistry an. Biophysics**, New York, v.159, n. 1, p.113 - 122. 1974.
- OSIRU, P.S.D.; WILLEY, R.W. Studies on mixture of dwarf sorghum and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.79. n. 3, 531 - 540, Dec., 1972.
- PACOVSKY, R.S.; PAUL, E.A.; BETHLENFALVAY, G.J. Response of mycorrhizal and P fertilized soybeans to nodulation by *Bradyrhizobium* or ammonium nitrate. **Crop Science**, Madison, v. 26, n.1, p. 145 - 150, Jan./Feb., 1986.
- PAPASTYLIANOU, I. Response of pure stands mixtures of cereals and legumes to nitrogen fertilization and residual effect on subsequent barley. **Journal of Agriculture. Science**, Cambridge, v.115, n.1, p. 15 - 22. 1990.
- PATE, J.S.; DART, P.J. Nodulation studies in legumes. IV The influence of inoculum strain and time of application of ammonium nitrate on symbiotic response. **Plant and Soil** Dordrecht, v.15, n.2, p. 329 - 346. 1961.
- PATRA, D.D.; SACHDEV, M.S.; SUBBIAH, B.V. Residual value of ¹⁵N-labeled fertilizer applied to a maize-cowpea intercropping system. **Biology and Fertility of Soils**,Berlin, v. 8, p.183 - 188. 1989.
- PAULA, M.A.; SIQUEIRA, J.O. Efeito de micorrizas vesicular-arbusculares no crescimento, nodulação e acúmulo e N na soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.171 - 178, Feb., 1987.

- PAULA, M.A.; SIQUEIRA, J.O.; HOSHIKA, E. Crescimento, nutrição e produção de soja inoculada com populações de fungos micorrízicos vesículo - arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p.151-156, Mar./Ago., 1990.
- PAULA, M.A.; SIQUEIRA, J.O.; OLIVEIRA, R.H.; OLIVEIRA, E. Efetividade simbiótica relativa em soja de populações de fungos endomicorrízicos nativos e de isolados de *Glomus macrocarpum* e *Gigaspora margarita*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p. 25 - 31, Jan./Fev., 1988.
- PEREIRA, P.A.A.; ROCHA R.E.M. DA; ARAUJO, R.S.; Nodulação do Pesquisa feijoeiro em monocultivo e associado com fileiras de milho maduro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.8, p. 951 - 954. 1984.
- PETERS, N.K.; VERMA D.P.S. Phenolic compounds as regulators of gene expression in plant - microbe interactions. **Molecular Plant Microbe Interactions**, St. Paul, v.3, n.1, p.4-8. 1990.
- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, London, v. 55, n.1, p.158 - 161, Aug., 1970.
- PIROZINSKI, K.A.; Interactions between fungi and plants through the ages. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 59, p. 1824 - 1827. 1981.
- PLENCHETTE, C.; FURLAN,V.; FORTIN, J.A. Responses of endomycorrhizal plants grown in a calcined montmorillonite clay to different levels of soluble phosphorus. I. Effect on growth and mycorrhizal development. **Candian Jounal of Botany**, Ottawa, v. 61, n.5, p.1377 - 1383, May, 1983.
- POWEL, C.L. Development of mycorrhizal infections from endogone spores and infected root segments. **Transactions of British Mycological Society**, London, v. 66, p. 439 - 445. 1976.
- PURCINO, A.A.C.; PAIVA, E. SILVA, M.R. Determination of Rubisco and PEP - case by an indirect ELISA assay. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.5, n.1, p.77, Jul., 1993.
- QIU, J.; ISRAEL, D.W. diurnal starch accumulation and utilization in phosphorus-deficient soybean plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 98, n.1, p. 316 - 323, Jan., 1992.
- QUY, LE VAN; FOYER, C.; CHAMPGNY, M.L.. Effect of light and NO_3^- on wheat leaf phosphoenolpyruvate carboxylate activity. **Plant Physiology**, Bethesda v. 97, n.1, p.1476 - 1482. 1991.
- RABOTNOV, T.A. In : Junk, W. Application of Vegetation Science to Grassland Husbandry. The Hague: Ed. W.Kroese, p. 459 -497. 1977.
- RAO, L.J.; WILLEY, R.W. Evaluation of yield stability in intercropping : studies on sorghum - pigeonpea. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.16, p. 105 - 116. 1980.

- RAO, L.J.; MITTRA, B.N. It pays to intercrop groundnut and arhar during winter in West Bengal. **Indian Farming**, New Delhi, v.2, n.1, p.25. 1989.
- RAO, L.J.; TERRY, N. Leaf phosphate status, photosynthesis and carbon partitioning in sugar beet: 1. Changes in growth, gas exchange, and Calvin cycle enzymes. **Plant Physiology**, Bethesda, v.90, n.3, p.814 - 819., July, 1989.
- RATNAYAKE, M.; R.T. LEONARD; J.A. MENGE. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhiza formation. **New Phytologist**, Cambridge, v. 81, n.3, novembro, p. 543 - 552, Nov, 1978.
- READ, D.J.; FRANCIS, R.; FINLAY, R.D. Mycorrhizal mycelia and nutrient cycling in plant communities. In: FITTER, A.H. (ed.) **Ecological Interactions in Soil**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. p. 193 - 207.
- REDINBAUGH, M.C.; CAMPBELL, W.H. Glutamine synthetase and ferredoxin-dependent glutamate synthase expression in the maize (*Zea mays*) root primary response nitrate. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 101, n.4, p.1249 - 1255., Apr., 1993.
- REGO, T.J. Nitrogen response studies of intercropped sorghum with pigeon pea. In: **Proceedings of. Workshop Intercropping.**, 1981, Hyderabad, Pantacherum: ICRISAT, 1981. p 210 - 216.
- REID, C.P.P.; WOODS, F.W. Translocation of C^{14} - labelled compounds in mycorrhizae and its implications in interplant nutrient cycling. **Ecology**, Tempe, v.50. p. 179 - 181, 1969.
- RENNIE, R.J.; KEMP, G.A. ^{15}N - determined time course for N_2 fixation in two cultivars of field bean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n.1, jp. 146 - 154, Jan./Feb., 1984.
- RERKASEM K.; RERKASEM, B. Yields and nitrogen nutrition of intercropped maize and ricebean (*Vigna umbellata*). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 108, n.1, p. 151 - 162, 1988.
- RERKASEM, B.; RERKASEM, K.; POPLES, M.B.; HERRIDGE, D.F.; BERGESEN, F.J. Measurement of N_2 fixation in maize (*Zea mays* L.)- ricebean (*Vigna umbellata*) intercrops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 108, n.1, p. 125 - 135, 1988.
- REEVES, B.F. Mycorrhizal responsiveness and ecology of VAM in arid and semiarid ecosystems. In: SYLVIA, D.M.; HUNG, L.L.; GRAHAM, J.H. **Mycorrhizae in the Next Decade**. Proceedings of the 7th North American Conference on Mycorrhizae. Gainesville: Institute of Food and Agricultural Sciences (ed.). 1987. p 136.
- RHODES, L.H., GERDEMAN J.W.. Translocation of calcium and phosphate by external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizae. **Soil Science**, Madison, v.126. n.2, p. 125 - 126, Aug., 1978.

- RHODES, L.H.; GERDEMAN J.W Nutrient translocation in vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: COOK, C.B.; PAPPAS, W.; RUDOLPH, E.D. (eds.) **Cellular interactions in symbiosis and parasitism**. Columbus: The Ohio State University Press, 1980. p. 173 -195.
- ROBERTS, J.L.; OLSON, F.R. Interrelationships of legumes and grasses grown in association **Agronomy Journal**, Madison, v.34, p. 695 - 701. 1942.
- ROBSON, A.D.; LONERAGAN, J.F. Response of pasture plants to soil chemical factors other than nitrogen and phosphorus, with particular emphasis on the legume symbiosis. In; WILSON, J.R.(ed.), **Plant Relations in Pastures**. Melbourne: CSIRO, 1978. p. 128 - 142.
- ROBSON, A.D.; OHARA, G.W.; ABBOTT, L.K. Involvement of phosphorus in nitrogen fixation by subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 8, p.427 - 436. 1981.
- ROBINSON, S.P.; PORTIS, A.R. Rubulose-1,5-biphosphate carboxylade/oxygenase activase protein prevents the *in vitro* decline in activity of ribulose-1,5-biphosphate carboxilase / oxygenase. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 90, n.3, p. 968 - 971, July,. 1989.
- ROSS, J.P. Effect of phosphate fertilization on yield of mycorrhizal and non-mycorrhizal soybean. **Phytopatology**, Palo Alto, v. 61, n.12, p.1400 - 1403, Dec., 1971.
- ROSS, J.P.; HARPER, J.A. Effect of Endogone mycorrhiza on soybean yields. **Phytopatology**, Palo Alto, v.60, n.11, p. 1552 - 1556, Nov., 1970.
- RUFTY, T.W.; C.T. MAKOWN; D.W.ISRAEL Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. **Plant Physiology** , Bethesda, v.94, n.1, p. 328 - 333, Sept., 1990.
- RUFTY, T.W.; D.W. ISRAEL; R.J. VOLK; J.QIU; T.M.SA. Phosphate regulation of nitrate assimilation in soybean. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, n.262, p. 879 - 891, May, 1993.
- SAGE, R.F.; PIERCE, R.W. The nitrogen use efficiency of C₃ and C₄ plants. I. Leaf nitrogen, growth and biomass partitioning in *Chenopodium album* (L) and *Amaranthus retroflexus* (L.) . **Plant Physiology**, Bethesda, v. 84,n.3, p. 954 - 958, July, 1987.
- SAGGIN-JUNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.221 - 228, Maio/Agosto, 1995.
- SAGGIN-JUNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O.; GUIMARÃES, P.T.G.; OLIVEIRA, E. Colonização do cafeeiro por diferentes fungos micorrízicos: Efeitos na formação das mudas e no crescimento em solo fumigado. **Revista Brasileira da Ciencia do Solo**, Campinas, v.19, n.2, 213 - 220, Maio/Agosto, 1995.

- SAKAKIBARA, H.; KAWABATA, S.; HASE T.; SUGIYAMA, T. Differential effects of nitrate and light on the expression of glutamine synthetase and ferredoxin-dependent glutamate synthase in maize. **Plant Cell Physiology**, Kyoto, v. 33, n.8, p.1193 - 1198, Dec., 1992.
- SANDERS, F.E. The effect of foliar-applied phosphate on the mycorrhizal infections of onion roots. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B. (eds.). **Endomycorrhizas**. London: Academic Press, 1975. p. 261 - 276.
- SANTA CECÍLIA, F.C., VIEIRA, C. Associated cropping of beans and maize. I, Effects of bean cultivars with different growth habits. **Turrialba**, Costa Rica, v. 28, n.1, p.19-23, enero / mar., 1978.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ - USP, 1974. 56 p.
- SATYANRAYANA, D.V.; REDDI, W.R. studies on intercropping in grains sorghum. **Indian Journal of Agronomy**, Hyderabad, v.24, n.2, p. 223-224, June, 1979.
- SCHIMMITT, M.R.; EDWARDS, G.E. Photosynthetic capacity and nitrogen use efficiency of maize, wheat and rice: A comparison between C₃ and C₄ photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 32, n.128, p. 459 - 466, Apr., 1981.
- SCHUBERT, A.; D.S.HAYMAN. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XVI Effectiveness of different endophyte at different levels of phosphorus. **New Phytologist**, Cambridge, v.103, n. 1, p. 79 - 90, May, 1986.
- SCHWAB, S.M.; MENGE, J.A.; LEONARD, R.T. Quantitative and qualitative effects of phosphorus on extracts and exudates of sudangrass roots in relation to vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. **Plant Physiology**, Bethesda, v.73, n.5, p. 761 - 765, 1983.
- SCHWAB, S.M.; MENGE, J.A.; TINKER, P.B.; Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**, Cambridge, v.117, n.3, p. 387 - 398, Mar., 1991.
- SCOTT, T.W.; PLEASANT J.; BURT, R.F.; OTIS, D.J. Contributions of groundcover, dry matter and nitrogen from intercrops and cover crops in a corn polyculture system. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, n.5, p. 792 - 798, Sept. / Oct., 1987.
- SEARLE, P.G.E.; COMUDOM, Y.; SHEDDON, D.C.; NANCE R.A. Effect of maize + legumes intercropping system and fertilizer nitrogen on crop yields and residual nitrogen. **Field Crops. Research**, Amsterdam, v. 4, p. 133 - 145, 1981.
- SECHLEY, K.A.; YAMAYA, T.; OAKS, A. Compartmentation of nitrogen assimilation in higher plants. **International Review of Cytology**, San Diego, v.134, p. 85 -163, 1992.
- SIMPSON, J.R.. Transfer of nitrogen from three pasture legumes under periodic defoliation in a field environment. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**. Melbourne, v.16, n.83, p. 863 - 870, Dec., 1976.

- SIMPSON, D.; DAFT, M.J. Spore production and mycorrhizal development in various tropical crop hosts infected with *Glomus clarum*. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 121, n.2, p.171 - 178, Feb., 1990.
- SINGH, S.P. Intercropping studies in sorghum. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON INTERCROPPING, Hyderabad, 1979. **Proceedings...** Hyderabad: ICRISAT, 1981, p. 22-24.
- SINGH, N.B.; SINGH, P.P.; NAIR P.P. Effect of legume intercropping on enrichment of soil nitrogen, bacterial activity and productivity of associated maize crops. **Experimental Agriculture**, v.22, n.4, outubro, p. 339 - 344, 1986.
- SIEVERDING, E., TORO, S. Influence of soil water regime on VA mycorrhizae. V. Performance of different VAM fungal species with cassava. **Journal of Agronomy Crop Science**, Madison, v.161, p. 322 - 332, 1988.
- SIQUEIRA, J.O.; Eficiência de fertilizantes fosfatados em associações micorrízicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5, São Paulo, 1990, , **Anais...** São Paulo: IBRAFOS, 1990, p. 165-193.
- SIQUEIRA, J.O. Micorrizas Arbusculares. In: ARAUJO, S.; HUNGRIA, M. (ed.). **Microorganismos de importância Agrícola**. Brasília : Embrapa, 1994. p. 151 - 194.
- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II. Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n.3, p. 207 - 211, Set./Dez., 1986.
- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A.; FARIA, F.H.S.; OLIVEIRA, E. Efetividade simbiótica de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares para o algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.3, p.213 - 218, Set./Dez., 1986.
- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI - FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular - arbuscular em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.24, p. 1499 - 1506. 1989.
- SIQUEIRA, J.O.; HUBELL, D.H.; VALLE, R.R. Effect of phosphorus on formation of the vesicular - arbuscular mycorrhizae symbiosis. **Transactions of British Mycological Society**, London, v.19, p.1465. 1984.
- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. **Microorganismos e Processos Biológicos do Solo**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142 p.
- SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. The importance of mycorrhizal associations in natural low-fertility soil. In: Machado, A.T., Magnavaca, R., Pandey, S.; Silva, A.F. (ed.). **Simpósio Internacional sobre Estresse Ambiental**, 1992, Belo Horizonte, MG. O milho em perspectiva. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA; CNPMS. 1995. p. 239 - 280.

- SMITH, F.A. A comparison of the uptake of nitrate, chloride and phosphate by excised beach mycorrhizas. **New Phytologist**, Cambridge, v. 71, n.4, p.: 875 - 882, 1972.
- SMITH, T.F. The effect of season and crop rotation on abundance of spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal endophytes. **Plant and Soil**, Netherlands, v.57, n.2 -3, p. 475 - 479, Dec., 1980.
- SMITH, S.E.; GIANNINAZZI-PEARSON,V. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, Palo Alto, v.39, p. 211-244, 1988.
- SMITH, S.E.; GIANINAZZI - PEARSON, V.; KOIDE, R.; CAIRNEY, J.W.G. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. In: ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K.; MALAJCZUK, N. (eds.). **Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry**. The Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 1994. p.103 - 113.
- SMITH, M.J.; SCHOOLER, J.N.; SCHWYN, B.; HOLDEN, I; NEILANDS, J.B. Rhizobactin, a structurally novel siderophore from *Rhizobium meliloti*. **Journal of American Chemical Society**, Madison, v. 107, p. 1739 - 1743, Jan., 1985.
- SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Structure and function of the interfaces in biotrophic symbiosis as they relate to nutrient transport. **New Phytologist**, Cambridge, v.114,n.1, p.1 - 38, Jan., 1990.
- SNYDER, F.W.; CARLSON,G.E. Selecting for partitioning of photosynthetic products in crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 37, p. 47 - 72. 1984.
- STASIEWICZ, S.; DUNHAN, V.L. Isolation and characterization of two forms of GS from soybean hypocotyls. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, New York, v: 87, n.3, p 627 - 634. 1979.
- ST. JOHN, T.V.; HAYS, R.I.; REID, C.P.P. Influence of a volatile compound on formation of vesicular-arbuscular mycorrhizas. **Transactions of British Mycological. Society**, London, v. 81, p. 153 - 154, 1983.
- STRIBLEY, D.P.; TINKER, P.B.; SNELGROVE, R.C. Effect of vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi on the relations of plant growth, internal phosphorus concentration and soil phosphate analysis. **Soil Science**, Madison, v.31, n.4, p.655 - 672. June, 1980.
- SUGYAMA, T.; Y.HIRAYAMA. Correlation of activities of phosphoenolpyruvate carboxylase and pyruvate, orthophosphate dikinase with biomass in maize seedlings. **Plant Cell Physiology**, Kyoto, v. 57, n.6, p. 783 - 787, June, 1983.
- SUGIYAMA, T.; MUZUNO,M.;HAYASHI, M. Partitioning of nitrogen among ribulose-1,5-biphosphate carboxylase / oxygenase, phosphoenolpyruvate carboxylase, and pyruvate orthophosphate dikinase as related to biomass productivity in maize seedlings. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 75, n.4, p. 665 - 669, Aug., 1984.

- SUGYHARTO, B.; MIYATA K.; NAKAMOTO, H.; SASAKAWA, H.; SUGYAMA, T. regulation of expression of carbon-assimilating enzymes by nitrogen in maize leaf. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 92, n.4, p. 963 - 969, Apr., 1990.
- SWANK, J.C.; BELOW, F.E.; LAMBERT, R.J.; HAGEMAN, R.H. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 70, n.6, p.1185 - 1190., Dec., 1982.
- SYLVIA, D.M. Activity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 20, p. 39 - 43, 1988.
- SYLVIA, D.M.; NEAL, L.H.; Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza. **New Phytologist**, Cambridge, v.115, n.2, p. 303 - 310, June, 1990.
- SYLVIA, D.M.; SCHENCK, N.C. Application of superphosphate to mycorrhizal plants stimulates sporulation of phosphorus - tolerant vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Oxford, v.96, n.1, p.655 - 661, Dec., 1983.
- TA, C.T. Nitrogen metabolism in the stalk tissue of maize. **Plant Physiology**, Bethesda, v.97, n.2, outubro, p.1375 - 1380, Oct., 1991.
- TA, C.T.; FARIS, M.A. Species variations in N fixation and transfer from legumes to associated grasses. **Plant and Soil**, Netherlands, v.98, n.2, p.265 - 274, Mar., 1987.
- TA, C.T.; MACDOWALL, F.D.; FARIS, M.A. Excretion of nitrogen assimilated from N₂ by nodulated roots of alfafa (*Medicago sativa*). **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 6, v. 12, p. 2063 - 2067, Dec., 1986.
- TANAKA, A.; FUJITA, K. Growth, photosynthesis and yield components in relation to grain yield of the field bean. **Journal of Faculty of Agriculture**, Hokkaido, v.59, p.:145 - 238, 1979.
- TANEJA, K.D.; GILL, P.S.; KUMAR, S. forage production of sorghum in association with different ratios of legumes. **FORAGE RESEARCH**, v.6, n.2, p. 227-228, 1980, In: HERBAGE ABSTRACTS, farnham Royal, v.53, n.12, p. 604, Dec., 1983. (abst. 5461).
- THOMAS, R.S.; DAKESSIAN, S.; AMES R.N.; BROWN, M.S.; BETHLENFALVAY, G.J. Aggregation of a silty clay loam soil by mycorrhizal onion roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n.6, p. 1494 - 1499, Nov./Dec., 1986.
- THOMPSON, J.P. What is the potencial for management of mycorrhizas in agriculture. In: ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K.; MALAJCZUK, N. (eds.). **Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forest**. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994. p.120 - 132.

- THOMPSON, B.D.; A.D.ROBSON; L.K. ABOTT. Effects of phosphorus on the formation of mycorrhizas by *Gigaspora calospora* and *Glomus fasciculatum* in relation to root carbohydrates. **New Phytologist**, Cambridge, v.103, n.4, p. 751 - 765, Aug., 1986.
- TING I.P.; OSMOND C.B. Activation of plant P-enolpyruvate carboxylases by glucose-6-phosphate: a particular role in Crassulacean acid metabolism. **Plant Science Letters, Limerich**, v.1, p. 123 - 128. 1973.
- TOLLENNAR, M.; DAYNARD T.B. 1982 Effect of source sink ratio on dry matter accumulation and leaf senescence of maize. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 62, p. 855 - 860. 1982.
- TOMM, G.O.; KESSEL, C. VAN.; SLINKARD, A.E. Bi - directional transfer of nitrogen between alfalfa and bromegrass: Short and long term evidence. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.164, n.1, p.77 - 86. 1994.
- TOMMERUP, I.C.; ABBOTT, L.K.; Prolonged survival and viability of VA mycorrhizal hyphae after root death. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v 13, p 431 - 433, 1981.
- TRANG,K.M.; GIDDENS, J. Shading and temperature as environmental factors affecting growth, nodulation and symbiotic N₂ fixation by soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72,n.2, p. 305 - 308, Mar./Apr., 1980.
- TRAPPE, J.M.; Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary stand point. In: SAFIR. G.R. (ed.). **Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants**. Boca Raton: CRC Press, 1987. p. 5 - 25.
- TRENBATH, B.P. Plant interaction in mixed communities. In: PAPENDICK, A.D. (ed.). **Multiple Cropping**. Proceedings of a Symposium. Madison: American Society of Agriculture, 1976. p. 76 -102.
- TSAY J. Physiological studies of cassava-soybean intercropping. Brisbane, Univ. of Queensland, 1985. p.186.Tese Doutorado em Agricultura.
- UEDAN, K.; SUGYAMA, T. Purification and characterization of phosphoenolpyruvate carboxylase from maize leaves. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 57, n.6, p.906 - 910, Nov., 1976.
- URSINO, D.J.; HUNTER, D.M.; LAING, R.D.; KEIGHLEY, J.L.S. Nitrate modification of photosynthesis and photoassimilate export in young nodulated soybean plants. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.60, n.12, p. 2665 - 2670, Dec., 1982.
- VAAST, PH.; ZASOSKI, R.J. Effects of VA-mycorrhizas and nitrogen sources on rhizosphere soil characteristics, growth and nutrient acquisition of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v.147, n.2, p. 31 - 39, Dec., 1992.
- VALLIS, I. Soil nitrogen changes under continuously grazed legume-grass pasture in sub-tropical coastal Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v.12, n.58, p.495 - 501, Oct., 1972.

- VALLIS, I.; HAYDOCK, K.P.; ROSS, P.J.; HENZELL, E.F. Isotopic studies on the uptake of nitrogen by pastures legumes. III. the uptake of small additions of ^{15}N -labelled fertilizer by Rhodes grass and Townsville lecerne. **Australian Journal of Agriculture Research**, Melbourne, v.18, n.5, p. 865-877, Sept., 1967.
- VAN KESSEL, C.; P.W.SINGLETON; H.L.HOBEN. Enhanced N-transfer from soybean to maize by vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 79, n.5, p. 565 - 563, 1985.
- VAN KESSEL C.; ROSKOSKI, J.P. Row spacing effects on N_2 fixation, N-yield and soil N uptake of intercropped cowpea and maize. **Plant and Soil**, Netherlands, v.111, n.1, p.17 -23, 1988.
- VAN NUFFELEN, M. ; SCHENCK, N.C. Spore germination, penetration, and root colonization of six species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on soybean. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.62, n.4, p. 624 - 628, Apr., 1984.
- VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R.; SUHET, A.T. Estirpes de *Rhizobium japonicum* presentes em nódulos de soja cultivada em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA , 2, Brasília, 1981. **Anais...** Londrina, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1981. p.181.
- VEJSADOVA, H.; SIBLIKOVA, D.; HRSELOVA, H.;VANCURA, V. Effect of the VAM fungus *Glomus* sp. on the growth and yield of soybean inoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. **Plant and Soil**, Netherlands, v.140, n.1, p. 121 - 125, Feb., 1992
- VÉZIMA, L.P.; LANGLOIS, J.R. Tissue and cellular distribution of glutamine synthetase in roots of pea (*Pisum sativum*) seedlings. **Plant Physiology**, Bethesda, v.90, n.12, p.1129 - 1133, June, 1989.
- VIRTANEN, A.I.; VAN HAUSON, S.; LAINE, T. Investigations on the root nodule bacteria of leguminous plants. XX. Excretion of nitrogen in associated culture of legumes and non legumes. **Journal of Agriculture Science**, Madison, v. 27, n.4, p. 584 - 610, Oct., 1937.
- VOSE, P.B.; VICTORIA, R.L. Re-examination of the limitation of nitrogen- 15 isotope dilution techniques for the field measurement of dinitrogen fixation. In: WEAVER, R.W.; Ed. **Field Measurement of Dinitrogen Fixation and Dinitrification**. Madison: SSSA. 1986. p 23 - 42.
- ZELITCH, J. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. **BioScience**, Washington, v. 32, p. 796 - 803. 1982.
- WACQUANT, J.P.; OUKNIDER,M.; JACQUARD, P. Evidence of periodic excretion by roots of grass-legume associations. **Plant and Soil**, Netherlands, v.116, n.1, p. 57 - 68, 1989.
- WAHUA, T.A.T.; MILLER, D.A. Effect of intercropping on soybean N fixation and plant composition on associated sorghum and soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.2, p.292 295, Mar./Apr., 1978.

- WAIDYANATHA, U.P. S.; N. YOGARATHNAM; W.A. ARYARATINE. Mycorrhizal infection on growth and nitrogen fixation of *Pueraria* and *Stylosanthes* and uptake of phosphorus from two rock phosphates. **New Phytologist**, Cambridge, v. 82, n.2, p. 147 - 152, 1979.
- WARNER, A. Colonization of organic matter by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Transactions of British Micological Society**, London, v.82, p. 352 - 354, 1984.
- WEBSTER, G. Enzymes of peptide and protein metabolism. In: LISKENS, H.F.; SNAVAL, B.D.; TRACEY, H.W. (eds.). **Modern methods of plant analysis**. New York: CRC Press. 1964. p.38 - 46.
- WEIS, E.; BERRY, J. Quantum efficiency of photosystem II in relation to energy-dependent quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochemical and Biophysical Acta**, v. 894:p. 198 - 208, 1987.
- WHITE, J.A., BROWN, M.F., Ultrastructural and X-ray analysis of phosphorus granules in a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.57, n.24, p. 2812 - 2818, Dec., 1979.
- WHITTINGHAM, J.; READ, D.J. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems. III. Nutrient transfer between plants with mycorrhizal interconnections. **New Phytologist**, Cambridge, v.90, n.2, p. 277 - 284, 1982
- WILLEY, R.W.; OSIRU, D.S.O. Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 79, n.3, p.517 - 529, Dec., 1972.
- WILLEY, R.W. Intercropping- its importance and research needs. Part I: Competition and yield advantages. **Field Crops Abstract**, Farnham Royal, v. 32, n.1, p.1- 10, Jan., 1979.
- WILSON, P.W.; WYSS, O. Mixed cropping and the excretion of nitrogen of leguminous plants. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 2, n.2, p. 289 - 297. 1937.
- WOODS, F.W.; BROCK, K. Interspecific transfer of ^{45}CA and ^{32}P by root systems. **Ecology**, Durham, v.45, p. 886 - 899, 1964.
- YING, J.; HERRIDGE, D.F.; PEOPLES, M.B.; RERKASEM, B. Effects of N fertilization on N_2 fixation and N balances of soybean grown after lowland rice. **Plant and Soil**, Netherlands, v.147, n.2, dezembro, p. 235 - 242, Dec., 1992.
- YLSTRA, B.; TOURAEV, A.; BENITO MORENO, R.M.; STROGER E.; VAN TUNEN, A.J.; VICENTE O.; MOL, J.N.M., HEBERLE-BORS, E. Flavonols stimulate development, germination and tube growth of tobacco pollen. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 100, n.3, p.902 - 907, 1992.
- YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 23, p. 437 - 464, 1972.

YUNUSA, I.A.M. Effects of planting density and plant arrangement pattern on growth and yields of maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.) grown in mixtures. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 112, n.1, p. 1 - 8, Feb., 1989.

9. APÊNDICE

Tabela 1a. Resumo das análises de variâncias (Quadrado médio, nível de significância e coeficiente de variação) da matéria seca da parte aérea e do peso dos grãos secos do sorgo e da soja, peso dos nódulos secos na soja e teores de nutrientes no sorgo e na soja, em função das doses de fósforo e inoculação com fungos micorrízicos.

Fonte de	Variação	QM										
		Matéria seca da parte aérea	Peso dos grãos secos	Peso dos nódulos secos	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn
Fósforo (P)	4	8845,15*	4287,13*	---	1.412*	0.018*	0.999*	0.433*	0.051*	1099,74*	563,05*	12622,60*
	3	1827,03*	831,18*	---	3.354*	0.023*	0.857*	0.279*	0.041*	1946,89*	842,17*	5730,41*
	12	38,91*	82,10*	---	0.076*	0.001*	0.223*	0.050*	0.005*	59,210*	17,36*	298,06*
	40	1,55	2,56	---	0.003	0.000	0.001	0.018	0.000	52,180	0,26	0,224
	CV (%)	8,92	9,50	---	2,71	2,73	3,21	25,60	11,53	19,50	2,73	1,59
Fósforo (P)	4	2082,38*	1074,52*	0.910*	5,166*	0.021*	1,177*	0.310*	0.029*	670,74*	441,55*	6818,55*
	3	341,37*	206,72*	0.068*	4,273*	0.014*	0.660*	0.456*	0.041*	2636,58*	784,37*	6204,15*
	12	30,99 *	13,02*	0.006*	0,076*	0.000*	0,017*	0.027*	0.001*	60,404*	23,94*	168,05*
	40	1,11	0.38	0.001	0,002	0.000	0,000	0.000	0.000	0.533	0.023	32,77
	CV (%)	9.96	6,75	8,87	1,73	4,94	2,28	5,95	11,49	2,42	10,01	10,10
* Significativo pelo teste F a nível de 5% de probabilidade.												
Soja												