NATALINO DE JESUS CABRAL CORRÊA

# COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz) EM PRESENÇA DO FUNGO MICORRÍZICO *Glomus clarum* Nicolson & Schenck E DOSAGENS DE FÓSFORO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do grau de "MESTRE"

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1989

[redacted]

NATALINO DE JESUS CABRAL CORRÊA

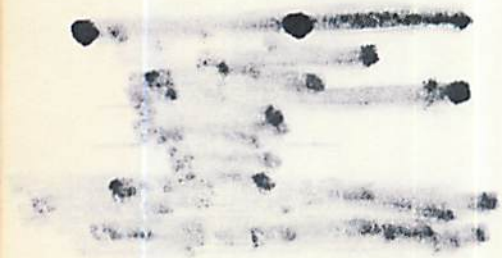
# COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz) EM PRESENÇA DO FUNGO MICORRÍZICO *Glomus clarum* Nicolson & Schenck E DOSAGENS DE FÓSFORO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do grau de "MESTRE"

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1989



COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)
EM PRESENÇA DO FUNGO MICORRÍZICO *Glomus clarum* Nicolson
& Schenck E DOSAGENS DE FÓSFORO

APROVADA: 14 de novembro de 1989

Prof. Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto
Orientador

Prof. Dr. Romildo da Silva

Elizabeth de Oliveira

Aos meus pais,

Moacyr e Felicidade

À minha sogra,

Diva

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos

OFEREÇO

À minha esposa,

Graça

Aos meus filhos,

Milena e Marcelo

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC e à Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, pela oportunidade e apoio proporcionado à realização do curso.

Ao professor César Augusto Brasil Pereira Pinto pelos ensinamentos, orientação segura, críticas e sugestões durante a realização deste trabalho.

Aos professores José Eduardo Brasil Pereira Pinto e Moacir Pasqual pelos ensinamentos, sugestões, amizade e companheirismo.

À pesquisadora Elizabeth de Oliveira pelos ensinamentos, críticas e sugestões na área de micorrizas.

Aos professores Magno Antônio Patto Ramalho e João Bosco dos Santos pelos ensinamentos e incentivos.

Ao professor Ruben Delly Veiga e ao José Francisco Faria pela orientação nas análises estatísticas.

Aos alunos de graduação Osmar Yukio Kian e Fernando Castro de Oliveira pelo apoio e amizade.

À todos os professores e funcionários do Departamento de Biologia, Agricultura, Laboratório de Microbiologia do Solo, Pomar em particular aos Srs.

Ival, Masinho, José e Milton, à professora Janice Guedes de Carvalho e funcionários da Biblioteca, pela colaboração na realização deste trabalho.

Aos laboratoristas da Cultura de Tecidos, Evaldo de Souza Arantes e Vantuil Antônio Rodrigues e demais funcionários, pelo apoio.

Aos colegas de curso, Ângela, Aparecida, Márcio, Patrícia, Ronaldo e Samuel, pelo incentivo e amizade.

Ao colega Darlan pelo companheirismo, amizade, incentivo e a convivência que proporcionou oportunidades de troca de conhecimentos.

À minha querida esposa Graça e aos meus filhos Milena e Marcelo, pela compreensão e apoio durante a realização do curso.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

# BIOGRAFIA DO AUTOR

NATALINO DE JESUS CABRAL CORRÊA, filho de Moacyr Melo Corrêa e Felicidade Cabral Corrêa, nasceu em Belém-Pará, no dia 25 de dezembro de 1947.

Graduou-se em Engenharia Agronômica, pela Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, em dezembro de 1973.

Em janeiro de 1974, foi admitido pela Secretaria de Agricultura do Estado do Pará, onde permaneceu até dezembro de 1977.

Em fevereiro de 1977, foi admitido pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC, em Belém-PA, para exercer funções relacionadas à extensão rural. Em março de 1985 passou a exercer as funções de pesquisador auxiliar na Estação de Recursos Genéticos do Cacau.

Em março de 1987, iniciou o curso de pós-graduação a nível de Mestrado em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramento de Plantas, na Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, Estado de Minas Gerais.

SUMÁRIO

Página

1. INTRODUÇÃO ..... 1

2. REVISÃO DE LITERATURA ..... 3

2.1. Cultura 'in vitro' de meristema ..... 3

2.2. Micorrizas vesiculo-arbusculares ..... 5

2.3. Efeitos da fertilização fosfatada e de FMVA no crescimento da mandioca ..... 9

3. MATERIAL E MÉTODOS ..... 13

3.1. Caracterização do local de condução do experimento ..... 13

3.2. Obtenção das plântulas 'in vitro' ..... 13

3.2.1. Meios de cultura e condições ambientais ..... 15

3.3. Substrato ..... 17

3.4. Obtenção do inóculo e inoculação ..... 18

3.5. Aclimatação das plântulas ..... 18

3.6. Condução do experimento ..... 19

3.7. Tratamentos e delineamento experimental ..... 19

3.8. Características avaliadas ..... 20

3.9. Análise estatística ..... 21

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 23

4.1. Estabelecimento da simbiose ..... 23

4.1.1. Colonização ..... 23

Página

4.1.2. Esporulação ..... 26

4.2. Características de crescimento: peso da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta ..... 27

4.3. Teores de fósforo na parte aérea ..... 41

5. CONCLUSÕES ..... 43

6. RESUMO ..... 44

7. SUMMARY ..... 46

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 48

# LISTA DE QUADROS


| Quadro | | Página |
|---|---|---|
| 1 | Composição do meio de cultura de Murashige & Skoog (MS) modificado com vitaminas, carboidrato, ágar e aminoácido .... | 16 |
| 2 | Resultados da análise química do substrato, realizada no início do experimento para testar a inoculação do FMVA *Glomus clarum* em quatro cultivares de mandioca. ESAL, Lavras-MG, 1989 ..... | 17 |
| 3 | Resumo das análises de variância para colonização micorrízica das raízes e esporulação em 4 cultivares de mandioca adubadas com diferentes doses de $P_2O_5$ na presença do FMVA *Glomus clarum*, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG, 1989 . | 24 |
| 4 | Médias da percentagem de colonização micorrízica nas raízes de quatro cultivares de mandioca, inoculadas com *Glomus clarum* e cultivadas em substrato com aplicação de diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989 ..... | 25 |
| 5 | Médias de densidades de esporos (número de esporos por 50 ml de substrato), para quatro cultivares de mandioca, inoculadas com *Glomus clarum* e cultivadas em substrato com aplicação de diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989 .. | 26 |

| Quadro | | Página |
|---|---|---|
| 6 | Resumo das análises de variância para as características de crescimento de 4 cultivares de mandioca, adubadas com diferentes doses de $P_2O_5$, na presença ou ausência de FMVA Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG, 1989 ..... | 29 |
| 7 | Valores médios para peso (g) da matéria seca das raízes de plântulas de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não com o fungo micorrízico G. clarum, submetidas a diferentes doses de $P_2O_5$, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG, 1989 ..... | 34 |
| 8 | Valores médios para peso (g) da matéria seca da parte aérea de plântulas de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não com o fungo micorrízico G. clarum, submetidas a diferentes doses de $P_2O_5$, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG,1989. | 35 |
| 9 | Valores médios para peso (g) da matéria seca total de plântulas de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não com o fungo micorrízico Glomus clarum, submetidas a diferentes doses de $P_2O_5$, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG, 1989 ..... | 36 |
| 10 | Dependência micorrízica (%) de 4 cultivares de mandioca para peso da matéria seca das raízes, em diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989 ..... | 39 |
| 11 | Dependência micorrízica (%) de 4 cultivares de mandioca para peso da matéria seca da parte aérea, em diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989 ..... | 40 |
| 12 | Dependência micorrízica (%) de 4 cultivares de mandioca para peso da matéria seca total da planta, em diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989 ..... | 40 |

# LISTA DE FIGURAS


| Figura | | Página |
|---|---|---|
| 1 | Efeito de doses de $P_2O_5$ sobre o peso da matéria seca das raízes de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não, com o fungo micorrízico Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989 ..... | 30 |
| 2 | Efeito de doses de $P_2O_5$ sobre o peso da matéria seca da parte aérea de 4 cultivares de mandioca, inoculada ou não, com o fungo micorrízico Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989 ..... | 31 |
| 3 | Efeito de doses de $P_2O_5$ sobre o peso da matéria seca total da planta de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não, com o fungo micorrízico Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989 ..... | 32 |
| 4 | Efeito de doses de $P_2O_5$ sobre os teores de fósforo na parte aérea de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não, com o fungo micorrízico Glomus clarum em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989 ..... | 42 |

## 1. INTRODUÇÃO

A mandioca (Manihot esculenta Crantz) é uma das principais fontes de alimento para milhões de pessoas em todo o mundo sendo cultivada em vários países. Devido aos plantios serem realizados, via de regra, em áreas marginais, muitas vezes impróprias para outras culturas e à baixa tecnologia empregada, esta euforbiácea vem apresentando decréscimos na produtividade, MATTOS et alii (48). Além disso, em razão de ser propagada assexuadamente, tem sido observada degenerescência das cultivares em virtude da ocorrência de viroses.

A cultura de meristemas por exemplo, tem se mostrado bastante eficiente na limpeza de doenças causadas por patógenos sistêmicos, principalmente viroses, CIAT (10). Isto permite não só o aumento da produtividade como também a avaliação do potencial produtivo dos genótipos em um programa de melhoramento ou à sua preservação 'in vitro'.

A nutrição fosfatada adequada é importante para o desenvolvimento e produção satisfatória da mandioca. Embora essa planta, aparentemente seja menos exigente em fósforo, devido às pequenas quantidades extraídas, são necessárias altas concentrações desse elemento na solução do solo para obtenção de produtividades elevadas, CIAT (18) e HOWELER (36).

A grande exigência em adubação fosfatada se deve, em parte, ao fato de que a mandioca apresenta um sistema radicular com poucos pêlos absor-

ventes, o que dificulta a extração de nutrientes do solo, principalmente fósforo. Por outro lado, esta planta apresenta grande capacidade em formar associações mutualísticas com fungos micorrízicos vesiculo-arbusculares. Isto poderia explicar seu desenvolvimento satisfatório mesmo em solos com baixa disponibilidade de fósforo, uma vez que estes fungos permitem maior absorção deste nutriente pela planta.

Considerando o estágio atual do melhoramento genético da mandioca no Brasil, onde se verifica uma grande variação no ecossistema, é imprescindível fazer avaliações dos genótipos nos diversos ambientes, a fim de avaliar a sua capacidade de adaptação.

Este estudo teve por objetivo verificar os efeitos do fungo micorrízico vesiculo-arbuscular Glomus clarum e de diferentes doses de superfosfato triplo sobre o crescimento inicial de quatro cultivares de mandioca, utilizando-se plântulas obtidas de cultura de meristemas 'in vitro'.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Cultura 'in vitro' de meristema

A mandioca é preferencialmente propagada por meios vegetativos facilitando a disseminação de doenças. As enfermidades causadas por vírus, a exemplo do vírus do mosaico da mandioca, estão entre os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade das culturas, devido à difíciel detecção, diferentes meios de transmissão e inexistência de métodos químicos efetivos de controle, CIAT (9 e 16) e KARTHA et alii (43).

A cultura de tecidos, especialmente de meristemas, se constitui em um valioso instrumento de trabalho na obtenção de plantas livres de vírus . Esta técnica se presta também à preservação e intercâmbio de germoplasma isento de doenças e ao melhor entendimento dos princípios básicos relacionados com a fisiologia, bioquímica e desenvolvimento das plantas, CIAT (10), ROCA (63) e VAZ (76).

A limpeza de viroses por cultura de meristemas se fundamenta no fato de que a distribuição de vírus nos tecidos da planta não é uniforme e sua concentração tende a diminuir da base para o ápice, onde chega a ser pratica - mente nula. Quanto menor for o meristema utilizado, ou seja, quanto menos primórdios foliares o acompanharem, maior é a segurança de que as plantas regeneradas serão isentas de viroses, porém, menor é a possibilidade de propagação

das mesmas (9, 10, 54 e 76).

O cultivo de meristemas associado à termoterapia pode proporcionar um meio ainda mais eficiente para erradicar enfermidades do tipo viral, CIAT (12 e 13). Para isso as plantas devem ser pré-tratadas com temperaturas altas, terem seus meristemas retirados seguido da cultura propriamente dita, PASQUAL (57). A limpeza da virose "Cuero de sapo" em mandioca foi obtida pela cultura de ápices meristemáticos de 0,5 a 0,6 mm, provenientes de brotações de estacas em temperatura de 40°C e 35°C, dia e noite, respectivamente, durante 3 a 4 semanas, CIAT (11). As plantas assim obtidas se mantiveram isentas de viroses por vários ciclos de propagação vegetativa no campo, demonstrando a eficiência da técnica.

Plantas isentas de vírus do mosaico, de duas cultivares de mandioca foram também obtidas através da cultura de meristema apical, KARTHA (42). Quando se utilizou meristemas com 0,4 mm de comprimento, obteve-se 60% de plantas sem sintomas, enquanto que meristemas de 0,8 mm, retirados de plantas cultivadas a 35°C por 30 dias, produziram 100% de plântulas assintomáticas.

As plântulas obtidas 'in vitro' necessitam de cuidados especiais quando de sua transferência para o solo. As perdas registradas por ocasião do transplante, são devidas à inexistência de um sistema adequado para absorção e armazenamento de água e também porque as raízes formadas em ágar apresentam dificuldades iniciais para crescer no solo. Por estas razões novas raízes tem que se desenvolver e enquanto isso não ocorre, deve-se manter a umidade relativa do ar elevada para evitar a perda d'água pela planta, CIAT (10), CAILLOUX (5). Mediante o exposto, pode-se levantar a hipótese de que a inoculação de fungos micorrízicos na mandioca venha a favorecer o estabelecimento das plantas, uma vez que o desenvolvimento das hifas ajudará as novas raízes absorver água e nutrientes.

## 2.2. Micorrizas vesiculo-arbusculares

As associações simbióticas mutualísticas entre raízes vivas e determinados fungos do solo são denominadas micorrizas, SIQUEIRA & FRANCO (69) e ZAMBOLIM & SIQUEIRA (78). A importância destas simbioses na agricultura deve-se ao fato de que constituem um dos componentes fundamentais para o desenvolvimento vegetal, CARVALHO (6). Embora as micorrizas do tipo vesículo-arbusculares (MVA) sejam conhecidas desde o século passado, somente depois da década de 1960, acumularam-se evidências de que esses fungos em associação com as plantas, aumentam a absorção de nutrientes pelas mesmas, principalmente em solos de baixa fertilidade, LOPES et alii (46).

Basicamente as MVA são formadas por três componentes: as raízes do hospedeiro, as hifas do fungo no interior das raízes e as hifas externas que se extendem através da rizosfera. Modificações das hifas no córtex das raízes originam os arbúsculos que se constituem por finas ramificações das hifas no interior das células hospedeiras, onde ocorrem transferências de nutrientes e metabólitos entre os dois organismos, e as vesículas que são estruturas de armazenamento dos fungos. Em geral, externamente às raízes, as hifas fúngicas produzem esporos que se destinam à dispersão dos fungos, LOPES et alii (46).

A maneira como ocorre a associação simbiótica mutualística entre fungo e hospedeiro é objeto de muitas pesquisas para explicar a complexidade do fenômeno. A transferência de fotoassimilados da planta para o fungo e de nutrientes minerais, especialmente fósforo para a planta, representam as bases do funcionamento e dos efeitos desta simbiose, MILLER et alii (49), SIQUEIRA & FRANCO (69) e SIQUEIRA et alii (70). A transferência de fósforo do solo para as células corticais do hospedeiro ocorre pela absorção deste nutriente na solução do solo através de processo ativo realizado pelas hifas externas às raízes. O fósforo é então transformado em grânulos de polifosfato, os quais são translocados pela corrente citoplasmática até os arbúsculos, onde fosfata

ses específicas produzem novamente fosfato orgânico que é transferido para a planta hospedeira, ZAMBOLIM & SIQUEIRA (78).

Alguns pesquisadores relatam que a maioria do fósforo no solo é pouco disponível para as raízes das plantas porque ocorre em formas mineral insolúvel, orgânica, ou é fortemente adsorvido na fração de argila, HAYMAN & MOSSE (35).

A presença de fungos micorrízicos vesiculo-arbusculares no sistema radicular das plantas aumenta a absorção de nutrientes do solo pelas mesmas, principalmente daqueles que apresentam baixa mobilidade no solo como o fósforo (28, 40, 46, 52, 53, 64, 69 e 78). A melhor utilização de fósforo pelas plantas micorrizadas se deve à maior exploração do solo pelas hifas extrarradiculares do fungo e às modificações fisiológicas provocadas na planta e que podem alterar as características de absorção, translocação e utilização deste elemento (1, 17, 30, 35, 49 e 78).

Acredita-se que o melhor crescimento das plantas inoculadas com FMVA é devido a um aumento da assimilação de fósforo, pois a concentração desse elemento nas plantas micorrizadas geralmente é mais alta que naquelas não micorrizadas. Além disso, a inoculação com fungos micorrízicos ou adição de fósforo ao substrato, tem apresentado efeitos similares no crescimento das plantas, MOSSE (52). A comparação de plantas de soja e sorgo inoculadas com FMVA com aquelas que receberam apenas solução nutritiva contendo fósforo, e desenvolvidas em solo com baixa disponibilidade desse macronutriente, revelou que o desenvolvimento dos hospedeiros inoculados equivaleu àquelas que receberam entre 0,12 e 0,22 mM de fósforo, PACOVSKY (56).

O principal benefício das micorrizas provavelmente depende da melhor utilização dos fertilizantes fosfatados aplicados, particularmente em solos sujeitos à rápida fixação ou quando fertilizantes de moderada a baixa disponibilidade são usados, MOSSE (52).

Em estudos desenvolvidos em alguns tipos de solos, plantas micorrizadas cresceram mais em todas as doses de fosfato aplicadas, porém em outros, quando houve aumento das doses de fosfato as plantas micorrizadas cresceram em desvantagem, MOSSE (51). Estes efeitos podem ser explicados pelo fato de que altos níveis de fósforo no solo são inibitórios à colonização micorrízica nas raízes, sendo estes níveis inibitórios variáveis com as espécies de fungo e de planta envolvidas na simbiose (46, 49, 51, 70 e 75).

Em ensaios conduzidos em casa-de-vegetação utilizando mudas de cafeeiro inoculadas com FMVA Gigaspora margarita, verificou-se maiores taxas de colonização micorrízica quando menores quantidades de fósforo foram aplicadas ao solo. Por outro lado, em níveis mais elevados desse elemento ocorreu redução na colonização. Tendência semelhante foi verificada para as características de crescimento e absorção de fósforo, SIQUEIRA & COLOZZI (68). Por outro lado, a fertilização fosfatada, sob determinadas condições, pode favorecer a esporulação dos FMVA. Várias espécies de fungos MVA inoculadas em gramíneas em solos com moderados e altos teores de fósforo, tiveram a esporulação aumentada quando as plantas foram fertilizadas com fosfato, SYLVIA & SCHENCK (75).

A dependência micorrízica do hospedeiro para absorção de nutrientes e crescimento é determinada pela interação entre os componentes do sistema micorrízico fungo-planta-solo (31, 36, 50, 52, 53 e 78). A dependência relativa é a razão da diferença entre a matéria seca da planta micorrizada e não micorrizada pela matéria seca da planta micorrizada, expressa em percentagem, para uma dada condição de fertilidade do solo, PLENCHETTE et alii (62).

Várias cultivares de trigo submetidas à inoculação com o fungo micorrízico vesiculo-arbuscular Glomus mosseae, em substrato fumigado, apresentaram comportamento diferenciado quanto à infecção e dependência micorrízica, AZCON & OCAMPO (2).

Em estudos envolvendo 7 espécies de FMVA inoculadas em cebola e gramíneas, a resposta em desenvolvimento das plantas foi dependente das espécies de fungos utilizados. Houve um aumento de crescimento variando de 12 a

15 vezes e de 2 a 10 vezes para cebola e gramíneas, respectivamente, em relação às testemunhas não micorrizadas, MOSSE (50).

Plantas de cebola foram cultivadas em substrato pobres em fósforo, com aplicação de cinco dosagens de adubo fosfatado e inoculadas com espécies de FMVA. A resposta em crescimento foi maior em condições de menores disponibilidades de fósforo no substrato, quando inoculadas com Glomus mosseae ou com Glomus epigaeum. Nas doses intermediárias de adubo fosfatado, Glomus macrocarpum e Gigaspora margarita foram mais efetivas. Glomus caledonium e Glomus sp. foram geralmente eficazes em condições de baixo, médio e alto teores de fósforo e Glomus clarum foi ineficaz em fósforo baixo, SCHUBERT & HAYMAN (66).

A inoculação de plântulas de cafeeiro com fungos micorrízicos vesiculo-arbusculares contribuiu para aumentar significativamente a produção da matéria seca e o teor de fósforo na parte aérea. A espécie Gigaspora margarita foi mais eficiente que Glomus mosseae e Glomus fasciculatum em promover o desenvolvimento das mudas, enquanto que, Gigaspora heterogama, infectou as raízes e não contribuiu para aumentar a produção de matéria seca, LOPES et alii (45).

O efeito das micorrizas na absorção de fósforo pela soja cultivada em Latossolo Vermelho-Escuro teve como resultado aumento na absorção e utilização do fósforo em proporção maior nas plantas inoculadas com G. macrocarpum, enquanto outras espécies de fungos nativos proporcionaram uma performance regular, ou seja, sua equiparação ao efeito de G. macrocarpum deu-se com aplicação de doses elevadas de fósforo, demonstrando sua baixa efetividade e as plantas não inoculadas tiveram rendimentos mais baixos, a não ser com doses elevadas de fósforo, SIQUEIRA & PAULA (71).

O comportamento diferencial de genótipos e cultivares às diferentes condições de ambiente em que são cultivados é amplamente conhecido. Os genótipos de um modo geral respondem com maior ou menor intensidade aos diferentes ambientes, PATERNIANI (58).

## 2.3. Efeitos da fertilização fosfatada e de FMVA no crescimento da mandioca

A mandioca é considerada uma espécie rústica, pouco exigente em adubação e de fácil adaptação em diversos tipos de solos, razão pela qual tem sido cultivada em áreas impróprias às culturas mais nobres e com baixo uso de insumos modernos, HOWELER (37), PERIM et alii (60). No entanto, tem sido observado que esta cultura responde bem a doses crescentes de fertilizantes, principalmente fósforo, exibindo nessas condições altos rendimentos, CIAT (14), GOMES & HOWELER (34) e HOWELER (38).

As pesquisas têm demonstrado ser o fósforo um dos principais elementos responsáveis pelo incremento de produção de raízes de mandioca, apesar de ser consumido pela planta em pequenas quantidades. Por exemplo, a aplicação de apenas 60 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ foi suficiente para aumentar a produção de raízes em 420% em relação à testemunha não adubada, EMBRAPA (24). Em ensaios com doses crescentes de fósforo, aplicadas no sulco de plantio, houve aumento significativo na produção relativa de raízes, amido, parte aérea e aumentos nos teores de fósforo nas folhas inferiores da mandioca, PERIM et alii (60). Por outro lado, em ensaios de comparação de fontes de fósforo e sistemas de aplicação realizados em Latossolo Roxo Distrófico houve resposta apenas para a produção de parte aérea, apesar dos baixos teores de fósforo disponíveis no solo, CORRÊA et alii (22).

A tolerância a baixos níveis de fósforo disponível foi determinada em experimento com cem cultivares de mandioca, em parcelas, com 0 e 150 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, aplicados no plantio. Os rendimentos sem adubação alcançaram apenas 29% daqueles obtidos com aplicação de fósforo. A cultivar Mcol 1604 provou ser a mais tolerante e a Llanera mostrou um baixo nível de tolerância, GOMES & HOWELER (34).

Por meio da seleção de um grande número de cultivares de mandioca por sua tolerância às condições adversas do solo, tais como, acidez ou pou-

ca disponibilidade de fósforo, é possível obter material genético que esteja excepcionalmente adaptado para desenvolver-se em solos pobres com um mínimo de fertilização, HOWELER (37).

Para alguns autores, CIAT (21), EMBRAPA (26) e EZETA & CARVALHO (29) a mandioca é uma espécie pouco eficiente quanto a absorção de nutrientes, por possuir um sistema radicular engrossado com poucos pêlos absorventes, e consequentemente, baixa capacidade de explorar o solo. Desse modo, considerando que os solos tropicais normalmente são ácidos e de baixa fertilidade, pode-se concluir que as raízes desta planta estão virtualmente incapacitadas de absorver esses nutrientes. Portanto, as associações simbióticas com FMVA podem melhorar a condição da planta em absorver nutrientes de baixa difusibilidade, tais como fósforo e zinco, EMBRAPA (25 e 28). Este fato tem sido comprovado em ensaios conduzidos em solos pobres, HOWELER et alii (41) e YOST & FOX (77) nos quais a utilização eficiente de fósforo pelas plantas só ocorreu em presença de FMVA. Por outro lado, a elevação dos teores de fósforo no solo provocou redução da colonização micorrízica em mandioca, EMBRAPA (25 e 27).

Outra comprovação do efeito benéfico do fungo micorrízico para a mandioca foi obtida em um estudo onde a população nativa destes fungos foi eliminada através da esterilização do solo. Constatou-se uma redução no crescimento das plantas devido à deficiência de fósforo, sendo o crescimento reestabelecido quando as plantas foram reinoculadas com o fungo (15, 27, 36 e 77).

HOWELER & SIEVERDING (40) demonstraram também a grande dependência da mandioca à associação micorrízica uma vez que a falta de colonização das raízes pelos fungos MVA na fase inicial de desenvolvimento da planta reduziu a produção de raízes aproximadamente à metade. Por outro lado, quando a população nativa de FMVA no solo é pequena, a inoculação com espécies efetivas poderá diminuir a deficiência de fósforo e aumentar o crescimento das plantas. Este resultado foi comprovado através da introdução de espécies de fungos micorrízicos vesiculo-arbusculares eficientes, os quais aumentaram a capacidade das plantas em absorver o fósforo do solo, EMBRAPA (28). Ainda em outro estu-

do, a inoculação dos FMVA Glomus occultum, Glomus manihotis e Entrophospora , em condições de solo natural proporcionou um incremento na produção de raízes de 20 a 30%, HOWELLER et alii (41).

Efeito pronunciado da inoculação de FMVA em mandioca, foi obtido em solo esterilizado, com aumento de até 3 vezes na produção de matéria seca e de 7 vezes na absorção total de fósforo, CIAT (20). Estudos feitos em solo esterilizado, mostraram que as plantas de mandioca não inoculadas com FMVA praticamente não se desenvolveram, a não ser quando foram reinoculadas com Gigaspora margarita, CARVALHO et alii (7).

Em ensaios de inoculação de mandioca com FMVA a adição de doses de fósforo ao solo, os resultados da aplicação de fertilizantes foi evidente depois de 2 semanas, enquanto os efeitos da inoculação foram observados após 3 semanas, pronunciando-se com o passar do tempo. As plantas não inoculadas foram deficientes em fósforo, apesar desse elemento ter sido fornecido à razão de 800 kg . $ha^{-1}$. O desenvolvimento máximo só foi alcançado com 1600 e 3200 kg . $ha^{-1}$ de fósforo, CIAT (21).

A inoculação de fungos micorrízicos em condições naturais de campo, raramente produz respostas tão relevantes como as observadas em experimento em casa-de-vegetação, principalmente quando se realizam em solos esterilizados. Isto se deve à colonização natural da mandioca com fungos micorrízicos nativos, HOWELER (36).

Em ensaios com a cultivar de mandioca BGM 002, inoculada com FMVA Gigaspora margarita e Gigaspora heterogama e aplicação de três doses (0, 40 e 80 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$), verificou-se que no nível intermediário de fósforo ocorreu uma ligeira resposta à inoculação com G. margarita, enquanto que no nível mais elevado deste elemento a produção foi idêntica à dose de 40 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$. O mesmo não aconteceu com G. heterogama em que os rendimentos obtidos nas doses de 40 e 80 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ foram inferiores quando comparados com os tratamentos não inoculado e inoculado com G. margarita, EMBRAPA (23). A inoculação de mandioca com Glomus clarum, em condições de casa-de-ve-

getação, resultou em maior crescimento da planta tanto em substrato fumigado quanto em não fumigado, e este efeito foi mais acentuado quando se aplicou 200 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, KATO (44).

Através de levantamento realizado no Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (CNPMF), em áreas plantadas com duas cultivares de mandioca locais e sete introduzidas, verificou-se que a taxa de micorrização , a concentração de fósforo no limbo foliar e a produção de raízes variaram em função das cultivares, sendo maiores nos genótipos locais, caracterizando maior adaptação às condições locais e, sobretudo às espécies nativas de fungos micorrízicos, EMBRAPA (27).

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1. Caracterização do local de condução do experimento

O experimento foi conduzido no Departamento de Biologia da Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, em casa-de-vegetação com cobertura de plástico, no período de 25/02 a 18/05 de 1989. O município de Lavras está situado ao sul do Estado de Minas Gerais, aproximadamente, 21°14'06" de latitude sul e 45°00'00" de longitude oeste, apresentando altitude média de 900 m. De acordo com a classificação de Koppen a região apresenta clima do tipo Cwb, BRASIL ( 4 ) e CASTRO NETO ( 8 ).

### 3.2. Obtenção das plântulas 'in vitro'

Foram utilizadas manivas de quatro cultivares de mandioca: Cavalo, Iracema, Jaçanã e Santa Catarina, fornecidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), através do banco de germoplasma situado em Lavras.

Os toletes com aproximadamente 12 cm de comprimento, com um mínimo de 3 gemas foram desinfestados superficialmente com hipoclorito de sódio

3.2.1. Meios de cultura e condições ambientais

O meio de iniciação foi composto do meio de cultura básico "MS" estabelecido por MURASHIGE & SKOOG (55), com os respectivos componentes e concentrações apresentados no Quadro 1, suplementado com reguladores de crescimento BAP, $GA_3$ e ANA nas concentrações de 0,05; 0,05 e 0,02 mg . $l^{-1}$, respectivamente.

O meio de crescimento e enraizamento constou de meio básico MS suplementado com 0,01 mg . $l^{-1}$ de BAP.

O pH dos meios de cultura foi ajustado para 6,0 antes da autoclavagem, utilizando-se NaOH e/ou HCl em solução de 0,5 N. O meio de iniciação foi distribuído na quantidade de 5 ml por tubo de ensaio, enquanto o meio de crescimento e enraizamento foi de 20 ml por frasco. A autoclavagem foi realizada a 121°C, 1,2 Atm. durante 20 minutos, ocasionando a redução do pH para 5,7 ± 0,1.

Após a inoculação dos meristemas, os tubos de ensaio foram tampados e lacrados com parafilm, levados para a sala de crescimento, com temperatura de 28°C, fotoperíodo de 16 horas por dia, com intensidade luminosa de 2000 lux nos 2 primeiros dias e 4000 lux nos dias subsequentes. Procedimentos idênticos foram adotados para os frascos contendo explante provenientes da repicagem para crescimento e enraizamento, diferindo apenas na intensidade luminosa que foi de 4000 lux constante.

As plântulas com 35 a 45 dias foram transferidas para vasos de cultivo, contendo substrato fumigado, sob câmara úmida para aclimatação e foram inoculadas ou não com o fungo micorrízico vesículo-arbuscular G. clarum.

QUADRO 1 - Composição do meio de cultura de Murashige & Skoog (MS) modificado com vitaminas, carboidrato, ágar e aminoácido.

| Solução Estoque | Compostos | Concentração final do meio de cultura (mg/l) |
|---|---|---|
| A | $NH_4NO_3$ | 1650,0 |
| B | $KNO_3$ | 1900,0 |
| | $H_3BO_3$ | 6,2 |
| | $KH_2PO_4$ | 170,0 |
| C | KI | 0,83 |
| | $Na_2MoO_4.H_2O$ | 0,25 |
| | $CoCl_2.6H_2O$ | 0,25 |
| D | $CaCl_2.2H_2O$ | 440,0 |
| | $MgSO_4.7H_2O$ | 370,0 |
| | $MnSO_4.4H_2O$ | 22,3 |
| E | $ZnSO_4.7H_2O$ | 8,6 |
| | $CuSO_4.5H_2O$ | 0,025 |
| F | $Na_2$ EDTA | 37,25 |
| | $FeSO_4.7H_2O$ | 27,85 |
| Vitaminas | Tiamina | 0,5 |
| | Piridoxina | 0,5 |
| | Ácido Nicotínico | 0,5 |
| | Mio-Inositol | 100,0 |
| Carboidrato | Sacarose | 20.000,0 |
| | Ágar | 7.000,0 |
| Aminoácido | Glicina | 2,0 |

### 3.3. Substrato

Foi utilizado Latossolo Roxo Distrófico, de acordo com a classificação de BAHIA (3), coletado do Campus da ESAL, à profundidade de 0 a 20 cm, sob revestimento florístico predominante de gramíneas.

O solo foi peneirado e fumigado com brometo de metila durante 48 horas e aeração por 72 horas.

Como fonte de fósforo utilizou-se o superfosfato triplo (42% de $P_2O_5$) moído e peneirado. As doses de 0, 200, 600 e 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ foram incorporadas ao substrato. O Quadro 2 mostra os resultados da análise química do substrato.

QUADRO 2 - Resultados da análise química do substrato, realizada no início do experimento para testar a inoculação do FMVA Glomus clarum em quatro cultivares de mandioca. ESAL, Lavras-MG, 1989

| Determinações | kg de $P_2O_5$/ha | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 | 200 | 600 | 1800 |
| pH em água (AcE) | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,9 |
| Al (mE/100 $cm^3$) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Ca (mE/100 $cm^3$) | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 2,5 |
| Mg (mE/100 $cm^3$) | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| P (ppm) | 1,0 | 10,0 | 48,0 | 192,0 |
| K (ppm) | 53,0 | 62,0 | 56,0 | 62,0 |

1/ Análise realizada no Instituto de Química "John Wheelock" do Departamento de Ciências do Solo da ESAL.

3.4. Obtenção do inóculo e inoculação

A espécie de fungo micorrízico vesículo-arbuscular utilizada foi Glomus clarum Schenck & Smith, proveniente da Universidade da Flórida (Estados Unidos da América). Este fungo foi cultivado por 4,5 meses, em vaso contendo substrato fumigado constituído por Latossolo Roxo Distrófico e vermiculita na proporção de 3:1 e Brachiaria decumbens, Stapf, como planta hospedeira. Os esporos desse fungo foram extraídos do solo por peneiramento via úmida em peneiras com malha de 0,710 e 0,053 mm, conforme sugerido por GERDEMANN & NICOLSON (32) e centrifugação em água por 3 minutos e posteriormente em sacarose 50% por 2 minutos, a 2000 rpm.

Cada plântula de mandioca foi inoculada na ocasião do transplantio, colocando-se cerca de 300 esporos do fungo Glomus clarum em contato com as raízes. Para uniformizar a população de outros microrganismos a todas as parcelas foi aplicado 2 ml de um filtrado do substrato do vaso de cultivo de Glomus clarum isento de esporos deste fungo. Este filtrado foi preparado pela diluição de 20 ml de solo dos vasos de cultivo do fungo por litro d'água, peneiramento via úmido em peneira de 0,053 m e duas filtrações em papel de filtro comum.

3.5. Aclimatação das plântulas

O processo de aclimatação das plântulas micropropagadas teve início no Laboratório de Cultura de Tecidos com a retirada do parafilm 3 dias antes do transplantio. As raízes foram lavadas em água corrente e os vasos mantidos por dez dias em câmara úmida. Duas vezes ao dia foi feita a borrifação de água na parede da câmara úmida para manter a umidade do ar em cerca de 100%.

## 3.6. Condução do experimento

Nos dias mais quentes as plantas foram irrigadas 2 vezes ao dia, enquanto nos dias de temperatura amena foi feita uma irrigação, de forma a fornecer nível adequado de umidade às plantas.

Para combater início de ataque de ácaro foi realizada uma pulverização com Kelthane CF na dosagem de 140 ml/200 l de água.

Para controlar a cercospora realizou-se 2 pulverizações com Dithane M-45 na dosagem de 300 g/200 l d'água.

Foram realizadas duas aplicações de solução nutritiva composta de macronutrientes, exceto fósforo, mais micronutrientes.

## 3.7. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos constaram de quatro cultivares de mandioca (Cavalo, Iracema, Jaçanã e Santa Catarina), submetidas a quatro doses de fósforo (0, 200, 600 e 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$), inoculadas ou não com fungo micorrízico *Glomus clarum*.

O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados, em esquema fatorial (4 x 4 x 2), com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por uma planta em saco de polietileno preto, com capacidade para 1,100 kg de solo.

3.8. Características avaliadas

Foram avaliadas as características de crescimento (peso seco das raízes, parte aérea e peso seco total da planta), colonização micorrízica nas raízes, esporulação do FMVA e teores de fósforo na parte aérea.

A parte aérea e o sistema radicular foram separados na região do colo. Foram lavados em água destilada, pesados, acondicionados em sacos de papel e colocados para secar em estufa com aeração a 65°C até obtenção de peso constante.

Calculou-se a dependência micorrízica (DM) através da fórmula:

$$DM = \frac{\text{peso seco da planta micorrizada} - \text{peso seco planta não mic.}}{\text{peso seco da planta micorrizada}} \times 100$$

utilizada por PLENCHETTE et alii (62).

Para avaliação da colonização micorrízica, antes da colocação das raízes na estufa foram retiradas amostras de 500 mg por planta, conservadas em FAA (13 ml de formalina + 5 ml de ácido acético glacial + 200 ml de álcool 50%) e posteriormente clarificadas em KOH a 10% e coradas com azul tripano, segundo metodologia descrita por PHILLIPS & HAYMAN (61). A percentagem do comprimento de raízes colonizadas foi determinada pelo método da placa quadriculada de acordo com GIOVANNETTI & MOSSE (33).

Para avaliação da esporulação do fungo micorrízico, foram coletadas amostras de solo de cada unidade experimental. Foram utilizados 50 ml de solo para extração dos esporos conforme metodologia descrita no item 3.4. A densidade de esporos, foi determinada por contagem em placa de plástico com canaletas concêntricas, sob estereomicroscópio com aumento de 80 vezes.

Os teores de fósforo na parte aérea foram determinados por colorimetria em amostras compostas pelas quatro repetições de cada tratamento, devido à insuficiência de material para determinação destes em todas as parce -

las experimentais.

## 3.9. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, segundo os programas de computação em uso, no Centro de Processamento de Dados da Escola Superior de Agricultura de Lavras, baseando-se nos princípios estatísticos de SNEDECOR & COCHRAN (72) e STELL & TORRIE (74).

Os dados referentes à colonização do fungo micorrízico nas raízes foram transformados em arc sen $\sqrt{x + 0,5/100}$ e os dados de esporulação foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$.

As análises para as características de crescimento foram feitas conforme modelo seguinte:

$$Y_{ijklm} = m + b_i + c_j + f_k + p_l + (cf)_{jk} + (cp)_{jl} + (fp)_{kl} + (cfp)_{jkl} + (e)_{ijklm}$$

sendo:

$Y_{ijklm}$: valor observado

m: média geral

$b_i$: efeito do bloco i

$c_j$: efeito da cultivar j

$f_k$: efeito do fungo micorrízico k

$p_l$: efeito da dose de fósforo l

$(cf)_{jk}$: efeito da interação da cultivar j x fungo micorrízico k

$(cp)_{jl}$: efeito da interação da cultivar j x dose de fósforo l

$(fp)_{kl}$: efeito da interação do fungo micorrízico k x dose de fósforo l

$(dfp)_{jkl}$: efeito da interação da cultivar j x fungo mic. k x dose de fósforo l

$(e)_{ijklm}$: erro experimental

Os efeitos das cultivares, doses de fósforo e fungo micorrízico foram considerados fixos.

As análises para as características de colonização e esporulação foram feitas conforme modelo:

$$Y_{ijkl} = m + b_i + c_j + p_k + (cp)_{jk} + (e)_{ijkl}$$

sendo:

$Y_{ijkl}$: valor observado

m: média geral

$b_i$: efeito do bloco i

$c_j$: efeito da cultivar j

$p_k$: efeito da dose de fósforo k

$(cp)_{jk}$: efeito da interação da cultivar j x dose de fósforo k

$(e)_{ijkl}$: erro experimental

Para as características de crescimento: peso seco das raízes, parte aérea e peso seco total da planta que apresentaram interações triplas significativas foram realizadas as análises de regressão.

Para determinar o teor de fósforo na parte aérea não foi possível realizar análise estatística pelo fato de algumas repetições não terem produzido matéria seca suficiente para fornecer quantidade mínima necessária para tal determinação.

# 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1. Estabelecimento da simbiose

### 4.1.1. Colonização

Os resumos das análises de variância para colonização micorrízica das raízes e produção de esporos no solo encontram-se no Quadro 3.

As plântulas sem inoculação não apresentaram colonização micorrízica das raízes em nenhum genótipo, como já era esperado, haja vista que o substrato foi fumigado.

A inoculação das plântulas das quatro cultivares de mandioca com Glomus clarum promoveu a colonização radicular de todas elas, embora estatisticamente não tenha havido diferenças significativas entre as mesmas (Quadro 4).

Diferenças nas interações entre espécies fúngicas e espécies de plantas ou cultivares da mesma espécie são relatadas, PLENCHETTE et alii (62), quanto à efetividade das espécies de fungos em promover o crescimento das plantas.

Por outro lado, observa-se efeito significativo das doses de $P_2O_5$ aplicado no substrato sobre a colonização. Dentre as doses estudadas a colonização radicular apresentou a menor taxa quando não se adicionou fósforo.

QUADRO 3 - Resumo das análises de variância para colonização micorrízica das raízes e esporulação em 4 cultivares de mandioca adubadas com diferentes doses de $P_2O_5$ na presença do FMVA Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG, 1989

| Fontes de variação | G.L. | Quadrados médios e significância | |
|---|---|---|---|
| | | Colonização de raiz (%)[1] | Nº de esporos/ 50 ml de solo[2] |
| Blocos | 3 | 33,6267 | 40,6864 |
| Fósforo (P) | 3 | 249,8803* | 176,1651** |
| Cultivares (C) | 3 | 11,8589 | 38,1667 |
| P x C | 9 | 74,5929 | 17,7213 |
| Erro | 45 | 72,5309 | 19,7957 |
| CV (%) | | 11,87 | 26,04 |

1/ Dados transformados para arc sen $\sqrt{x + 0,5/100}$

2/ Dados transformados para $\sqrt{x + 0,5}$

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de F

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F

É possível que a baixa colonização deva-se à pequena disponibilidade natural de fósforo no substrato. Ao se utilizar 200 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ houve um aumento da ordem de 13,14% na taxa de colonização das raízes em relação à dose zero de $P_2O_5$ (Quadro 4). Resposta semelhante foi obtida por HOWELER et alii (41) com a mesma dose de $P_2O_5$ ao inocular Acaulospora mellea e Acaulospora sp. em mandioca.

QUADRO 4 - Médias da percentagem de colonização micorrízica nas raízes de quatro cultivares de mandioca, inoculadas com Glomus clarum e cultivadas em substrato com aplicação de diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989

| Cultivar | Doses (kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$) | | | | Médias |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 200 | 600 | 1800 | |
| Cavalo | 62,750 | 78,888 | 75,327 | 70,711 | 71,919 |
| Iracema | 65,858 | 69,299 | 76,612 | 76,795 | 72,141 |
| Jaçanã | 69,749 | 73,132 | 72,082 | 66,906 | 70,467 |
| Sta. Catarina | 65,206 | 76,890 | 70,394 | 77,036 | 72,381 |
| Médias | 65,891 | 74,552 | 73,604 | 72,262 | |

Com quantidades maiores de fósforo, ou seja, 600 e 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ a taxa de colonização micorrízica ainda manteve-se elevada (Quadro 4). KATO (44), ao aplicar as mesmas doses de fósforo ao substrato e inocular G. clarum em mandioca também obteve taxas de colonização micorrízica elevadas. SYLVIA & SCHENCK (75) relatam ser este fungo micorrízico tolerante a altas doses de fósforo no substrato. Por outro lado, o aumento de doses de fósforo aplicado no substrato proporcionou a redução da colonização micorrízica, para diversas espécies de fungos incluindo o G. clarum, conforme verificado em outros estudos (7, 44, 66, 68, 71 e 73). Para SIQUEIRA (67) é provável que o desenvolvimento dos fungos MVA nas raízes seja controlado através de alterações no metabolismo de carboidratos das plantas decorrentes de maior suprimento interno em fósforo e efeito inibitório de concentrações elevadas de açúcares sobre os fungos.

4.1.2. Esporulação

Quanto à esporulação do fungo micorrízico Glomus clarum não se observaram diferenças significativas entre as cultivares (Quadro 3). Porém as cultivares Santa Catarina e Iracema permitiram uma esporulação ligeiramente superior àquelas verificadas nas demais (Quadro 5). De acordo com SIQUEIRA & FRANCO (69) a esporulação depende entre outros fatores do genoma da planta hospedeira e da espécie de fungo MVA.

As doses de fósforo foram responsáveis pelas diferenças significativas observadas na esporulação. No tratamento que não recebeu fósforo verificou-se a menor esporulação, enquanto que a maior foi alcançada na dose de 200 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ (Quadro 5). Em quantidades maiores de fósforo aplicado houve tendência de redução na esporulação do fungo.

QUADRO 5 - Médias de densidades de esporos (número de esporos por 50 ml de substrato), para quatro cultivares de mandioca, inoculadas com Glomus clarum e cultivadas em substrato com aplicação de diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989

| Cultivar | Doses (kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$) | | | | Médias |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 200 | 600 | 1800 | |
| Cavalo | 13,2 | 22,0 | 15,6 | 14,3 | 16,3 |
| Iracema | 14,3 | 20,6 | 18,3 | 20,1 | 18,3 |
| Jaçanã | 11,3 | 18,3 | 15,3 | 16,4 | 15,3 |
| Sta. Catarina | 16,4 | 25,6 | 14,1 | 17,7 | 18,4 |
| Médias | 13,8 | 21,6 | 15,8 | 17,1 | |

Ao comparar o comportamento da colonização e da esporulação (Quadros 4 e 5), observa-se que aparentemente a última é diretamente dependente da

taxa de desenvolvimento do fungo nas raízes. Na dosagem zero de aplicação de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ em que houve a menor taxa de colonização, também foi obtida a menor esporulação, enquanto na dose de 200 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ em que houve a maior colonização, a esporulação respondeu de forma semelhante.

SYLVIA & SCHENCK (75) ao elevarem o fósforo no substrato observaram aumento significativo da esporulação em gramínea forrageira inoculada com Gigaspora margarita, Glomus clarum e Glomus mosseae e redução na esporulação de Glomus etunicatum. Por outro lado, KATO (44) ao inocular Glomus clarum em mandioca não observou influência das doses de fósforo no número de esporos do fungo.

## 4.2. Características de crescimento: peso da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta

Os resumos das análises de variância referentes ao peso seco das raízes, parte aérea e total da planta encontram-se no Quadro 6. Verifica-se que as quatro cultivares de mandioca, inoculadas ou não com o fungo micorrízico vesiculo-arbuscular Glomus clarum, apresentaram diferenças significativas para as características de crescimento.

As figuras 1, 2 e 3 mostram que as quatro cultivares na ausência de fungo micorrízico responderam linearmente às doses de $P_2O_5$ para as características de peso das raízes, peso seco da parte aérea e peso seco total da planta. Estes resultados sugerem que o aumento na absorção de fósforo pelas plantas é um dos principais responsáveis pela elevação do peso da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta. Devido ao sistema radicular da mandioca não ser bem adaptado para a absorção de elementos pouco disponíveis no solo, EZETA & CARVALHO (29), há necessidade de que altas doses de fósforo sejam aplicadas para que a planta se desenvolva satisfatoriamente (7, 18, 20, 23, 44 e 59).

Na presença do fungo micorrízico as cultivares apresentaram respostas principalmente quadráticas (Figs. 1, 2 e 3), para peso da matéria seca das características de crescimento. Constata-se que houve aumento no peso da matéria seca das raízes com aplicação de doses crescentes de $P_2O_5$ até 1202,8, 1182,1 e 1279,9 kg . $ha^{-1}$, respectivamente para as cultivares Iracema, Jaçanã e Santa Catarina. A partir dessa dosagem a matéria seca das raízes reduziu sensivelmente. O comportamento do peso da parte aérea e peso seco total dessas cultivares foi bastante semelhante ao peso seco das raízes com pequenas variações nas doses de $P_2O_5$ (Figs. 1, 2 e 3).

Ao contrário das demais, a cultivar Cavalo respondeu às doses de fósforo até 358,5, 346,3 e 353,5 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, respectivamente para o peso da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta. Com doses superiores o crescimento desta cultivar foi prejudicada, elevando-se posteriormente a partir de 1341 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ para peso seco das raízes, 1334 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ para peso seco da parte aérea e 1335 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ para peso seco total da planta, porém nunca atingindo o mesmo desempenho conseguido na dose mais elevada sem fungo (Figs. 1, 2 e 3).

Os ajustes das curvas e os pontos de máximo mostram que a cultivar Cavalo é a menos exigente em fósforo para produzir o máximo de peso da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta (Figs. 1, 2 e 3). Este máximo porém foi menor do que aqueles atingidos pelas outras cultivares. Estes resultados concordam com o relato de PLENCHETTE et alii (62) que mostraram que cultivares da mesma espécie vegetal diferem em sua dependência micorrízica. Conclusão semelhante foi obtida no CIAT (19) com as cultivares de mandioca VEM-77 e CM-91-3, inoculadas com o fungo micorrízico Glomus sp em solo esterilizado, sendo que estas apresentaram diferenças significativas no peso seco da folhagem. Por outro lado, essas mesmas cultivares quando inoculadas com outra espécie de fungo micorrízico não apresentaram diferenças significativas. Efeito não significativo foi também observado por HOWELER & SIEVERDING (40) para produção de quatro cultivares de mandioca inoculadas com FMVA.

QUADRO 6 - Resumo das análises de variância para as características de crescimento de 4 cultivares de mandioca, adubadas com diferentes doses de $P_2O_5$, na presença ou ausência de FMVA Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989.

| Fontes de variação | G.L. | Quadrados médios e significância | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Peso seco raízes | Peso seco parte aérea | Peso seco total |
| Blocos | 3 | 0,5068 NS | 1,1747 ** | 2,9827 ** |
| Cultivares (C) | 3 | 4,8783 ** | 1,8549 ** | 9,8353 ** |
| Micorriza (M) | 1 | 105,2519 ** | 95,1510 ** | 400,5512 ** |
| Fósforo (P) | 3 | 38,8123 ** | 35,8889 ** | 149,1215 ** |
| C × M | 3 | 4,6845 ** | 0,7506 ** | 8,2205 ** |
| C × P | 9 | 0,9927 * | 0,5701 ** | 2,4867 ** |
| M × P | 3 | 11,8702 ** | 13,3210 ** | 48,5202 ** |
| M × P × C | 9 | 0,9100 * | 0,5918 ** | 2,5735 ** |
| Erro | 93 | 0,3887 | 0,1693 | 0,4408 |
| CV % | | 41,19 | 24,69 | 20,88 |

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de F

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de F

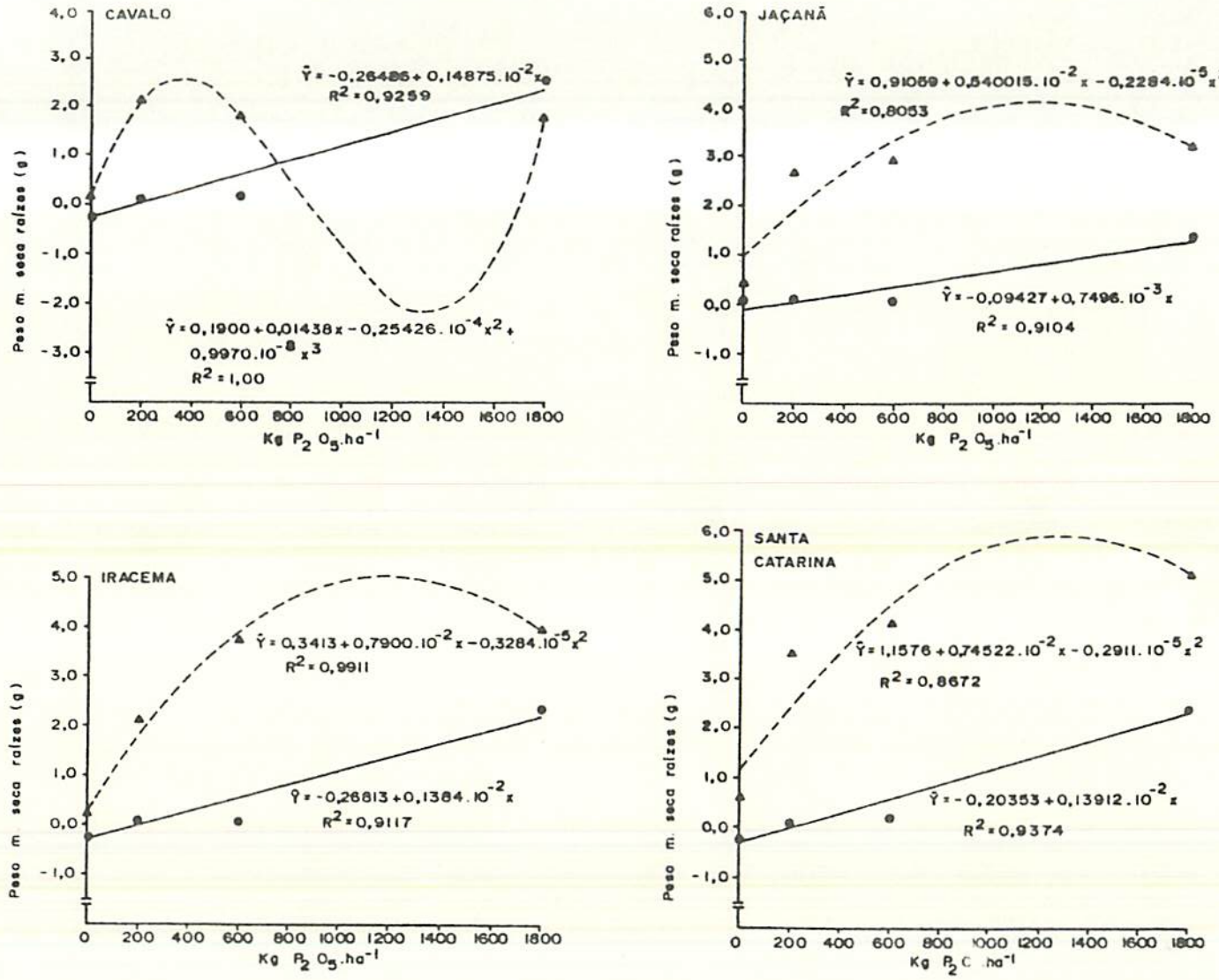



FIGURA 1 - Efeito de doses de $P_2O_5$ sobre o peso da matéria seca das raízes de 4 cultivares de mandioca, inoculadas (---) ou não (—) com FMVA Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989.

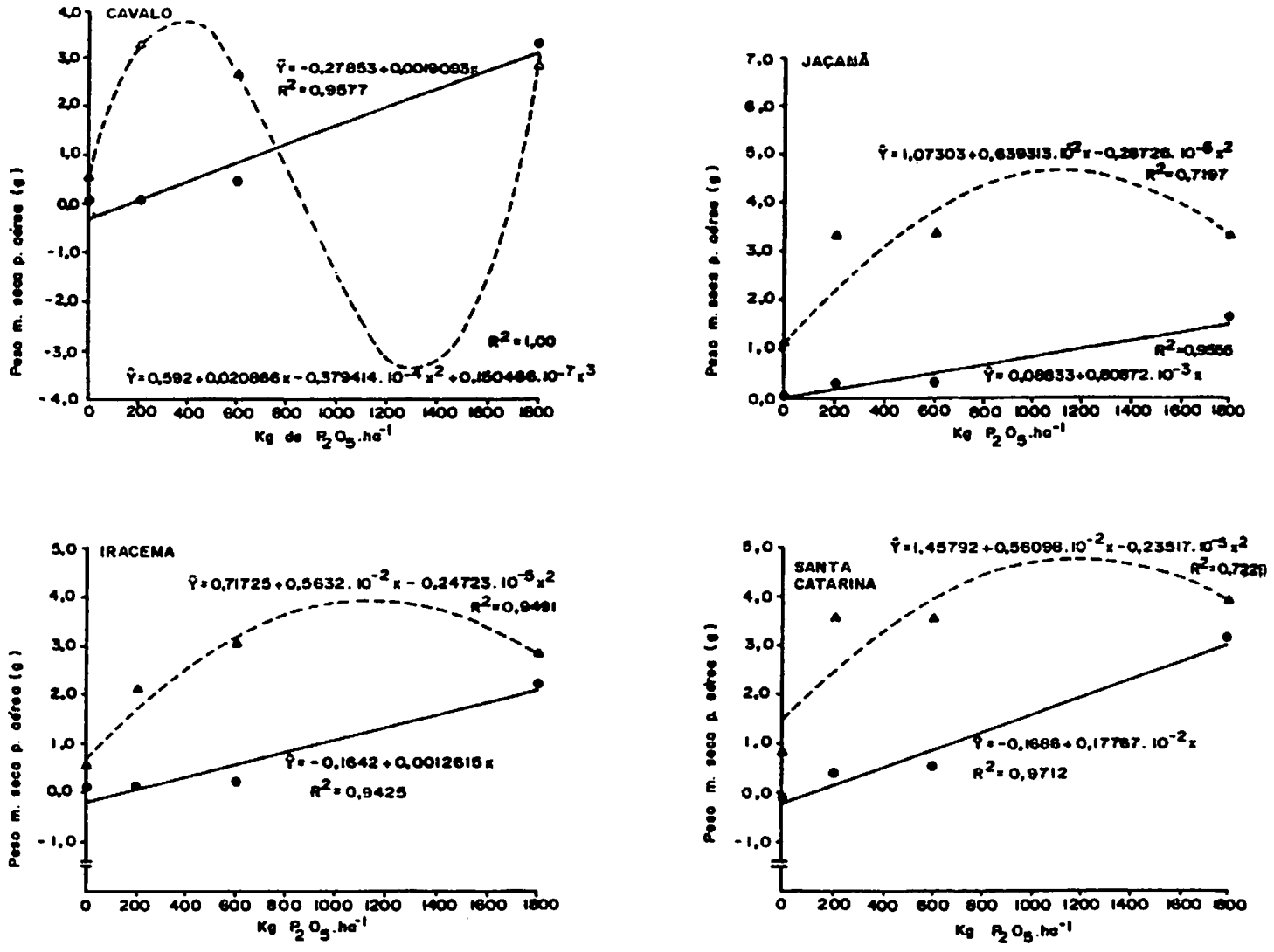



FIGURA 2 - Efeito de doses de $P_2O_5$ sobre o peso da matéria seca da parte aérea (g) de plântulas de 4 cultivares de mandioca, inoculadas (——) ou não (—) com FMVA Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989.

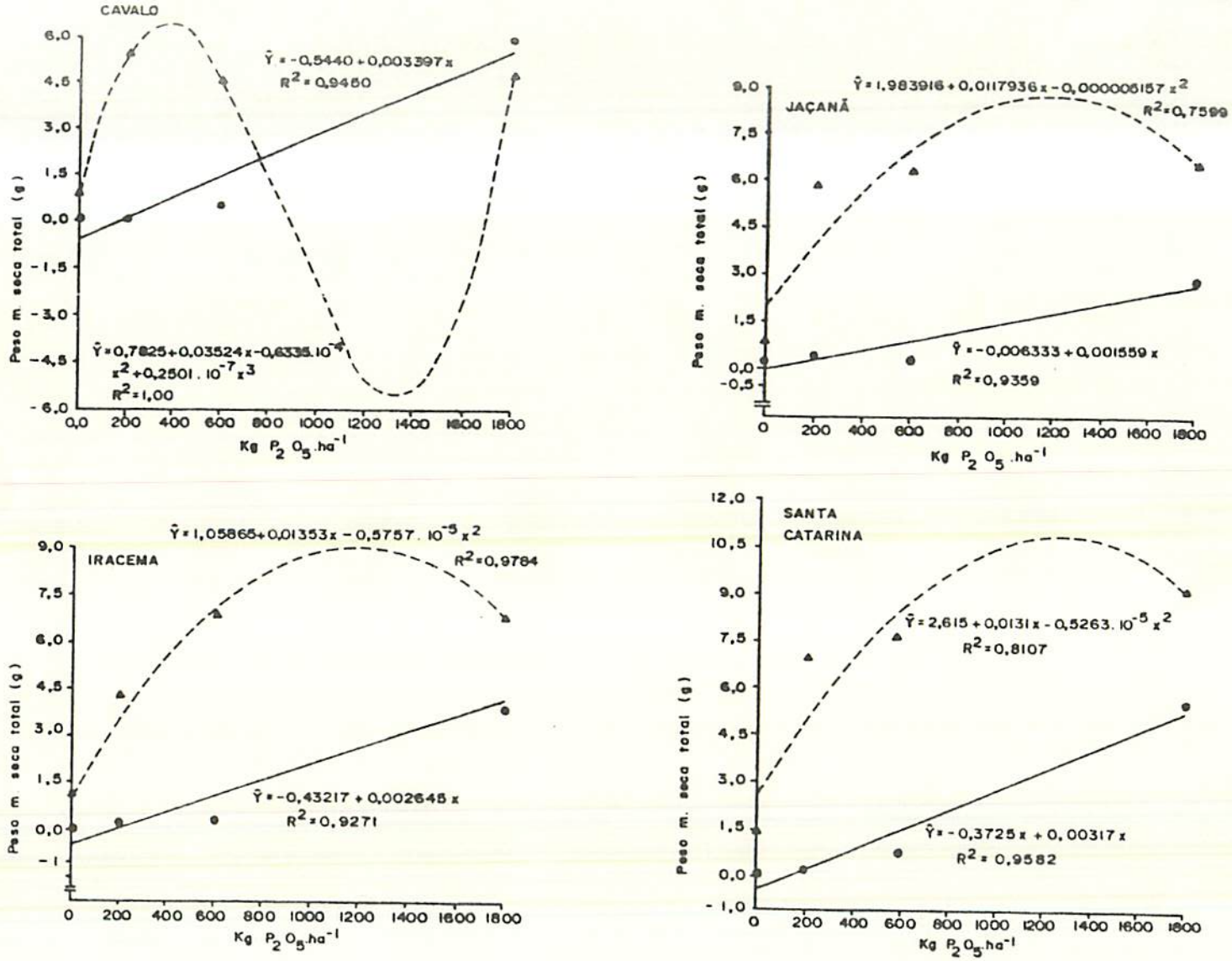



FIGURA 3 - Efeito de doses de $P_2O_5$ sobre o peso da matéria seca total (g) de plântulas de 4 cultivares de mandioca, inoculadas (---) ou não (——) com FMVA Glomus clarum, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989.

Nos tratamentos não inoculados com o fungo e que não receberam aplicação de fósforo foram obtidos os menores rendimentos de peso da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta para todos os genótipos. Porém os tratamentos inoculados com o fungo micorrízico apresentaram produção de matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta, que apesar de baixa, foram bem superiores aos tratamentos não inoculados (Quadros 7, 8 e 9). Estas respostas comprovam que a mandioca cultivada em solos com teor de fósforo considerado abaixo do nível crítico para o desenvolvimento normal dessa planta pode ter seu crescimento reduzido, como sugerido anteriormente por HOWELER et alii (39) e YOST & FOX (77).

As micorrizas, através das hifas fúngicas que funcionam como extensor das raízes atingindo a zona de depleção, melhoram consideravelmente a absorção de fósforo pela mandioca (1, 17, 30, 35, 49, 69 e 78) e como consequência aumentam a produção da matéria seca pela planta. Assim, o crescimento e produção dessa cultura em solos de baixa fertilidade, principalmente com baixa disponibilidade de fósforo, deve ser devido à associação dessa euforbiácea com fungos micorrízicos nativos, YOST & FOX (77).

As Figs. 1, 2 e 3 mostram que a cultivar Cavalo na dosagem de 200 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, praticamente atingiu o topo de "benefício crescente", para as características de crescimento, de acordo com modelo conceitual proposto por SIQUEIRA & COLOZZI (68). Isto mostra que esse genótipo é pouco exigente em adubação fosfatada para promover o benefício máximo entre o fungo micorrízico e hospedeiro, resultando na maior produção de matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta. Estes resultados sugerem que a cultivar Cavalo para atingir índices elevados de peso seco para as características de crescimento, quando micorrizada com Glomus clarum necessita de moderada fertilidade no que se refere ao teor de fósforo disponível no substrato. Estes resultados confirmam que as micorrizas vesiculo-arbusculares apresentam maior efetividade em solos com quantidades sub-ótimas de fósforo, conforme verificado também por CARVALHO et alii (7), LOPES et alii (45) e SIQUEIRA & COLOZZI (68).

QUADRO 7 - Valores médios para peso (g) da matéria seca das raízes de plântulas de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não com o fungo micorrízico G. clarum, submetidas a diferentes doses de $P_2O_5$, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG, 1989[1/]

| Cultivar | kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | | 200 | | 600 | | 1800 | |
| | N.I. | I | N.I. | I | N.I. | I | N.I. | I |
| Cavalo | 0,023 | 0,190 | 0,073 | 2,130 | 0,142 | 1,822 | 2,570 | 1,852 |
| Iracema | 0,020 | 0,205 | 0,060 | 2,020 | 0,062 | 3,797 | 2,385 | 3,930 |
| Jaçanã | 0,040 | 0,442 | 0,115 | 2,690 | 0,075 | 2,977 | 1,342 | 3,260 |
| Sta. Catarina | 0,035 | 0,563 | 0,120 | 3,535 | 0,213 | 4,135 | 2,435 | 5,177 |
| Média | 0,029 | 0,350 | 0,092 | 2,594 | 0,123 | 3,183 | 2,183 | 2,420 |

1/ Valores médios obtidos de 1 planta por parcela, em 4 repetições.

N.I. Não inoculado

I. Inoculado

QUADRO 8 - Valores médios para peso (g) da matéria seca da parte aérea de plântulas de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não com o fungo micorrízico G. clarum, submetidas a diferentes doses de $P_2O_5$, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG, 1989[1/]

| Cultivar | kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | | 200 | | 600 | | 1800 | |
| | N.I. | I | N.I. | I | N.I. | I | N.I. | I |
| Cavalo | 0,038 | 0,592 | 0,075 | 3,368 | 0,430 | 2,703 | 3,307 | 2,973 |
| Iracema | 0,053 | 0,502 | 0,112 | 2,108 | 0,235 | 3,045 | 2,223 | 2,858 |
| Jaçanã | 0,155 | 0,440 | 0,333 | 3,305 | 0,363 | 3,400 | 1,605 | 3,313 |
| Sta. Catarina | 0,083 | 0,835 | 0,143 | 3,537 | 0,573 | 3,510 | 3,142 | 3,975 |
| Média | 0,083 | 0,592 | 0,166 | 3,079 | 0,400 | 3,164 | 2,569 | 3,280 |

1/ Valores médios obtidos de 1 planta por parcela, em 4 repetições.

N.I. Não inoculado

I. Inoculado

QUADRO 9 - Valores médios para peso (g) da matéria seca total de plântulas de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não com o fungo micorrízico Glomus clarum, submetidas a diferentes doses de $P_2O_5$, em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG, 1989[1/]

| Cultivar | kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | | 200 | | 600 | | 1800 | |
| | N.I. | I | N.I. | I | N.I. | I | N.I. | I |
| Cavalo | 0,060 | 0,783 | 0,147 | 5,497 | 0,573 | 4,525 | 5,878 | 4,825 |
| Iracema | 0,072 | 0,707 | 0,172 | 4,128 | 0,298 | 6,843 | 4,608 | 6,787 |
| Jaçanã | 0,195 | 0,883 | 0,447 | 5,995 | 0,437 | 6,378 | 2,947 | 6,573 |
| Sta. Catarina | 0,117 | 1,398 | 0,268 | 7,073 | 0,785 | 7,645 | 5,577 | 9,153 |
| Médias | 0,111 | 0,942 | 0,259 | 5,673 | 0,523 | 6,347 | 4,753 | 6,834 |

1/ Valores médios obtidos de 1 planta por parcela, em 4 repetições.

N.I. Não inoculado

I. Inoculado

As cultivares Iracema, Jaçanã e Santa Catarina, inoculadas com o fungo micorrízico e com adição de 200 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ (Figs. 1, 2 e 3) apresentaram comportamento bastante semelhante na produção de matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta. A adição de fósforo ao substrato conduziu o rendimento da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta a índices menores em relação ao benefício máximo que o fungo micorrízico produziu. Estes resultados sugerem que as 3 cultivares são mais exigentes em fósforo para promover maiores rendimentos de matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta como resultado de uma boa associação micorrízica.

A cultivar Cavalo, com aplicação de 600 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, inoculada com FMVA (Figs. 1, 2 e 3), apresentou tendência ao efeito de benefício decrescente, conforme modelo de SIQUEIRA & COLOZZI (68), do peso seco das raízes, parte aérea e total da planta. Em outras palavras, isto significa que nesta dose está havendo uma tendência para diminuição da produção do peso seco das raízes, parte aérea e total da planta. Esta resposta sugere que embora o fungo micorrízico promova o crescimento da planta, a quantidade existente de fósforo na mesma inibe o fungo, tornando o dreno de carboidratos, em termos proporcionais, superior à quantidade de fósforo absorvido através das hifas do fungo.

O grau de colonização e os efeitos positivos da simbiose estão diretamente relacionados com a quantidade de fósforo absorvido pela planta, existindo um balanço delicado entre a disponibilidade de fósforo no solo, o desenvolvimento do fungo hospedeiro e a resposta à colonização, SANDERS & TINKER (64) e SIQUEIRA et alii (70).

As cultivares Iracema, Jaçanã e Santa Catarina, na dose de 600kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ e inoculadas com G. clarum ao contrário da cultivar Cavalo, apresentaram tendência para aumentar ainda mais o peso seco das raízes, parte aérea e total (Figs. 1, 2 e 3). Isto mostra que a quantidade de fósforo existente na planta foi capaz de promover benefício crescente ao hospedeiro deixando evidente para as três cultivares que na dose de 600 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ a co-

ionização foi suficiente para realizar benefícios.

A taxa de colonização e a curva de dependência da cultivar Cavalo, na dose de 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, indicam que os efeitos benéficos do fungo micorrízico deixaram de existir, havendo efeito parasítico do mesmo através do desbalanceamento no dreno de carboidratos e absorção de fósforo pelo fungo. Isto é comprovado quando se verifica que o rendimento da matéria seca das raízes, parte aérea e total das plantas micorrizadas foi inferior às não micorrizadas (Figs. 1, 2 e 3). Estes resultados indicam que a quantidade de fósforo existente no substrato, foi suficiente para aumentar a produção da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta, nas plantas não inoculadas.

As cultivares Iracema, Jaçanã e Santa Catarina, na dose de 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, e presença de fungo micorrízico, apresentaram tendência para redução do benefício do fungo para o hospedeiro (Figs. 1, 2 e 3). Isto provavelmente devido à tendência para redução das taxas de colonização.

Ao comparar a produção de matéria seca das raízes, parte aérea e total das plantas inoculadas com as não inoculadas (Quadros 7, 8 e 9), verifica-se o grande benefício proporcionado pela associação, e como consequência a economia de fertilizante que pode ser feita quando se utiliza o fungo micorrízico.

Observa-se nas figuras 1 a 3 que as cultivares Cavalo e Iracema inoculadas com Glomus clarum, necessitaram de aproximadamente 300 kg de $P_2O_5$. $ha^{-1}$ para produzir matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta igual às plântulas não inoculadas, porém com aplicação de 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$. A cultivar Jaçanã precisou da adição de 50, 100 e 75 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ para produzir, respectivamente, matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta, igual às plantas da mesma cultivar, não inoculadas e com aplicação de 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$. E finalmente a cultivar Santa Catarina, não inoculada, produziu matéria seca com incorporação de 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, igual às plântulas inoculadas, e com 150, 300 e 225 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, respectivamente, para peso seco das raízes, parte aérea e total da planta (Figs. 1, 2 e 3).

As informações contidas nos Quadros 10, 11 e 12, referentes à dependência micorrízica para peso da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta foram bastante diferenciadas em função da cultivar e doses de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$. Estes resultados mostram que a mandioca é altamente dependente de FMVA, mesmo em solos com baixo teor de fósforo. Na dose de 1800 kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ ainda houve resposta ao fungo para peso da matéria seca das raízes, parte aérea e total da planta, com exceção da cultivar Cavalo. Nesta dose o fungo foi prejudicial a esta cultivar para as características de crescimento.

QUADRO 10 - Dependência micorrízica (%) de 4 cultivares de mandioca para peso da matéria seca das raízes, em diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989

| Cultivar | kg de $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ | | | | Médias |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 200 | 600 | 1800 | |
| Cavalo | 87,89 | 96,57 | 92,21 | -38,77 | 53,15 |
| Iracema | 90,24 | 97,03 | 98,37 | 39,31 | 74,61 |
| Jaçanã | 90,95 | 95,72 | 97,48 | 58,83 | 83,22 |
| Sta. Catarina | 93,78 | 96,60 | 94,85 | 52,96 | 79,10 |
| Média | 91,57 | 96,45 | 96,13 | 38,86 | |

QUADRO 11 - Dependência micorrízica (%) de 4 cultivares de mandioca para peso da matéria seca da parte aérea, em diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989

| Cultivar | kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ | | | | Médias |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 200 | 600 | 1800 | |
| Cavalo | 93,58 | 97,77 | 84,09 | -11,23 | 60,04 |
| Iracema | 89,44 | 94,69 | 92,28 | 22,22 | 69,18 |
| Jaçanã | 64,77 | 89,92 | 89,32 | 51,55 | 76,51 |
| Sta. Catarina | 90,06 | 95,84 | 83,67 | 20,95 | 66,73 |
| Média | 86,11 | 94,58 | 87,35 | 21,66 | |

QUADRO 12 - Dependência micorrízica (%) de 4 cultivares de mandioca para peso da matéria seca total da planta, em diferentes doses de $P_2O_5$. ESAL, Lavras-MG, 1989

| Cultivar | kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$ | | | | Médias |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 200 | 600 | 1800 | |
| Cavalo | 92,34 | 97,33 | 87,34 | -21,82 | 57,40 |
| Iracema | 89,82 | 95,83 | 95,65 | 32,11 | 72,11 |
| Jaçanã | 77,92 | 92,54 | 93,15 | 55,17 | 70,70 |
| Sta. Catarina | 91,63 | 96,21 | 89,73 | 39,07 | 73,30 |
| Média | 88,22 | 95,44 | 91,76 | 30,46 | |

## 4.3. Teores de fósforo na parte aérea

O crescimento de algumas plantas foi insignificante, principalmente nos tratamentos com doses reduzidas de fósforo e sem inoculação, não possibilitando que todas as repetições fornecessem matéria seca da parte aérea suficiente para permitir a determinação dos teores de fósforo. Em consequência, fez-se uma amostra composta de cada tratamento para estabelecer a concentração de fósforo na parte aérea, o que não permitiu análises estatísticas.

Observa-se na Figura 4 que os tratamentos não inoculados apresentaram menores teores de fósforo na parte aérea em todos os genótipos. Nas cultivares Cavalo e Jaçanã a concentração de fósforo na parte aérea foi incrementada à medida que se elevou a disponibilidade deste elemento no substrato. Porém, nas cultivares Iracema e Santa Catarina não inoculadas, praticamente não ocorreram diferenças nos teores de P entre as doses de 0, 200 e 600 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$. Isto sugere que as cultivares apresentaram diferenças na habilidade de absorção desse macronutriente, concordando com resultados obtidos por LORENZI (47), com duas cultivares de mandioca.

Nos tratamentos inoculados com o fungo micorrízico todos os genótipos apresentaram maiores teores de fósforo na parte aérea à medida que se elevou as doses deste elemento no substrato, fato que também foi constatado por KATO (44).

Observou-se ainda que a concentração de fósforo na parte aérea sempre foi maior nos tratamentos inoculados com o fungo do que naqueles não inoculados (Fig. 4). É provável que o fungo micorrízico tenha proporcionado condição de equilíbrio nutricional às cultivares pela maior absorção de fósforo na zona de esgotamento através de suas hifas extrarradiculares.

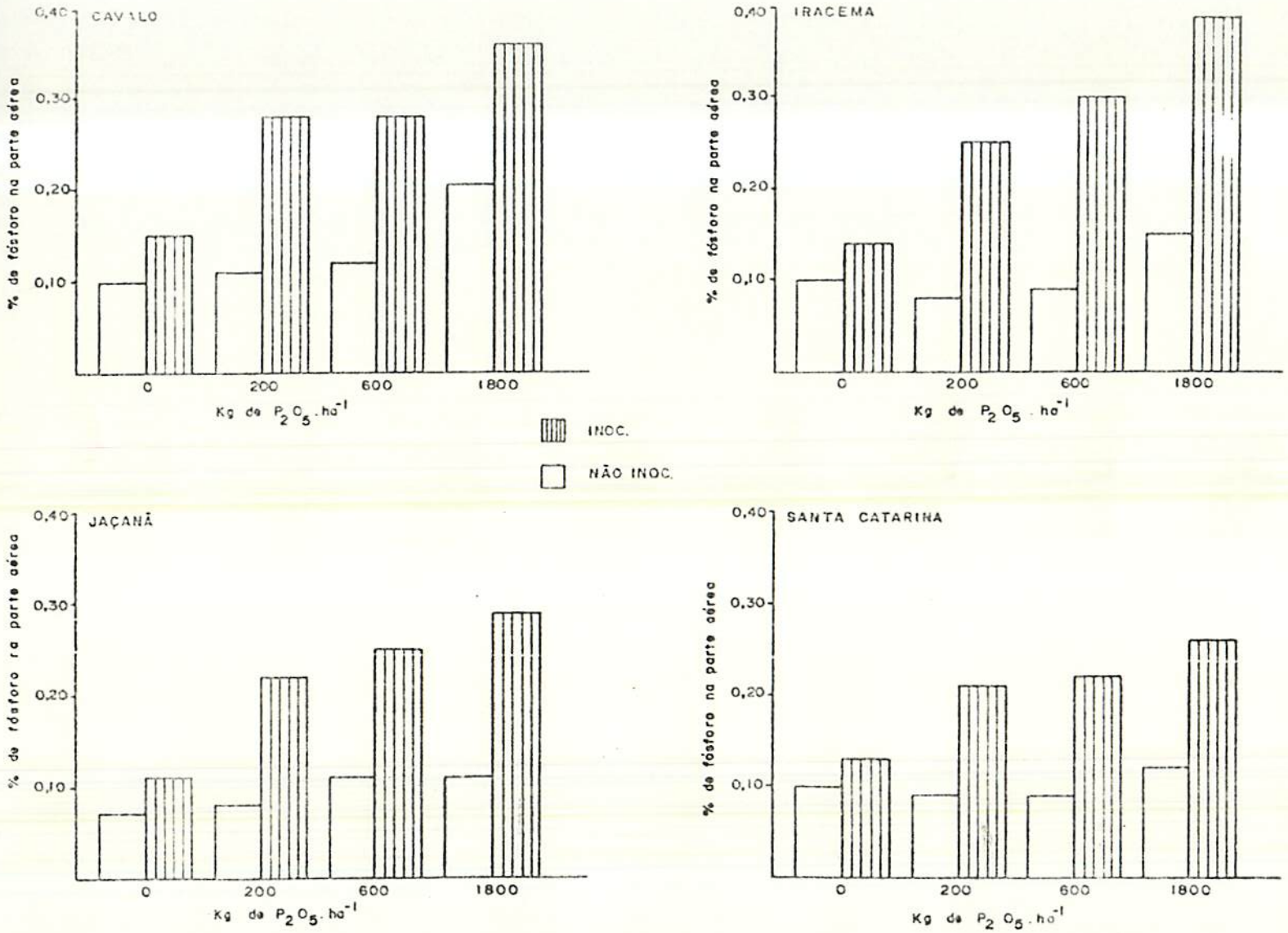



FIGURA 4 - Efeito de doses de $P_2O_5$ sobre os teores de fósforo na parte aérea de 4 cultivares de mandioca, inoculadas ou não, com o fungo micorrízico Glomus clarum em substrato fumigado. ESAL, Lavras-MG. 1989.

## 5. CONCLUSÕES

1. A inoculação com FMVA Glomus clarum se mostrou efetiva para o desenvolvimento inicial das quatro cultivares de plantas de mandioca, provenientes de cultura de meristemas 'in vitro' e em geral este efeito foi mais acentuado em condições menores de disponibilidades de fósforo no substrato.

2. Os genótipos mostraram dependência diferenciada ao FMVA G. clarum, para crescimento.

3. A adição de doses crescentes de $P_2O_5$ ao substrato promoveu maior crescimento para todos os genótipos estudados.

4. A cultivar Cavalo quando inoculada com G. clarum mostrou-se menos exigente em fósforo do que as cultivares Jaçanã, Iracema e Santa Catarina para alcançar produção máxima em todas as características de crescimento avaliadas, embora esta tenha sido bem inferior ao crescimento das cultivares mais exigentes.

COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE MANDIOCA (Manihot esculenta Crantz) EM PRESENÇA DO FUNGO MICORRÍZICO Glomus clarum Nicolson & Schenck E DOSAGENS DE FÓSFORO

AUTOR: Natalino de Jesus Cabral Corrêa

ORIENTADOR: Prof. César Augusto Brasil Pereira Pinto

## 6. RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento inicial de quatro cultivares de mandioca (Manihot esculenta Crantz), inoculadas com o fungo micorrízico Glomus clarum e cultivadas em substrato com aplicação de diferentes doses de $P_2O_5$. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação na Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, Lavras, Estado de Minas Gerais, no período de 25 de fevereiro a 18 de maio de 1989. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4 x 2, com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos de plântulas oriundas de cultura de meristemas 'in vitro' das cultivares Cavalo, Iracema, Jaçanã e Santa Catarina, quatro dosagens de fósforo (0, 200, 600 e 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$) fornecidas sob a forma de superfosfato triplo e inoculação ou não com o fungo micorrízico Glomus clarum. Observou-se que a colonização radicular e a esporulação do fungo micorrízico foi semelhante para as quatro cultivares, porém o maior efeito ocorreu na dose 200 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$, indicando que doses moderadas são favoráveis ao crescimento e desenvolvimento do fungo. A inoculação com o fungo proporcionou efeito positivo sobre o crescimento das plântulas micro - propagadas das 4 cultivares em todas as doses estudadas. Entretanto, o comportamento das cultivares não foi semelhante. Para a cultivar Cavalo houve efeito depressivo do fungo sobre o crescimento das plantas quando aplicadas doses de $P_2O_5$ acima de 600 kg . $ha^{-1}$. Observou-se ainda que esta cultivar foi menos

[redacted]

exigente em fósforo para atingir crescimento máximo, embora este tenha sido bem inferior ao alcançado pelas outras cultivares. Análise dos teores de fósforo na parte aérea mostrou maiores teores em todas as cultivares inoculadas sugerindo que o fungo foi eficiente em absorver este elemento para as plantas. A eficiência da associação micorrízica pode ser comprovada ao se verificar a quantidade de $P_2O_5$ necessária para atingir a produção de matéria seca igual às plantas não inoculadas com aplicação de 1800 kg de $P_2O_5$ . $ha^{-1}$.

PERFORMANCE OF CASSAVA CULTIVARS (Manihot esculenta Crantz) INOCULATED WITH THE MYCORRHIZAL FUNGUS Glomus clarum Nicolson & Schenck UNDER DIFFERENT DOSAGES OF PHOSPHORUS

AUTHOR: Natalino de Jesus Cabral Corrêa

ADVISER: Prof. César Augusto Brasil Pereira Pinto

?. SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the early development of four cultivars of cassava (Manihot esculenta Crantz), inoculates with the mycorrhizal fungus Glomus clarum and cultivated in substrate containing different dosages of $P_2O_5$. The experiment was conducted in a greenhouse at Escola Superior de Agricultura de Lavras located in Lavras, State of Minas Gerais, Southeast of Brazil, from February 25th to May 18th, 1989. A completely randomized block design was used, in a 4 x 4 x 2 factorial scheme with four replications. Treatments consisted of plantlets originated by in vitro meristem culture from cultivars "Cavalo", "Iracema", "Jaçanã" and "Santa Catarina", four phosphorus dosagens (0, 200, 600 and 1800 kg $P_2O_5$ $ha^{-1}$), supplied as triple superfosfate and inoculation or not with the mycorrhizal fungus Glomus clarum. It was observed that root colonization and mycorrhizal fungus sporulation was similar in all four cultivars the 200 kg $P_2O_5$ $ha^{-1}$ being the most effective dosage, indicating that the moderate dosages are the most suitable for growth and development of the fungus. Fungus inoculation had a positive effect on plantlets growth of the four cultivars for all given dosages. Nevertheless response of the cultivars was not the same. There was a deppressive effect over plant growth by the fungus when dosages of $P_2O_5$ were applied above 600 kg $ha^{-1}$ for cultivar Cavalo. It was verified that this cultivar was less demanding on phosphorus to attain maximum growth, although being much inferior to that attained by other cultivars. Phosphorus content analysis in

the aerial part indicated higher content in all inoculated cultivars, suggesting that the fungus was efficient on absorving this element to plants. The efficiency of the mycorrhizal association can be confirmed by verifying the $P_2O_5$ quantity needed to attain the same dry matter production as for the non inoculated plants submitted to 1800 kg $ha^{-1}$ of $P_2O_5$.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


1. ABBOTT, L.K. & ROBSON, A.D. The role of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. Australian Journal of Agriculture Research, Victoria, 33(2):389-408, 1982.

2. AZCON, R. & OCAMPO, J.A. Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. New Phytologist, London, 87:677-85, 1981.

3. BAHIA, V.G. Gênese e classificação de um solo do município de Lavras, MG. Piracicaba, ESALQ, 1975. 67p. (Tese Doutorado).

4. BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia. Normais climatológicas; (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Guanabara). Rio de Janeiro, 1969. 99p.

5. CAILLOUX, M. Plant tissue culture: rapid propagation, induced mutations and the potential role of protoplast techniques. In: VOSE, P.B. & BIIXT, S.O. Crop breeding, s.l., s.ed., 1984. p.318-9.

5. CARVALHO, P.C.L. de. Estudos sobre a afinidade entre fungos vesiculo-arbusculares e a mandioca cultivar Cigana Preta. Revista Brasileira de Mandioca, Cruz das Almas, 8(2):83-9, 1985.

7. _____; EZETA, F.N.; CALDAS, R.C. & RODRIGUES, E.M. Contribuição da endomicorriza para absorção de nutrientes e crescimento da mandioca (Manihot esculenta Crantz). Revista Brasileira de Mandioca, Cruz das Almas, 1(1):55-60, 1982.

8. CASTRO NETO, P. Notas de aula prática do curso de Agrometeorologia. Lavras, ESAL, 1982. 45p. (Apostila).

9. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. El cultivo de meristema para el saneamiente de clones de yuca. Cali, 1982. 45p.

10. _____. El cultivo de meristemas de yuca. Cali, 1980. 39p.

11. _____. Cultivo de tejidos. In: ____. Informe Anual del programa de yuca. Cali, 1981. p.85-92.

12. _____. Cultivo de tejidos. In: ____. Informe Anual del Programa de yuca de 1981. Cali, 1981. p.115-25.

13. _____. Cultivo de tejidos de yuca. In: ____. CIAT Informe 1980. Cali, 1980. p.46-87.

14. _____. Desordenes nutricionalis de la planta de yuca; guia de estudio para ser usada como complemento de la unidade audiotutorial sobre el mesmo tema. Cali, CIAT, 1981. 32p. (Série 04SC - 01.01).

15. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Efecto del suelo y de la nutricion de la planta en el crescimento del cultivo. In: ____. CIAT Informe 1983. Cali, 1983. p.43-5.

16. _____. Intercâmbio internacional de clones de yuca in vitro. Cali, 1982. 30p.

17. _____. Mycorrhizal. In: ____. CIAT Report 1986. Cali, 1986. p.43-8.

18. _____. Programa de yuca. In: ____. Informe CIAT 1981; Recuento de las principales actividades en 1980. Cali, 1981. p.21-42.

19. _____. Proyecto Micorriza. In: ____. Informe Anual Programa de Yuca de 1981. Cali, 1981. p.57-67.

20. _____. Soils and plant nutrition. In: ____. Cassava Program Annual Report, 1979. Cali, 1980. p.64-76.

21. _____. Suelos y Nutrición de Plantas. In: ____. Informe Anual del Programa de Yuca 1980. Cali, 1981. p.65-76.

22. CORRÊA, H.; GUEDES, G.A.A.; ANDRADE, A.M.S. & ROCHA, B.V. Fertilidade do Solo; Adubação mineral da cultura da mandioca (Manihot esculenta Crantz) em solos sob cerrado. In: ____. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Projeto Mandioca; Relatório 76/79. Belo Horizonte, 1982. p.48-66.

23. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Adubação e nutrição de plantas. In: ____. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1981. Cruz das Almas, EMBRAPA/CNPMF, 1982. p.206-24.

24. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Influência de NPK sobre a produção da mandioca. In: ____. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1982. Cruz das Almas, EMBRAPA/CNPMF, 1983. p.18.

25. _____. Micorrizas na utilização de fósforo pela mandioca. In: ____. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1982. Cruz das Almas, EMBRAPA/CNPMF, 1983. p.112-6.

26. _____. Micorrizas na utilização de fósforo pela mandioca. In: ____. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1983. Cruz das Almas, EMBRAPA/CNPMF, 1984. p.134-7.

27. _____. Micorrizas na utilização de fósforo pela mandioca. In: ____. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1984. Cruz das Almas, EMBRAPA/CNPMF, 1985. p.210-6.

28. _____. Nutrição mineral da mandioca. In: ____. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1980. Cruz das Almas, EMBRAPA/CNPMF, 1981. p.153-8.

29. EZETA, F.N. & CARVALHO, P.C.L. Influência da endomicorriza na absorção de P e K no crescimento da mandioca. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(1):25-8, 1982.

30. _____ & SANTOS, O.M. Benefício da introdução da endomicorriza eficiente na utilização de nutrientes em latossolos do sul da Bahia. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4(1):13-7, 1980.

31. GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: TORREY, J.D. & CLARKSON, D.T. The development and function of roots. New York, Academic Press, 1975. p.575-91.

32. GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decating. Transaction of British Mycological Society, London, 46(2):235-44, 1963.

33. GIOVANETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mucorrhizal infection in roots. New phytologist, London, 84(3):489-500, Mar. 1980.

34. GOMES, J. de C. & HOWELER, R.H. Produção da mandioca em solos de baixa fertilidade. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Práticas culturais da mandioca; Anais do Seminário realizado em Salvador, 1980. Brasília, 1984. p.151-66. (EMBRAPA-DDT. Documento, 14).

35. HAYMAN, D.S. & MOSSE, B. The role of vesicular-arbuscular mycorrhizae in the removal of phosphorus from soil by plant roots. Reviste du Ecologie et Biologie du Sol, 9(3):463-70, 1972.

36. HOWELER, R.H. La inoculação con micorrizas como práctica potencial de campo en yuca. Yuca boletin informativo, Cali, 7(2):4-6, nov. 1983.

37. _____. Nutricion mineral y fertilizacion de la yuca. In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Yuca: Investigacion, producion y utilizacion. Cali, 1984. p.317-52.

38. _____. Práticas culturais relacionadas ao solo na cultura da mandioca. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Práticas culturais da mandioca; Anais do Seminário realizado em Salvador, 1980. Brasília, 1984. p.95-112. (EMBRAPA-DDT. Documento, 14).

39. HOWELER, R.H.; CADAVID, L.F. & BURCKHARDT, E. Response of cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments. Plant and Soil, Netherlands, 69:327-39, 1982.

40. _____ & SIEVERDING, E. Potentials and limitations of mycorrhizal inoculation illustrated by experiments with field-grown cassava. Plant and Soil, Netherlands, 75(2):245-61, 1983.

41. _____; _____ & SAIF, S. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. Plant and Soil, Netherlands, 100 (2/3):249-83, Aug. 1986.

42. KARTHA, K.K. & GAMBORG, O.L. Elimination of cassava mosaic disease by meristem culture. Phytopathology, St. Paul, 65:826-8, 1975.

43. _____; _____; CONSTABEL, F. & SHYLUK, J. P . Regenerations of cassava plants from apical meristems. Plant Science Letters, Limerick, 2: 107-113, 1974.

44. KATO, O.R. Efeito de micorriza vesicular-arbuscular no crescimento e nutrição da mandioca (Manihot esculenta Crantz) em solo adubado com doses crescentes de superfosfato triplo. Lavras, ESAL, 1987. 177p. (Tese MS).

45. LOPES, E.S.; OLIVEIRA, E.; NEPTUNE, A.M.L. & MORAES, F.R.P. Efeito da inoculação do cafeeiro com diferentes espécies de fungo micorrízico vesicular-arbusculares. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 7 (2):137-41, 1983.

46. 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, 7(1):1-19, jan./abr. 1983.

47. LORENZI, J.O. Absorção de macronutrientes e acumulação de matéria seca para 2 cultivares de mandioca (Manihot esculenta Crantz). Piracicaba, ESALQ, 1978. 92p. (Tese MS).

48. MATTOS, P.L.P. de; SOUZA, A. de S.; DANTAS, J.L.L. & CALDAS, R.C. Influência da rotação de culturas sobre a produtividade da mandioca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 2, Vitória, 1981. Anais... Cruz das Almas, EMBRAPA/CNPMF/SBM, 1982. v.1, p.175-80. (EMBRAPAECNPMF. Documentos, 6/82).

49. MILLER Jr., J.C.; RAJAPAKSE, S. & GARBER, R.K. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in vegetable crops. Hortscience, Virginia, 21(4):974-84, Aug. 1986.

50. MOSSE, B. The influence of soil type and endogone strain on the growth of mycorrhizal plants in phosphate deficient soils. Reviste du Ecologie et Biologie du Sol, 4(3):529-37, 1972.

51. _____. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IV. in soil given additional phosphate. New Phytologist, London, 72:127-36, 1973.

52. _____. Vesicular-arbuscular Mycorrhiza Research for Tropical Agriculture. Havai, Institute for Tropical Agriculture and Human Resources, 1981. 81p. (Research Bulletin, 194).

53. MOSSE, B. & HAYMAN, D.S. Mycorrhiza in agricultural plants. In: MIKOLA, P. ed. Tropical Mycorrhiza Research. Oxford, Oxford University Press, 1980. p.213-30.

54. MURASHIGE, T. Plant propagation through tissue culture. Annual Review Plant Physiology, Palo Alto, 25:135-66, 1974.

55. _____ & SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 15(3):473-97, 1962.

56. PACOVSKY, R.S.; BETHLENFALVAY, G.J. & PAUL, E.A. Comparisons between P-fertilized and Mycorrhizal plants. Crop Science, Madison, 26(1):151-6, Jan./Feb. 1986.

57. PASQUAL, M. Obtenção de plantas por cultura de tecidos. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 11(124):63-8, abr. 1985.

58. PATERNIANI, E. Interação genótipo x ambiente em climas tropicais e subtropicais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16. Anais... Belo Horizonte, EMBRAPA/CNPMS, 1986. p.378-82.

59. PERIM, S. Efeitos de níveis de fósforo e de calcário no crescimento e na acumulação de P, Ca, Mg e Zn pela mandioca (Manihot esculenta Crantz) em casa-de-vegetação. Lavras, ESAL, 1982. 100p. (Tese MS).

60. _____; LOBATO, E. & COSTA, I.R.S. Efeito de níveis de fósforo no rendimento de mandioca em solo sob vegetação de cerrados. Revista Brasileira de Mandioca, Cruz das Almas, 2(1):25-9, 1983.

61. PHILLIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transaction of British Mycological Society, London, 55(1):58-61, Aug./Sept. 1970.

62. PLENCHETTE, C.; FORTIN, J.A. & FURLAN, V. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. Plant and Soil, Netherlands, 70(2):199-209, 1983.

63. ROCA, W.M. Cultivo de tejidos en Yuca. In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Yuca: investigacion, produccion y utilizacion. Cali, 1980. p.153-63.

64. SANDERS, F.E. & TINKER, P.B. Mechanism of absorption of phosphate from soil by endogone mycorrhizas. Nature, London, 233:278-9, Sept. 1971.

65. SCHUBERT, A. & HAYMAN, D.S. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XVI. Effectiveness of different endophytes at different levels of soil phosphate. New Phytologist, London, 103(1):79-80, 1986.

66. SIEVERDING, E. & LEIHNER, D.E . Influence of crop rotation and intercropping of cassava with legumes on VA mycorrhizal symbiosis of cassava. Plant and Soil, Netherlands, 80(1):143-6, 1984.

67. SIQUEIRA, J.O. Nutritional and edaphic factors affecting spore germination, germ tube growth and root colonization by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Gainesville, University of Florida, 1984. 124p. (Tese PhD).

68. SIQUEIRA, J.O. & COLOZZI-FILHO, A. Micorrizas vesiculo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II. Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 10 (3):207-11, set./dez. 1986.

69. _____ & FRANCO, A.A. Micorriza. In: ____. Biotecnologia do solo; fundamentos e expectativa. Brasília, MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. p.125-77.

70. _____; HUBBELL, D.H. & VALLE, R.R. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 19(2):1465-74, dez. 1984.

71. _____ & PAULA, M.A. Efeito de micorrizas vesiculo-arbusculares na nutrição e aproveitamento de fósforo pela soja em solo sob cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 10(2):97-102, mai./ago. 1986.

72. SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. Statistical methods. 16.ed. Ames, USA, 1967. 593p.

73. SOUZA, C.A.S. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.) inoculadas com Gigaspora margarita (Becker & Hall) em substrato com e sem matéria orgânica e diferentes doses de superfosfato simples. Lavras, ESAL, 1987. 237p. (Tese MS).

74. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 320p.

75. SYLVIA, D.M. & SCHENCK, N.C. Application of superphosphate to mycorrhizal plants stimulates sporulation of phosphorus-tolerant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist, London, 95(4):655-61, Dec. 1983.

76. VAZ, R.L. Cultura de tecidos: potencial e aplicação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CULTURA DE TECIDOS VEGETAIS, 1, Brasília, 1985. Anais... Brasília, EMBRAPA/CNPH, 1986. p.9-10.

77. YOST, R.S. & FOX, R.L. Contribution of mycorrhizal to P nutrition of crops growing on an oxisol. Agronomy Journal, Madison, 71(6):903-8, Nov./Dec. 1979.

78. ZAMBOLIM, L. & SIQUEIRA, J.O. Importância e potencial das associações micorrízicas para a agricultura. Belo Horizonte, EPAMIG, 1985. 36p. (Documento 26).