



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

OSWALDO MACHINESKI

**RESPOSTA DA MAMONEIRA A FUNGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E A DOSES DE
FÓSFORO**

Londrina
2008

OSWALDO MACHINESKI

**RESPOSTA DA MAMONEIRA A FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES E A DOSES DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Pinto de Souza

Co-Orientador: Dr. Elcio Liborio Balota

Londrina
2008

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M149r Machineski, Oswaldo.

Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a doses de
fósforo / Oswaldo Machineski. – Londrina, 2008.

68 f. : il.

Orientador: José Roberto Pinto de Souza.

Co-orientador: Elcio Liborio Balota.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
2008.

Inclui bibliografia.

1. Mamona – Teses. 2. Micorriza – Teses. 3. Fungos do solo – Teses. 4.
Plantas – Efeito do fósforo – Teses. I. Souza, José Roberto Pinto de. II.
Balota, Elcio Liborio. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de
Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 631.46

OSWALDO MACHINESKI

**RESPOSTA DA MAMONEIRA A FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES E A DOSES DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia

BANCA EXAMINADORA

Dr. Elcio Liborio Balota
IAPAR – Londrina - PR

Prof. Dr. Waldemar Zangaro Filho
UEL – Londrina – PR

Dr. Fabio Suano de Souza
IAPAR – Londrina – PR

Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito
UEL – Londrina – PR

Dra. Diva de Souza Andrade
IAPAR – Londrina – PR

Prof. Dr. José Roberto Pinto de Souza
UEL – Londrina – PR

Londrina, 12 de dezembro de 2008

DEDICATÓRIA

A minha esposa Rute e minhas filhas, Gabriela
e Izabella, pelo apoio incondicional, e
compreensão nos momentos difíceis dessa
trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter proporcionado saúde e possibilidade para vencer mais esse desafio.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. José Roberto Pinto de Souza e Dr. Elcio Liborio Balota, não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade, dedicação, incentivo.

Aos professores do Departamento de Agronomia, que sempre atenderam prontamente, quando foi necessário.

A coordenação e professores do Programa de Pós-Graduação da Agronomia, que sempre buscaram o alto nível dos cursos de mestrado e doutorado.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná pela possibilidade de realizar este curso e o desenvolvimento do trabalho de dissertação na instituição, através do Projeto Biodiesel.

A Dra. Diva de Souza Andrade, pela amizade, compreensão, sugestões e incentivo nos trabalhos desenvolvidos.

Ao Dr. Celso Jamil Marur e Dr. Fabio Suano Souza, pelo auxílio nas análises fisiológicas.

Ao Dr. Higo Furlan Amaral pelas sugestões.

Aos colegas de trabalho, Maria Aparecida Matos, Orazilia França Dorigo, Paulo Sergio Aguilar e Ayrton Roberto Maia, pelo auxílio e compreensão nos momentos de ausência no laboratório.

Aos estagiários e bolsistas do Laboratório de Microbiologia de Solos pelo auxílio na condução do experimento

Ao colega José Gomes da Área de Biometria do IAPAR pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao Dr. Nelson da Silva Fonseca Junior do IAPAR pelas informações sobre a cultivar a ser utilizada, liberação das sementes e valiosas sugestões

MACHINESKI, Oswaldo. **Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a doses de fósforo**. 2008. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RESUMO

O óleo extraído das sementes de mamona possui características que permitem sua utilização em centenas de aplicações industriais. Com a criação do Programa Biodiesel Nacional a cultura da mamona tem-se destacado por apresentar grande potencial para expansão no país visando a obtenção de matéria prima para a produção de biodiesel. Entretanto, existem vários aspectos da cultura que precisam ser pesquisados para que esta expansão realmente aconteça no país, como por exemplo, aspectos nutricionais, obtenção de variedades adaptadas as diferentes condições climáticas, entre outros. O zoneamento climático para a cultura no Estado do Paraná feito no ano de 2008 foi um grande avanço para garantir o cultivo com menores riscos. Entre as pesquisas em andamento, a produção de mudas pode ser uma tecnologia alternativa para o plantio de mamona em locais com pouca disponibilidade hídrica, pois o desenvolvimento da parte aérea da mamoneira no primeiro mês é muito lento. Assim, mudas mais desenvolvidas transplantadas no início das chuvas permitem bom e rápido estabelecimento, com vantagens sobre as plantas daninhas. Na produção de mudas, a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares pode vir a ser uma tecnologia com grande potencial prático, pois além de auxiliar na nutrição, principalmente fosfatada, também pode contribuir para o aumento da capacidade de estabelecimento da muda no campo. O objetivo do presente estudo foi o de avaliar a resposta da mamoneira inoculada com fungos micorrízicos arbusculares em diferentes níveis de P no solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Londrina-PR, com a utilização de solo arenoso (LVd) autoclavado como substrato. Os tratamentos foram instalados num esquema fatorial, casualizados, em vasos com capacidade de 4 kg, com quatro tratamentos de fungos micorrízicos (Controle, *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum*, e uma mistura de espécies) e cinco doses de P (0, 20, 40, 80, 160 mg P kg solo⁻¹), com quatro repetições. Foi utilizado o híbrido comercial de mamona Íris. Aos 40 e 60 dias após a semeadura foi realizada a avaliação da taxa fotossintética. Aos 65 dias foram avaliados os seguintes parâmetros: altura, massa seca das plantas, teor de clorofila, micorrização, dependência micorrízica e teores de nutrientes na parte aérea. Houve efeito significativo da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em todas variáveis analisadas nos níveis mais baixos de P. Plantas inoculadas com *Gigaspora margarita* apresentaram aumento da taxa fotossintética e o teor de clorofila no tratamento sem adição de P. Foi observado efeito positivo nos tratamentos com adição de P, sem inoculação. A adição de P influenciou significativamente a produção de matéria seca e teores de P na parte aérea da mamoneira. Os fungos micorrízicos foram eficientes em promover o crescimento da mamoneira em solo com baixo teor de P, que apresentaram alta dependência micorrízica nesse nível de P no solo.

Palavras-chave: Nutrição. Mamona. Mudas. Micorrizas. Dependência micorrízica.

MACHINESKI, Oswaldo. **Response of castor bean to arbuscular mycorrhizal fungi and levels of phosphorus.** 2008. 68 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ABSTRACT

The oil extracted from castor bean seed has a lot of industrial applications. With the creation of the National Biodiesel Program castor bean crop has been outstanding for presenting great potential for expansion in the country seeking the raw material production for biodiesel production. However, there are several aspects of crop which need to be researched for this expansion really happens in the country. For instance, nutritional aspects, obtention of adapted varieties for different climatic conditions, among others. The climatic zoning for castor bean crop in State of Parana was done in 2008 which was considered a great step to guarantee cultivation with smaller risks. Among the researches in progress, the production of seedlings could be an alternative technology to castor bean on low water availability places, because the beginning of plant shoot development is very slow. So seedlings more developed that were transplanted in the beginning of the rainy season can have good and fast establishment, with advantages over weeds. In seedlings production, inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi can be a technology with great potential, because mycorrhiza contributes to nutrition, mainly phosphate, and increases seedling establishment capacity in the field. The aim of this study was to evaluate the response of castor bean inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under different levels of P in the soil. The experiment was carried out in a greenhouse, in Londrina-PR, using disinfected sandy soil (LVd) as substrate. The treatments were instaled in a randomized factorial design, in pots with capacity of 4 kg, with four treatments of AMF (Control, *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum*, and a mix of species), and five P levels (0, 20, 40, 80, 160 mg p kg soil⁻¹), with four replicates. It was used a commercial hybrid Iris of castor bean. At 40 and 60 days after planting, net photosynthesis rate was accomplished. The following parameters were evaluated at 65 days after planting: heigth, dry mass, chlorophyll content, mycorrhization, mycorrhizal dependence and concentration of nutrients in the plant shoot. There was a significant effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on heigth, dry mass and in P content in plant shoot. Inoculation of *Gigaspora margarita* increased photosynthesis and chlorophyll under treatment without P addition. It was observed positive effects in treatments under P addition, without AMF inoculation. P addition influenced, significantly, the production of dry mass and P content in the shoot. Arbuscular mycorrhizal fungi promoted castor bean growth under low level of P, which presented high mycorrhizal dependency.

Key-words: Nutrition. Castor bean. Seedlings. Mycorrhiza. Mycorrhizal dependency.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO AGRONEGÓCIO DA MAMONA	11
2.2	DESCRIÇÃO BOTÂNICA.....	14
2.3	FISIOLOGIA DA PLANTA DE MAMONA	14
2.4	CLIMA E SOLO PARA A CULTURA DA MAMONA	16
2.5	O CULTIVO DA MAMONA.....	18
2.6	NUTRIÇÃO DA MAMONA.....	20
2.7	PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMONA.....	23
3	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	27
3.1	ASSOCIAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E RAÍZES DE PLANTAS....	27
3.2	EFEITOS NUTRICIONAIS PROPORCIONADOS PELOS FMA	29
3.3	EFEITOS NÃO NUTRICIONAIS PROPORCIONADOS PELOS FMA.....	30
3.4	PRÁTICAS AGRÍCOLAS QUE INTERFEREM NO NÚMERO DE PROPÁGULOS DE FMA...31	
3.5	INOCULAÇÃO DE FMA EM ESPÉCIES VEGETAIS	32
	REFERÊNCIAS	35
4	ARTIGO: RESPOSTA DA MAMONEIRA A FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E A DOSES DE FÓSFORO	43
4.1	RESUMO E ABSTRACT.....	43
4.2	INTRODUÇÃO.....	44
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.5	CONCLUSÕES	60
4.6	REFERÊNCIAS	61
	ANEXOS	65

1 INTRODUÇÃO

A consolidação do Programa Biodiesel Nacional objetiva a obtenção da independência energética do país. Este programa caracteriza-se pela geração de emprego e renda nas várias regiões do Brasil, além dos benefícios relacionados à redução dos danos ambientais. A mamoneira, entre várias culturas, tem apresentado grande importância no fornecimento de matéria prima para a extração de óleo e obtenção de biodiesel, além da utilização do óleo e seus derivados em vários setores da indústria.

O cultivo da mamona é típico de pequena propriedade no Brasil, sendo cultivada sob baixo a médio nível tecnológico, muitas vezes com pouco ou nenhum uso de adubos e corretivos. Entretanto, a mamoneira é uma planta sensível à acidez do solo e exigente em nutrientes. Além disso, existe carência de informações sobre o comportamento da cultura às diferentes condições nutricionais do solo. O fósforo é um dos principais nutrientes para a cultura, pois participa de importantes reações bioquímicas e na fisiologia da planta, com destaque para os processos ligados ao fluxo de energia, compondo a molécula de ATP e outras moléculas de grande importância, e entre os produtos comumente armazenados em sementes (óleos, proteínas e carboidratos). Níveis baixos de P retardam o crescimento inicial da mamoneira e provocam redução considerável na produtividade.

O desenvolvimento inicial da parte aérea da mamoneira é muito lento no primeiro mês após o plantio, assim a produção de mudas, pode ser uma tecnologia alternativa para o plantio de mamona em locais com pouca disponibilidade hídrica, porém é uma técnica ainda em estudo. A inoculação de fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de mamoneira, pode vir a ser uma tecnologia com grande potencial a ser utilizada.

Neste contexto, são imprescindíveis estudos que evidenciem o comportamento da cultura em diferentes níveis de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Estes FMA associam-se com as raízes das plantas, formando uma simbiose mutualística, caracterizada pelo benefício a ambos os organismos. A associação é caracterizada pela formação de estruturas fúngicas (hifas, vesículas e arbúsculos) na região do córtex e grande quantidade de hifas extra-radiculares, que

funcionam como extensões do sistema radicular. Isto proporciona, funcionalmente, aumento do sistema radicular com conseqüente maior desenvolvimento das plantas, pela maior absorção de nutrientes, principalmente o fósforo e água. Tem sido evidenciado o importante papel desempenhado pelas micorrizas arbusculares em várias culturas de interesse econômico como o cafeeiro, citros, mandioca, maracujá, acerola, entre outras.

O objetivo no presente estudo foi o de avaliar a resposta de crescimento da mamoneira inoculada com fungos micorrízicos arbusculares em diferentes doses de P no solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO AGRONEGÓCIO DA MAMONA

Beltrão et al. (2006) relataram a busca mundial por uma sustentabilidade ambiental, com base na substituição progressiva dos combustíveis minerais derivados do petróleo, contribuidores diretos no efeito estufa, por combustíveis renováveis de origem vegetal, dentre eles o biodiesel do óleo de mamona. Criou-se uma perspectiva real para a expansão do cultivo da mamona em escala comercial no Semi-Árido brasileiro, principalmente na agricultura familiar, que já tem tradição no cultivo desta oleaginosa, em especial o Estado da Bahia, onde pequenos e médios agricultores produzem mamona há mais de um século.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de mamona e um dos maiores exportadores do seu principal produto, o óleo, que é extraído das sementes (HERMERLY, 1981; CARVALHO et al., 2002 apud OLIVEIRA, 2004; SANTOS et al., 2007). Segundo Vieira e Lima (2008), até o ano de 1981 o Brasil se colocava na condição de primeiro produtor mundial desse produto. Entretanto, a situação a que foi relegada a cultura, daquele ano para cá, causou sérios prejuízos à produção nacional, entre os fatores relacionados, problemas econômicos, uma vez que o preço pago ao produtor depende diretamente das oscilações do mercado internacional. Após esse período houve uma retração de 88% na produção nacional da safra 84/85 a 95/96. A produtividade que se situava dentre as melhores do mundo, despencou de 803 kg ha⁻¹ na safra 84/85 para 355 kg ha⁻¹ na safra 95/96, refletindo o baixo nível tecnológico empregado na cultura.

Esse quadro torna-se especialmente grave se considerarmos que a mamoneira tem potencial de produzir rendimentos superiores a 2.000 kg ha⁻¹ em cultivo solteiro e mais de 1.000 kg ha⁻¹ em cultivo consorciado, evidentemente se empregadas as técnicas agrônomicas adequadas.

A mamoneira é uma oleaginosa de relevante importância econômica e social, pois seu óleo tem um largo uso como insumo industrial. Nos últimos anos, devido ao fato de não existir bons substitutos em muitas das aplicações do óleo de mamona, como também, pela sua versatilidade industrial, a demanda por esse óleo

tem crescido bastante, tanto no Brasil quanto em outros países industrializados (VIEIRA; LIMA, 2008).

Desde a antiguidade, o óleo de mamona tem sido utilizado pelas suas propriedades medicinais e como azeite para iluminação, contudo, na atualidade deixou de ter na farmacopéia sua grande utilidade, sendo os grandes consumidores de nossos dias as indústrias químicas e de lubrificantes (COELHO, 1979, apud SANTOS et al., 2007). A mamona é uma planta de grande utilidade para a humanidade, por produzir um óleo singular na natureza, o único que é solúvel em álcool. Entre as aplicações industriais estão: química, têxtil, papéis, plásticos e borracha, perfumaria, cosméticos, farmácia, eletro-eletrônicos, telecomunicações, tintas, adesivos, lubrificantes de baixa temperatura, colas, aderentes, inseticidas, tintas de impressão, vernizes, náilon, matéria plástica, corantes, anilinas, desinfetantes, medicina, alimentos, entre outros (SANTOS et al., 2007). São mais de 700 aplicações do óleo de mamona e seus subprodutos. Na biomedicina também são utilizados os benefícios do óleo de mamona, na elaboração de próteses e implantes e em substituição ao silicone, aplicados em cirurgias ósseas, de mama e de próstata. O uso desse óleo devidamente processado como lubrificante, pelas características exclusivas de queimar sem deixar resíduos e de suportar altas temperaturas sem perder a viscosidade, é considerado o óleo ideal para motores de alta rotação, sendo usado em foguetes espaciais e nos sistemas de freios dos automóveis.

Santos et al. (2007) informaram que a produção de mamona pode ser realizada em quase todo o país, excluindo apenas alguns ecossistemas específicos, como o pantanal, a Amazônia e locais de muito frio e de baixa altitude (abaixo de 300 m), onde ainda não se tem certeza sobre a viabilidade de seu cultivo. O Estado da Bahia é o principal produtor nacional de mamona, respondendo com 82% da produção nacional na safra 2004/2005.

A importância da cultura da mamona para o Semi-Árido do nordeste brasileiro, onde vivem comunidades das mais pobres do Brasil, está em sua capacidade de gerar renda para os agricultores familiares dessa extensa área nordestina. O cultivo da mamona constitui-se, ainda, em fator de sobrevivência e fixação para a população rural.

Segundo Savy Filho (2005) o Programa Nacional do Biodiesel que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, deverá

impulsionar e promover a expansão da área de plantio e produção da mamona não somente nas regiões incentivadas para produção do biodiesel, mas também nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do País.

Da planta de mamona pode-se aproveitar quase tudo, já que as folhas servem de alimento para o bicho-da-seda e, misturadas à forragem, aumentam a secreção láctea das vacas (EVANGELISTA et al., 2008). A haste, além da celulose própria para a fabricação de papel, fornece matéria-prima para produção de tecidos grosseiros (BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS, 2000, apud SANTOS et al., 2007). Já a torta de mamona (subproduto), tem a capacidade de restaurar terras esgotadas, porém, por ser um produto tóxico, não se presta à alimentação animal. Por ser um processo bastante complexo e de alto custo, as usinas de óleo preferem vender a torta apenas como fertilizante, ao invés de fazer a desintoxicação (SANTOS et al., 2007). Apesar da alta toxicidade das sementes, o óleo de rícino não é tóxico, pois a ricina, principal componente tóxico das sementes, não é solúvel em lipídios, ficando restrito à torta (SEVERINO, 2005).

O óleo de mamona tem o potencial para gerar energia e fazer frente ao Programa Nacional de Biodiesel, que além da inclusão social, objetiva reduzir as importações brasileiras de diesel e a queima de combustíveis fósseis. Assim, além da oleaginosa apresentar teor de óleo acima das demais, fixa 8 toneladas de gás carbônico por hectare, ou seja, o quádruplo da média das outras oleaginosas (FREITAS, 2004). O teor de óleo das sementes varia em torno de 35 a 55%, cujo padrão comercial é 45%. Cerca de 90% do óleo é composto por triglicerídeo, principalmente da ricinoleína, que é componente do ácido ricinoleico. Diferentemente da soja, girassol, amendoim e outras oleaginosas, a mamona não é destinada à alimentação humana, conseqüentemente, sob o ponto de vista social não haveria concorrência com tal mercado (PIRES et al., 2004). Do ponto de vista agroindustrial, o fruto apresenta aproveitamento integral, obtendo-se como produto principal o óleo e, como subproduto, a torta que pode ser utilizada como adubo orgânico (BELTRÃO et al., 2001).

2.2 DESCRIÇÃO BOTÂNICA DA MAMONA

A mamoneira (*Ricinus communis* L.), pertence ao gênero *Ricinus* e a família Euphorbiaceae, compreendendo cerca de 300 gêneros e 800 espécies, distribuídas principalmente nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. As espécies mais conhecidas desta família são a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), a seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell Arg.) e a mamoneira. Devido a sua ampla ocorrência e distribuição, não há certeza sobre sua origem, considerando-se que tenha originado no continente africano ou no asiático, sendo a Etiópia e o leste da África apontados como os principais centros de diversidade, ao lado de outros centros secundários (HEMERLY, 1981; MOSHKIN, 1986; WEBSTER, 1994, apud OLIVEIRA, 2004). Banzato e Rocha (1969) consideram a mamoneira uma planta perene, podendo vegetar por quatro ou cinco anos, nas regiões tropicais e subtropicais e atingir alturas de até 6 a 8 metros. Nas zonas temperadas comporta-se como planta anual, tendo seu crescimento limitado pelo inverno. Os tipos comerciais existentes no Brasil, dependendo das condições ambientais e das variedades, podem variar de 1 a 4 metros de altura.

No Brasil é encontrada como planta silvestre desde o Rio Grande do Sul até a Amazônia, é uma planta de hábito arbustivo, com diversas colorações de caule, folhas e racemos. Seus frutos possuem espinho que não oferecem resistência mecânica. As sementes apresentam diferentes tamanhos, formatos e grande variabilidade de coloração, sendo uma fonte praticamente pura de ácido ricinoléico.

2.3 FISILOGIA DA PLANTA DE MAMONA

A mamoneira é muito complexa, apresentando crescimento do tipo indeterminado, com dicotomia pronunciada (WEIS, 1983), e crescimento inicial muito lento, o que lhe propicia pouca capacidade de competição com plantas daninhas e outras plantas do agroecossistema da mesma espécie (competição intra-específica com outras), hábito muito comum no Nordeste, onde se recorre comumente a

sistemas consorciados, com uma ou mais culturas, além da mamona (BELTRÃO; AZEVEDO, 2007).

Apresenta metabolismo fotossintético do tipo C3, menos eficiente que plantas C4, com elevada taxa de fotorrespiração, que tem como substrato o glicolato, e envolve a participação de três organelas celulares, o cloroplasto, a mitocôndria e os peroxissomas, em sincronia, representando a perda de dióxido de carbono, que poderia ser incorporado e transformado em produtos orgânicos (CONN; STUMPF, 1980; LARCHER, 2000 apud BELTRÃO; AZEVEDO, 2007).

A mamoneira apresenta intensa taxa de respiração nas folhas, e como são planofilares, recebem, em geral, menos luminosidade do que o requerido para elevadas taxas de fotossíntese. Ela apresenta cerca de 2,8 mg.dm⁻² de clorofila nas folhas, e taxa fotossintética de 18 a 27 mg de CO₂.dm⁻² h⁻¹, bem abaixo das observadas em plantas C4 como o milho e o sorgo que chegam a atingir 60 mg CO₂.dm² h⁻¹ (D'YAKOV, 1986 apud AZEVEDO et al 2001; AZEVEDO; BELTRÃO; SEVERINO, 2007). A eficiência da fotossíntese é representada pela fração da energia solar que é convertida em energia química, sendo que a eficiência máxima da fotossíntese condiciona a produção máxima potencial das culturas, sendo um dos principais determinantes para a produtividade e sobrevivência das plantas.

A expressão da sexualidade da mamoneira pode ser alterada pelo comprimento do dia, elemento do fotoperíodo que é mais importante na mudança da sexualidade dessa espécie. É uma planta originalmente de dias longos, necessitando, assim, para ter uma floração plena, de dias com pelo menos 13 horas luz, em que o melhor é aquele com 15 horas luz, sendo que nesse ambiente ocorre a maior proporção de flores femininas, que irá proporcionar maior produtividade. Já com 9 horas de luz por dia, que caracteriza um dia curto, verifica-se o contrário, com mais flores masculinas (MOSHKIN, 1986, apud BELTRÃO et al. 2007), diminuindo a produtividade. Entre outros fatores que podem aumentar o número de flores masculinas, cita-se a altitude fora do ideal, temperatura do ar elevada, poda e plantas desnutridas. A mamoneira é considerada pela maioria dos estudiosos como de autopolinização. A condição ideal para a liberação do grão de pólen é temperatura do ar na faixa entre 26°C e 30°C e umidade relativa do ar de 60% podendo variar entre cultivares e entre tipos botânicos (WEISS, 1983).

Seu metabolismo produz diversas substâncias de natureza protéica, como a ricina, que existe somente no endosperma das sementes, o complexo CB-1 A, alergênico, e o alcalóide ricinina, que existe em todas as partes da planta (FREIRE, 2001).

2.4 CLIMA E SOLO PARA A CULTURA DA MAMONA

A mamoneira é uma planta xerófila e heliófila, explorada comercialmente entre as latitudes 52° N e 40° S, possui boa capacidade de adaptação e é encontrada vegetando desde o Rio Grande do Sul até a Amazônia. É uma planta rústica, de clima tropical equatorial, com relativa adaptabilidade ambiental às regiões subtropicais, tolerante à seca, déficits hídricos, e exigente em calor e luminosidade. Em condições de sombreamento, vegeta excessivamente, em detrimento das sementes e do teor de óleo (BELTRÃO et al., 2007).

Apesar de serem encontradas mamoneiras em altitudes variando desde o nível do mar até 2300 m, para a produção comercial recomenda-se o cultivo em áreas com altitude na faixa de 300 a 1500 m. Quando cultivada em regiões com altitude abaixo de 300 m, há maior produção de massa verde em detrimento da produção de cachos (AZEVEDO et al., 2001), e apresenta, às vezes, abortamento de flores e até reversão de sexo. Altitudes superiores a 1500 m devem ser evitadas, pois temperaturas abaixo de 10°C inibem a produção de sementes, devido a perda de viabilidade do pólen (BELTRÃO et al., 2007).

O clima propício a ricinocultura é do tipo quente e úmido, com precipitações pluviais regulares nos estágios de desenvolvimento vegetativo e enchimento de bagas. A maior exigência de água no solo ocorre no início da fase vegetativa, produzindo, com viabilidade econômica, em áreas onde a precipitação mínima, até o início da floração, em torno de 400 a 500 mm. Para produzir rendimentos superiores a 1500 kg.ha⁻¹ a mamoneira necessita de pluviosidade entre 500 a 800 mm (BELTRÃO; SILVA; MELO, 2002). Chuvas excessivas nos estágios de maturação dos frutos e da colheita são prejudiciais, por favorecer a incidência de doenças e provocar queda e perda de frutos maduros (AZEVEDO et al., 1997). No estágio de maturação dos frutos, a falta de umidade no solo provoca

decréscimo no peso e no teor de óleo nas bagas. O excesso de umidade é prejudicial em qualquer período do ciclo da lavoura, sendo crítico nos estádios de plântula, maturação e colheita. O cultivo em regiões muito úmidas favorece a incidência de doenças. A ocorrência de ventos fortes causa danos aos ramos e compromete a produção de bagas.

A mamoneira desenvolve-se e produz bem em qualquer tipo de solo, com exceção daqueles de textura argilosa, que apresentam deficiência de drenagem, em razão da sensibilidade que a planta apresenta ao excesso de água (WEIS, 1983). As melhores colheitas são obtidas em solos profundos, permeáveis, ricos em matéria orgânica, sem problemas de drenagem, com boa disponibilidade de nutrientes e com topografia suave. Solos com fertilidade elevada favorecem o crescimento vegetativo excessivo, prolongando o período de maturidade e expandindo consideravelmente o período de floração (AZEVEDO et al., 1997). Solos com pH entre 6,0 e 6,5 são os ideais para o cultivo da mamoneira. Os principais atributos do solo para uma boa produção são: físicos: textura franco-argilosa-arenosa, boa permeabilidade e, aeração (mínimo de 10% de oxigênio) e boa capacidade de armazenamento de água; químico: quantidade adequada de nutrientes bem balanceados, reação do solo (pH) próximo à neutralidade e, baixos teores de elementos tóxicos (Al³⁺ e Na⁺); biológicos: elevada atividade microbiana, isenta de patógenos e ausência de substâncias orgânicas nocivas (CARVALHO, 2005).

A planta não suporta o frio, necessitando, para produzir bem, entre 2000 graus-dias e 3800 graus-dias de temperatura (MOSHKIN, 1986 apud BELTRÃO et al., 2007). A variação da temperatura deve ser de 20 a 30°C para que haja produções com valor comercial. Temperaturas muito elevadas, superiores a 40°C provocam aborto das flores, reversão sexual das flores femininas e redução substancial do teor de óleo nas sementes. As baixas temperaturas retardam a germinação, prolongando a permanência das sementes no solo, o que favorece o ataque de patógenos e insetos.

2.5 O CULTIVO DA MAMONA

De acordo com Azevedo et al (2001), a cultura da mamona é típica de pequena propriedade no Brasil, sendo cultivada sob baixo a médio nível tecnológico, muitas vezes com pouco ou nenhum uso de adubos e corretivos.

A escolha da área para o cultivo de mamona é um dos passos mais importantes para conseguir boa produtividade e evitar problemas de erosão do solo. Deve-se dar preferência às áreas de solo mais férteis, de acidez próxima da neutralidade e, principalmente, com boa drenagem, a fim de evitar encharcamento, que pode causar grande dano à mamoneira. Áreas com declive acentuado devem ser evitadas, pois a mamoneira protege pouco o solo contra a erosão (SEVERINO et al. 2006a).

A rotação de cultura é uma prática necessária para evitar o empobrecimento químico do solo e reduzir a ocorrência de doenças e pragas, responsáveis pela queda da produtividade e pelo aumento do custo de produção. A rotação também melhora as propriedades do solo (estrutura, fertilidade, teor de matéria orgânica) e biológica e ainda reduz a ocorrência de plantas daninhas (SEVERINO et al. 2006a). Existem muitas opções de esquemas de rotação, a exemplo de algumas sequências utilizadas no cerrado como: mamona-milho-algodão-amendoim ou soja-mamona-milho-algodão-milheto; e na Região Semi-árida, algodão-caupi-mamona ou mamona-amendoim-gergílim. Sempre que possível, o esquema de rotação deve conter uma espécie que produza muita biomassa (palhada) para cobrir o solo e ser fonte de matéria orgânica; e outra, da família das leguminosas, que fixe nitrogênio no solo.

Outra possibilidade é o plantio ou cultivo consorciado, que consiste em plantar outra cultura nas entrelinhas da mamona. O plantio consorciado é uma prática agrícola consagrada em toda a região tropical, cuja finalidade é diminuir os riscos da irregularidade climática, aumentando a estabilidade da produção. Segundo Azevedo; Beltrão e Severino (2007) um dos aspectos básicos no consórcio de plantas é a escolha das espécies componentes no sistema. No caso da mamona, por se tratar de uma espécie de ciclo vegetativo longo, de porte avantajado, com estrutura aérea planofilar, isto é, ramos e folhas horizontalizados e sistema radicular superficial, torna-se necessário escolher culturas consortes de porte baixo, ciclo

curto, com diferente capacidade de exploração do solo. Leguminosa como o feijão (caupi ou comum) e amendoim são boas opções de consórcio com a mamoneira. O algodoeiro herbáceo também é recomendável. Cereais como o milho e o sorgo, apesar de muito usados em sistema de consórcio em todo o Brasil, são espécies muito competitivas e de porte alto, as quais sombreiam a mamoneira e causam grande redução na produtividade dessa oleaginosa. Cuidados especiais devem ser tomados com relação à população e à distância entre as fileiras dessas culturas e a mamoneira.

O Estado do Paraná estava posicionado entre os maiores produtores de mamona na década de 80, porém houve diminuição drástica na produção na década de 90 (SANTOS et al., 2007), que provavelmente foi substituída por culturas mais rentáveis. Dados do IBGE (2007), informaram que o Paraná respondeu com uma produtividade média de 1539 kg ha⁻¹, na safra de 2007, bem acima da produtividade nacional e do Sul do Brasil que nesse ano que foi de 602 e 1265 kg ha⁻¹ respectivamente. O Plano Paranaense de Bioenergia, lançado oficialmente em 2004, tem por objetivo viabilizar a tecnologia de produção de matéria-prima para obtenção de biodiesel no Estado, bem como a utilização das tortas resultantes da extração do óleo para a alimentação animal (OLIVEIRA, et al., 2008). Com a proposta de inserção do biodiesel na matriz energética do Brasil a partir de 2004, houve novo interesse pela cultura, com financiamento de pesquisa, buscando a viabilização do cultivo de oleaginosas com potencial para obtenção de óleo para produção de biodiesel. Um passo importante foi o zoneamento de riscos climáticos para a cultura da mamona (CAVIGLIONE et al., 2008), possibilitando assim o cultivo com maior segurança a riscos climáticos. Ainda assim há necessidade de maiores estudos para concretizar a viabilidade da cultura no Paraná, porém os ensaios conduzidos no Estado pelo IAPAR têm atingido produtividade média de 1200 a 3400 kg.ha⁻¹ na primeira safra, e de 650 a 2100 kg.ha⁻¹ na segunda safra (safrinha) (FONSECA JUNIOR, 2008).

2.6 A NUTRIÇÃO DA MAMONA

A adubação é uma das principais tecnologias utilizadas para aumentar a produtividade e rentabilidade das culturas, porém é de alto custo e pode aumentar o risco do investimento agrícola. No Brasil são poucos os estudos envolvendo nutrição mineral da mamoneira (LANGE et al., 2005), que ainda carece de informação sobre a tecnologia para fertilização do solo (SEVERINO et al., 2006b). Além disso, existem poucos relatos sobre o comportamento da mamoneira sob diferentes condições, como cultivares, clima e disponibilidade de água (AZEVEDO et al., 2001).

A mamoneira exporta da área de cultivo cerca de 80 kg ha⁻¹ de N, 18 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 32 kg ha⁻¹ de K₂O, 13 kg ha⁻¹ de CaO e 10 kg ha⁻¹ de MgO para cada 2000 kg ha⁻¹ de baga produzida (CANECCHIO FILHO; FREIRE, 1958 apud SEVERINO et al. 2006b), indicando o alto requerimento de nutrientes para obtenção de produtividade adequada. Esses autores observaram ainda, em experimento com diferentes doses de adubação com macro e micronutrientes, consistente aumento do teor de óleo nas sementes em resposta ao aumento nas doses de P, e considerável aumento da produtividade com a adubação.

Segundo Carvalho (2005), a adubação da mamoneira deve ser por cova, ao lado da semente (3 a 5 cm) e mais profunda (5 a 6 cm), com as sementes a 3 cm de profundidade, sendo que o cálculo deve ser feito em função da análise química de solo. O calcário deve ser incorporado a uma profundidade de até 20 cm do solo, em duas aplicações, antes da aração, e a outra quando da gradagem. A recomendação para adubação da mamoneira para o Estado da Bahia, encontra-se na tabela 1.

Tabela 1 – Recomendação de adubação química para a mamoneira (NPK).

Teores mg dm ⁻³		Doses recomendadas kg ha ⁻¹			
P	K	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	
				Plantio	Cobertura
0 a 10	0 a 45	70	50	10	40
11 a 20	46 a 90	50	35	10	40
21 a 30	90 a 135	20	15	10	40
> 30	> 135	x	x	10	40

Obs 1: mg dm⁻³ = ppm

2: Quando a matéria orgânica for maior que 35 g kg⁻¹, não aplicar N.

3: Quando não se dispõe de informação técnica, pode-se usar fórmula semelhante a cultura do milho. Fonte: Santiago, a. N.; Dourado, V. V. (EBDA) Sistema de produção da momona: Mini curso III CBM, 2008 – Salvador-BA

Altos teores de nutrientes e adição de fertilizantes de forma desequilibrada e fornecimento de água em abundância sob irrigação, podem causar crescimento excessivo em altura e diminuição na produtividade. Essa realidade é comum para a maioria das plantas de mamoneira de portes médio e alto (AZEVEDO et al. 2001). Assim há necessidade de estudos sobre uso eficiente de adubos e corretivos para a cultura.

A carência do fósforo em solos tropicais tem-se constituído em fator limitante para a maioria das culturas. Segundo Raij (1991), o fósforo é um dos macronutrientes exigido em menor quantidade pelas plantas, porém trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Esta situação pode ser explicada pela carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros e, também, porque o elemento tem forte interação com o solo, sofrendo forte fixação. Para Malavolta (1989), as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do fósforo total aplicado, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em ferro e alumínio, ocorre a fixação deste elemento, além de ser um nutriente de baixa mobilidade.

De acordo com Gonçalves et al. (2000), os solos das regiões tropicais e subtropicais possuem pequenas reservas de nutrientes na forma de minerais primários, com baixa capacidade de troca de cátions, alta capacidade de fixação de P e elevado grau de agregação, o que, conseqüentemente, faz com que a permeabilidade e o potencial de lixiviação de bases dos solos sejam muito elevados. Segundo Novais e Smyth (1999), retira-se do solo tropical muito mais P, devido à

maior produtividade de biomassa por unidade de tempo, em termos relativos ao disponível, que do solo de clima temperado.

As plantas obtêm os nutrientes que necessitam através da absorção pelas raízes dos elementos existentes na solução do solo. A absorção desses nutrientes dá-se por três processos: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. O sistema radicular, ao desenvolver-se, encontra os nutrientes que podem ser absorvidos pelo processo de interceptação radicular. A água do solo está constantemente sendo absorvida para atender as necessidades das plantas e, nesse processo, os nutrientes contidos em solução são absorvidos pelo processo de fluxo de massa. Finalmente, por causa da absorção de nutrientes cria-se um gradiente de concentração na solução do solo próximo a superfície da raiz, com teores mais baixo próximos e mais altos distantes delas, ocasionando o movimento por difusão dos nutrientes do solo para a raiz. O fósforo, pelas baixas concentrações existentes em solução, chega as raízes pelo mecanismo de difusão (NOVAIS; BARROS; NEVES, 1990; RAIJ 1991).

O fósforo na planta estimula o crescimento das raízes, garantindo um crescimento vigoroso. Esse nutriente possui um papel fundamental na vida das plantas, por participar dos chamados compostos ricos de energia, como o trifosfato de adenosina (ATP), sendo absorvido pelas raízes como $H_2PO_4^-$, encontrando-se no xilema em maior proporção nessa forma (MALAVOLTA, 1985)

O fósforo é um dos principais nutrientes para a cultura da mamona, pois, além de participar das reações bioquímicas da fisiologia da planta, também participa da formação de moléculas de grande importância, como os produtos comumente armazenados em sementes (óleos, proteínas e carboidratos) (BELTRÃO et al., 2001).

O P também está envolvido no processo de fotossíntese. Os açúcares feitos no início deste processo são principalmente triose fosfato e hexose fosfato. O fosfato também tem que entrar no cloroplasto para que as trioses fosfatos saiam dela para uso em outras partes da célula e da planta. Essa reação de troca fosfato/fosfato triose é fundamental para o adequado movimento do açúcar elaborado na fotossíntese.

A deficiência de P pode reduzir tanto a respiração como a fotossíntese; porém se a respiração reduzir mais que a fotossíntese, os carboidratos se acumulam, deixando as folhas com coloração verde-escura. A deficiência

também pode reduzir a síntese de ácido nucléico e de proteína, induzindo a acumulação de compostos nitrogenados solúveis no tecido. O crescimento da célula é retardado e potencialmente paralisado. Os sintomas de deficiência de P incluem diminuição na altura da planta, atraso na emergência das folhas e redução na brotação e desenvolvimento de raízes secundárias, na produção de matéria seca e na produção de sementes (GRANT et al., 2001). O suprimento de P na fase inicial da vida da planta é fundamental para o ótimo rendimento da cultura. A falta de P no início do desenvolvimento restringe o crescimento, condição da qual a planta não mais se recupera, o que limita a produção. A falta de P no período mais tardio do ciclo tem menor impacto na produção da cultura do que no início. Segundo Ferreira et al. (2004), níveis insatisfatórios de P e K retardam o crescimento inicial da mamoneira e provocam redução considerável na produtividade.

Segundo Severino et al. (2006b), o aumento das doses de P no solo cultivado com mamona podem aumentar o teor de óleo das sementes, como observado em experimento, em que se constatou consistente aumento do teor de óleo na sementes em resposta ao aumento nas doses de P. Entre a dose zero e 100 kg ha⁻¹ de P, o teor aumentou de 47,6 para 50,2%. É possível que o maior suprimento deste nutriente seja uma prática viável para obtenção de maior teor de óleo na cultura da mamona, no entanto, esse efeito precisa ser confirmado em outros ambientes e genótipos (SEVERINO et al., 2006b).

Pacheco et al. (2008) observaram influência positiva da adubação fosfatada sobre a produtividade da mamoneira, particularmente acentuada no intervalo de 36 a 72 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Nesse nível detectou-se aumento da produtividade, acima de 1 t ha⁻¹ de bagas. A partir do nível de 36kg ha⁻¹ de P₂O₅ os aumentos da produtividade foram pouco expressivos, sendo que aumentando-se a adubação fosfatada a produtividade declinou, demonstrando efeito tóxico desse nutriente, quando adicionado em altos níveis sobre outros fatores.

2.7 PRODUÇÃO DE MUDAS DE MAMONA

As sementes de mamona apresentam grande variação de tamanho e densidade, apresentando dificuldades para regulação de semeadoras e

desuniformidade na emergência das plantas, resultando em populações desiguais que levam à baixa produtividade. Apresentam ainda problemas que distribui a germinação no tempo, além de baixa qualidade fisiológica das sementes disponíveis no mercado, incluindo-se as sementes classificadas como sementes básicas, levando à baixa germinação com variável vigor das plântulas (SHEPENTINA et al., 1986 apud AVELAR et al., 2004).

O desenvolvimento inicial da parte aérea da mamoneira é muito lento no primeiro mês após o plantio. Assim a produção de mudas, pode ser uma tecnologia alternativa para o plantio de mamona em locais com pouca disponibilidade hídrica, porém é uma técnica ainda em estudo (LIMA; BELTRÃO, 2007). Mamoneiras de porte médio, recomendadas para regiões de pouca disponibilidade hídrica, são plantadas em populações de 3 a 4 mil plantas.ha⁻¹, número que viabiliza o plantio de mudas (LIMA et al., 2006). Esses autores informaram que mudas em adiantado estado de desenvolvimento, no início das chuvas, apresentam grande vantagem para a cultura por que possibilita seu rápido estabelecimento no campo, com grandes vantagens sobre as plantas daninhas, aproveitando também o período em que há umidade disponível no solo. Severino et al. (2008) citaram que não foram encontradas referências na literatura sobre o teor de nutrientes no tecido foliar de mudas de mamoneira. Assim há grande demanda de pesquisa sobre a cultura.

Diversos materiais orgânicos e inorgânicos têm sido utilizados na formulação de substratos para a produção de mudas, havendo necessidade de se determinar os mais apropriados para cada espécie, de forma a atender sua demanda quanto ao fornecimento de nutrientes e propriedades físicas como retenção de água, aeração, facilidade para penetração de raízes e não favorecer o surgimento de doenças (SEVERINO et al., 2008). Além disso o substrato precisa também ser um material abundante na região e ter baixo custo, razão pela qual geralmente se utilizam de resíduos agroindustriais (LIMA et al., 2006). Diferentes composições de substratos e recipientes foram pesquisadas, procurando viabilizar a tecnologia de formação de mudas de mamona. Lima et al. (2006) testaram recipientes de vários volumes para crescimento e formação de mudas de mamona (0,4; 0,6; 1,2; 2,0 e 2,5 L) e cinco composições de substrato (solo misturado na proporção 1:1 v/v com bagaço de cana, casca de amendoim, esterco bovino, mucilagem de sisal e cama de frango), com sementes da cultivar BRS Nordestina,

de porte médio. Segundo esses autores, o momento ideal para o transplante situa-se aproximadamente entre 35 a 50 dias após a emergência, e após esse período elas perdem a qualidade devido o enovelamento e limitações de crescimento das raízes, além da necessidade de maior espaço no viveiro para comportar o crescimento da parte aérea. Concluíram nesse trabalho que para formação de mudas da mamoneira BRS Nordestina que o recipiente não pode ser menor que 2 L para formação de mudas até 43 dias após a emergência, e que recipientes inferiores a 1L limitam o crescimento das plantas. Quanto aos substratos, a mistura de solo e areia com casca de amendoim ou esterco bovino foram os que propiciaram as melhores condições de crescimento da muda entre os materiais avaliados (LIMA et al., 2006). Porém, Avelar et al. (2004), estudando a produção de mudas de mamona em tubetes de 50 e 120 mL, chegaram à conclusão que as mudas se desenvolvem melhor em tubetes de 120 mL, após 28 dias de condução em experimento em viveiro, por que possui um maior volume de substrato, necessário para o crescimento inicial das plantas. Segundo Macedo et al. (2006) a produção de mudas de mamoneira por estacas, é um processo viável e dispensa o uso de auxinas.

Comparando o plantio de mudas e sementes de mamona da variedade BRS-149/Nordestina a campo, Drumond; Anjos e Morgado (2006), observaram que o plantio de mudas proporciona um desenvolvimento mais rápido e vigoroso do que no sistema de sementes. Plantas provenientes do sistema de mudas apresentaram maior tolerância à deficiência de chuva, e foram mais produtivas do que no outro sistema.

Resultados preliminares como estes ainda não dão subsídios concretos para utilização dessa tecnologia, necessitando de maior investimento em pesquisa com avaliação de outros substratos, composições diferentes e outros volumes de recipientes, com diferentes cultivares de mamona de porte alto, médio e baixo. Pode-se também avaliar a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), em diferentes substratos e recipientes na formação de mudas. A inoculação poderá aumentar a possibilidade de sobrevivência das mudas no campo, aumentando a resistência ao estresse hídrico, bem como melhorar a nutrição das mudas.

Nesse sentido há necessidade de maior conhecimento de tecnologias que possam diminuir os gastos com insumos, bem como os níveis adequados de fertilidade para as diversas regiões do Brasil. Para a consolidação

dessa tecnologia a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pode ser um fator bastante promissor, contribuindo na melhor formação e nutrição das mudas, e substituindo ou complementando os adubos fosfatados. Praticamente não há estudos da interação de microrganismos do solo e a cultura da mamoneira, entretanto esses FMA poderiam contribuir para maior absorção de nutrientes, principalmente P em solos que são utilizados baixos níveis tecnológicos no cultivo da mamona.

3 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

3.1 ASSOCIAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E RAÍZES DE PLANTAS

O termo micorriza (grego “mykes” = fungo, “rhiza” = raiz) foi proposto pelo botânico alemão Albert Bernard Frank, em 1885 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), e refere-se a associações mutualísticas entre alguns fungos do solo e raízes de plantas. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) se originaram entre 353 a 460 milhões de anos, sendo apontados como fundamentais para a ocupação do ambiente terrestre pelas plantas, formando associações simbióticas mutualistas com a maioria das plantas vasculares, caracterizada pelo benefício de ambos os organismos. Os FMA contribuíram para a evolução das plantas, e muitas delas são dependentes da associação micorrízica para a sobrevivência.

Os FMA estão distribuídos de forma generalizada no ambiente terrestre, desde as regiões árticas até os trópicos, nos mais diversos ecossistemas como florestas tropicais e temperadas, desertos, dunas, pradarias e sistemas agrícolas (BRUNDRETT, 1991). É encontrada na maior parte das espécies importantes para a agricultura, principalmente as que ocorrem nas famílias Solanaceae, Gramineae e Leguminoseae (SILVEIRA, 1992).

Atualmente são conhecidas aproximadamente 170 espécies de FMA, classificados na ordem Glomales da Divisão Glomeromycota distribuídas em sete gêneros: Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora, Glomus, Scutellospora, Archaeospora e Paraglomus, e em cinco famílias (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Segundo Siqueira e Zambolim (1985), a infecção do sistema radicular inicia-se após a germinação dos esporos no solo que são estimulados pelos exudatos radiculares ou certos fatores intrínsecos do solo, produzindo o tubo germinativo que cresce até encontrar a superfície das raízes e conectar-se a elas através do apressório. Esta associação caracteriza-se pela presença de hifas, arbúsculos e, em algumas espécies, vesículas desenvolvidas nos espaços intercelulares da região do córtex das raízes das plantas hospedeiras, e pela produção de hifas externas às raízes que se estendem por vários centímetros na rizosfera.

O desenvolvimento do fungo na raiz e na rizosfera é composto por uma fase inicial, fase lag, durante a qual ocorre a infecção primária; uma fase exponencial, onde há rápida dispersão do fungo na raiz e uma fase estacionária. Arbúsculos e vesículas são continuamente formados e degenerados durante a fase exponencial e estacionária. As vesículas são estruturas globulares esféricas relacionadas com armazenamento de substâncias de excreção ou reserva, como óleos, e ocorrem inter e intracelularmente nas raízes (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO, 1986). Os arbúsculos são originados de ramificações dicotômicas de hifas, ocorrem no interior de células corticais e apresentam circunvoluções que lhes aumentam a superfície, tendo como função, as trocas nutricionais entre os organismos simbiotes (SCANNERINI; BONFANTE-FASOLO, 1983). Embora algumas espécies apresentem esporos no interior das raízes colonizadas, a esporulação do fungo normalmente ocorre no micélio externo. Simultaneamente à propagação intraradicular do fungo, as hifas de penetração se ramificam exteriormente. O desenvolvimento e a propagação da hifa externa dependem principalmente do tipo de solo, do hospedeiro e do fungo (SILVEIRA, 1992).

As hifas desenvolvidas extraradicularmente funcionam como extensões do sistema radicular, facilitando a aquisição de água e nutrientes pelas plantas, possibilitando o aumento da absorção daqueles nutrientes de baixa mobilidade, principalmente o fósforo, zinco, cobre, entre outros. O fungo, por sua vez, recebe da planta os carboidratos e fatores de crescimento de que necessita (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As raízes colonizadas pelos FMA sofrem pouca ou nenhuma alteração na sua morfologia. A constatação da infecção é feita microscopicamente após as raízes serem devidamente clareadas e coradas com produtos químicos. Estes simbiotes podem também ser detectados no solo pela observação de esporos e micélio.

Entre os benefícios dos FMA para a maioria das plantas estão a redução de P aplicado na forma de adubo, como sugerido por Siqueira e Zambolim (1985), em que os FMA podem substituir até 550 kg ha⁻¹ de P na cultura do citrus e 176 para a soja. Em geral, plantas micorrizadas têm seus requerimentos nutricionais reduzidos à metade ou até a 1/10 quando comparadas com aquelas não micorrizadas (SIQUEIRA; FRANCO, 1988). Cardoso e Lambais (1992) verificaram que plantas micorrizadas têm melhor aproveitamento de fosfatos naturais aplicados

ao solo. Entretanto, não deve ser esquecido que a eficiência da associação micorrízica no crescimento e na produtividade das culturas está vinculada à disponibilidade de nutrientes no solo e à sua absorção pelas plantas, que pode ser alterada através das múltiplas práticas agrícolas efetuadas durante o cultivo.

Muitos estudos documentados na literatura também salientam que a eficiência da micorrização diferem devido as diferentes combinações fungo-planta e condições de P disponível. Apesar dos FMA não apresentarem especificidade de hospedeiros, ocorre resposta diferenciada do hospedeiro dependendo da espécie fúngica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Contudo, associação eficiente pode duplicar os teores de P na planta, como observado em vários estudos realizado em diversas espécies vegetais como cafeeiro, eucalipto, citrus, milho, tomateiro, entre outros.

3.2 EFEITOS NUTRICIONAIS PROPORCIONADOS PELOS FMA

A associação micorrízica aumenta mais de cem vezes à área de exploração do solo contribuindo de maneira significativa para o incremento da absorção de nutrientes e água. Os efeitos benéficos são mais acentuados para aqueles nutrientes que possuem baixa mobilidade no solo como P, Zn e Cu para a maioria das plantas. Plantas micorrizadas geralmente apresentam teores mais elevados desses nutrientes, principalmente na maioria dos solos tropicais, sendo o P o principal elemento estudado (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Entretanto, devido a capacidade de plantas micorrizadas absorver maior quantidade de nutrientes, também podem acumular maiores quantidades de vários macro e micronutrientes. Os mesmos autores relatam que os resultados da inoculação de diferentes FMA em diferentes espécies vegetais variam muito para as diferentes combinações fungo-planta e condições de P disponível, e que populações de fungos mais eficientes podem duplicar os teores de P na planta. Algumas espécies vegetais como cafeeiro, eucalipto, citrus, milho, tomateiro, entre outras, apresentaram maior crescimento e algumas melhoram a nutrição com a inoculação de FMA.

Segundo Cardoso; Navarro e Nogueira (2003), a associação micorrízica eficiente diminuiu o teor de manganês na parte aérea da soja cultivada

sob excesso de Mn por proporcionar maior conteúdo de Mn nas raízes. A toxidez de Mn pode ser atenuada, em algumas situações, pela micorrização das plantas

3.3 EFEITOS NÃO NUTRICIONAIS PROPORCIONADOS PELOS FMA

Um dos principais efeitos não nutricionais dos fungos micorrízicos arbusculares sobre o hospedeiro incluem o favorecimento da relação água-planta. A colonização aumenta a resistência das plantas à seca o que é geralmente atribuído à melhoria do estado nutricional. A colonização ainda pode favorecer a relação água-planta com a alteração na elasticidade das folhas, potencial de água e turgor das folhas mais elevadas, maior taxa de transpiração e abertura dos estômatos das folhas e alteração nas raízes em comprimento e profundidade, bem como suas características de absorção (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Plantas micorrizadas exibem também alterações metabólicas e fisiológicas diversas, como as auxinas, citocininas, giberelinas, vitaminas e compostos orgânicos bioativos que se apresentam em maior quantidade. Logicamente a maioria das alterações fisiológicas provavelmente são resultados dos benefícios nutricionais, mas as alterações nas substâncias reguladoras do crescimento podem também ser controladas diretamente pela simbiose, considerando-as necessárias para o funcionamento (fluxo dos metabólitos) da associação. Segundo Moreira e Siqueira (2006) os fungos micorrízicos arbusculares podem causar alterações no metabolismo das plantas como:

- a) aumentar o número de várias organelas celulares;
- b) aumentar a atividade de diversas enzimas;
- c) aumento da abertura dos estômatos;
- d) aumentar a taxa de respiração e absorção de CO₂ (até 20%), favorecendo a fotossíntese;
- e) aumentar e alterar a exsudação radicular;
- f) reduzir o conteúdo de amido (até 50%);
- g) estreitar a relação C:P e N:P;
- h) alterar a composição de aminoácidos.

3.4 PRÁTICAS AGRÍCOLAS QUE INTERFEREM NO NÚMERO DE PROPÁGULOS DE FMA

O manejo do agrossistema pelo uso de práticas conservacionistas, tais como cobertura verde e rotação de culturas, pode ajudar a recompor o equilíbrio da comunidade microbiana, restabelecendo uma população de FMA diversificada com potencial de inóculo elevado, resultando em maior produtividade associada a qualidade e sustentabilidade (COLLOZZI FILHO; BALOTA, 1997)

Miranda et al. (2001) afirmaram que o manejo da micorriza arbuscular na agricultura, especialmente em solos ácidos e de baixa fertilidade como os de cerrado, é uma alternativa complementar para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes fosfatados por plantas de interesse agrônomo, florestal, hortícola e pastoril. Para esses autores é importante que a prática de rotação de culturas seja executada adequadamente para beneficiar a atividade da simbiose micorrízica, especialmente com população nativa deficiente em quantidade (número de esporos) e qualidade (número de espécies). As culturas anuais (soja, feijão, milho) e de adubação verdes (mucuna, crotalaria, feijão-de-porco, guandu, girassol, milheto, mamona) apresentam elevado grau de dependência micorrízica. Quando utilizadas em sistema de rotação, essas plantas aumentam a população dos fungos micorrízicos arbusculares nativos no solo e podem beneficiar os cultivos subsequentes.

A cultura do arroz e o nabo forrageiro, apresentam baixa ou nenhuma dependência micorrízica, respectivamente. Portanto, a inclusão dessas culturas no sistema de rotação pode causar redução no potencial de inóculo do solo e na formação desenvolvimento da eficiência da micorriza, afetando negativamente a produção das culturas subsequentes. Então, recomendam-se evitar o uso contínuo de culturas pouco dependentes ou não dependentes da micorriza no sistema de produção, intercalando-as com outras mais dependentes. Além disso, deve-se levar em conta outros aspectos que interferem na simbiose como: o método de preparo de solo, as fontes e níveis de corretivos e fertilizantes e o tipo, dosagem e método de aplicação dos agroquímicos.

3.5 INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ESPÉCIES VEGETAIS

A grande maioria dos estudos de inoculação de FMA têm evidenciado o potencial da tecnologia principalmente na fase de produção de mudas de plantas. Isto é muito interessante e promissor devido ao fato de existir o requerimento legal da utilização de substrato estéril na produção comercial de mudas. A utilização deste substrato isento de patógenos, portanto desprovido da microbiota do solo, exige a adição de maiores quantidades nutrientes do que quando na presença da microbiota do solo.

Por isso várias espécies arbóreas frutíferas e de interesse florestal, com elevada dependência micorrízica, quando plantadas em substratos comerciais não inoculados ou em solos fumigados, apresentam crescimento reduzido, acompanhado de sintomas de deficiências de P, Zn e Cu (GILMORE, 1971; KLEINSCHMIDT; GERDEMANN, 1972; MARTIN et al., 1973 apud SILVA; SIQUEIRA, 1991). Segundo esses autores, esses sintomas poderiam ser minimizados por adição de fertilizantes ou inoculações com FMA.

A inoculação de FMA na produção de mudas pode vir a ser uma tecnologia com potencial de aplicação prática na agricultura, como indicam os resultados de crescimento de mandioca (SIEVERDING, 1991; BALOTA, et al., 1997), arbóreas tropicais (CARNEIRO et al., 1996), cafeeiro (COLOZZI-FILHO; SIQUEIRA, 1986), porta-enxertos de citros em condições de viveiro (CARDOSO et al., 1986), maracujá (COLOZZI-FILHO; CARVALHO, 1993), acerola (KANASHIRO et al., 1996) e da pré-inoculação sobre a produção a campo de café (SIQUEIRA et al., 1993). Balota et al. (1997) concluíram, em trabalho de inoculação de FMA em mudas micropropagadas de mandioca (espécie da mesma família da mamona) desenvolvidas em casa de vegetação, que a cultura tem um alto grau de dependência à fungos micorrízicos. Entretanto, os efeitos benéficos das micorrizas não se restringem apenas ao desenvolvimento das plantas, como observadas em mudas de cafeeiro micorrizadas que apresentaram incremento de 52% na produção de café beneficiado nas cinco primeiras produções em quatro localidades (SAGGIN JUNIOR; SIQUEIRA, 1996).

Muitos outros estudos, conduzidos em viveiro, têm demonstrado a eficiência da inoculação de FMA no crescimento de mudas de manga, acerola,

pequi, buriti e outras (MIRANDA; MIRANDA, 2000). Entretanto, não existem na literatura relatos de estudos do efeito dos FMA na cultura da mamona. A única referência da observação de micorrizas na cultura, segundo Miranda et al. (2001) é de que a mamona apresenta elevada colonização radicular natural, inferindo que isto poderia ser um indicativo da dependência micorrízica da cultura.

É importante que para cada planta hospedeira sejam testados diferentes isolados de FMA, pois muitos desses fungos possuem certa preferência associativa (SIEVERDING, 1991). Com a inoculação de vários isolados é possível selecionar espécies potenciais no efetivo auxílio do crescimento de plantas em diferentes ambientes de solo, como observado por Rocha et al. (2006), em que inocularam quatro espécies de FMA e aplicaram diferentes doses de fósforo na formação de mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), chegando à conclusão que a espécie *Gomus clarum* foi a mais eficiente em promover o crescimento e nutrição fosfatada do cedro. Ainda concluiu que a economia na fertilização fosfatada de mudas de cedro promovida por *Glomus clarum* foi de 37% em relação às demais espécies inoculadas, e de 63% em relação à testemunha sem inoculação.

Existe a restrição da produção de inóculos em condições axênicas em grande quantidade, por ser um simbiote obrigatório multiplica-se apenas em plantas vivas. Entretanto, é possível produzir inóculo para uso em viveiro e em pequena escala na propriedade. Para produção de inoculante em viveiro, deve-se selecionar as espécies de esporos de FMA que deseja multiplicar, extraídas do solo através de peneiramento úmido, e inocular em solo estéril acondicionado em vasos. A planta multiplicadora deve ter algumas características, como ser um bom hospedeiro para o endófito se multiplicar, apresentar crescimento rápido e uma abundante produção de raízes, e não possuir patógenos comuns à cultura na qual o inóculo será utilizado (MENGE, 1984). Esse autor sugere a utilização de solos arenosos de baixa fertilidade natural para a produção de inóculo de FMA, que pode ser misturado com outros tipos de substratos, como vermiculita, perlita, turfa e casca de árvore. Durante o processo de multiplicação dos FMA em vaso, que geralmente é em torno de 3 a 4 meses, pode-se aplicar nutrientes no solo, mantendo níveis baixo de P e micronutrientes.

A produção de inoculantes por pequenos agricultores, que ocupam solos ácidos e distróficos e não utilizam insumos, pode ser viabilizada, segundo Sieverding e Saif (1984). Nesse caso o inóculo é produzido no local de utilização,

evitando o transporte oneroso de maiores quantidades de inóculo. Esses autores verificaram que a utilização dessa tecnologia proporcionou lucro de 50% maior para os agricultores na cultura da mandioca. Os passos para a produção de inoculante na propriedade seria:

- 1 – Escolha da área (canteiros com aproximadamente 25m²).
- 2 – Aplicação de esterilizante no solo.
- 3 – Após duas ou três semanas, incorporação do inóculo no solo (2,5 Kg).
- 4 – Cultivo da planta hospedeira por 4 a 6 meses.
- 5 – Colheita e renovação da terra, retirando-se a camada do solo da rizosfera da planta hospedeira.
- 6 – Homogeneização do inoculante (solo+esporos+propágulos com raízes colonizadas de FMA)
- 7 – Utilização como inoculante.

Inoculantes para serem utilizados em pequena escala também estão disponíveis no mercado, porém ainda restritos, como o GLOMYGEL[®] (CANO; BAGO, 2008). Com entendimento que no futuro próximo serão lançados novos inoculantes comerciais de FMA, e buscando regulamentar e garantir a qualidade de inoculantes no Brasil, Colozzi Filho (2007) propôs um protocolo para análise da qualidade e da eficiência agrônômica de inoculante contendo fungos micorrízicos arbusculares, que foi aprovado na RELARE de 2007.

REFERÊNCIAS

- AVELAR, R. C. et al. Produção de mudas de mamona (*Ricinus communis* L) em tubetes de diferentes tamanhos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande, PB, **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROM.
- AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 223-253.
- AZEVEDO, D. M. P. et al. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Nordeste do Brasil**. Campina Grande: Embrapa-CNPA. 1997. (EMBRAPA-CNPA. Circular técnica, 25).
- AZEVEDO, D. M. P. et al. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. (Ed.) **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 121-160.
- BALOTA, E. L. et al. Inoculação de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 6, p. 627-639, 1997.
- BANZATO, N. V.; ROCHA, J. L. V. Genética e melhoramento da mamoneira. In: KERR, W. E. **Melhoramento e genética**. São Paulo: Melhoramentos, 1969. p. 102-113.
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. Fisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 140-150.
- BELTRÃO, N. E. M. et al. Clima e solo: In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 73-93.
- BELTRÃO, N. E. M. et al. **O cultivo sustentável da mamona no Semi-Árido Brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. (Cartilha, 1)

BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, L. C.; MELO, F. B. **Cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) consorciada com feijão caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] para o Semi-Árido nordestino, em especial do Piauí.** Campina Grande: Embrapa CNPA, 2002. (Embrapa CNPA. Documentos, 97).

BELTRÃO, N. E. M. et al. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. (ed.) **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 37-61.

BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances on Ecological Research**, London, v. 21, n. 2, p. 171-313, 1991.

CANO, C.; BAGO, A. Micorrizas *in vitro*: la nueva "Revolución Verde". In: FERTBIO 2008, Londrina, 2008, **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. CD-ROM.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em porta enxerto de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 25-30, 1986.

CARDOSO, E. J. B. N.; LAMBAIS, M. R. Aplicações práticas de micorrizas vesículo-arbusculares (MVA). In: CARDOSO, J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (ed). **Microbiologia do Solo.** Campinas: SBCS, 1992. p. 283-296.

CARDOSO, E. J. B. N.; NAVARRO, R. B.; NOGUEIRA, M. A. Absorção e translocação de manganês por plantas de soja micorrizadas, sob doses crescentes deste nutriente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 415-423, 2003.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Fungo micorrízico e superfostato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 50, p. 21-36, dez. 1996.

CARVALHO, B. C. L. **Manual do cultivo da mamona.** Salvador: EBDA, 2005.

CAVIGLIONE, J. H. et al. Zoneamento da mamona (*Ricinus communis* L.) no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador, **Anais...** Salvador: SEAGRI/Embrapa Algodão, 2008. CD-ROM.

COLOZZI FILHO, A. Protocolo para análise da qualidade e da eficiência agrônômica de inoculantes contendo fungos micorrízicos arbusculares. In: REUNIÃO DA REDE DE LABORATÓRIOS PARA RECOMENDAÇÃO, PADRINIZAÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA DE INOCULANTES MICROBIANOS DE INTERESSE AGRÍCOLA – RELARE, Londrina, 2007, **Anais...** Londrina: Embrapa – Soja, 2007. p. 182-203. (EMBRAPA-SOJA , Documentos 290).

COLOZZI-FILHO, A., BALOTA, E. L. Micorrizas arbusculares: práticas agrônômicas e manejo de fungos nativos em sistemas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

COLOZZI-FILHO, A.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. I. Efeito de *Gigaspora margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas., v. 10, p. 199-205, 1986.

COLOZZI-FILHO, A; CARVALHO, S.L.C. Efeito de micorrizas arbusculares na produção do maracujazeiro a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia, **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. CD-ROM.

DRUMOND, M. A.; ANJOS, J. B.; MORGADO, L. B. Sistema de plantio e produtividade da mamoneira em áreas de sequeiro no município de Casa Nova-BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracajú, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD-ROM.

EVANGELISTA, A. R. et al. **Avaliação da composição química de folhas de mamona** (*Ricinus communis* L.). Disponível em: <www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/agricultura/AvaliacaoComposi%E7%E3o10.pdf>. Acesso em: 5 set. 2008.

FERREIRA, G. B. et al. Deficiência de fósforo e potássio na mamoneira (*Ricinus communis*): Descrição do efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROM.

FONSECA JUNIOR, N. S. Mamona (*Ricinus communis*): seleção de genótipos. In: IAPAR. **Estudos para produção de biodiesel no iapar**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/File/folhetos/biodiesel/mamona.html>>. Acesso em: 27 nov. 2008.

FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. (ed.) **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 295-335.

FREITAS, S. M. Ricinocultura do século 21: propiciando o desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande-PB, **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROM.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-57.

GRANT, C. A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, p. 1-5, set. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Tabela 99**. 2007.

Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=p&o=22&i=P>>. Acesso em: 20 nov. 2007.

KANASHIRO, M. et al. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes níveis de fósforo em mudas de acerola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 14., 1996, Curitiba, PR. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1996. p. 41

LANGE, A. et al. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 61-67, 2005

LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Substratos e recipientes para a produção de mudas. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 152-167.

LIMA, R. L. S. et al. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciência Agrotécnica**., Lavras, v. 30, n. 3, p. 474-479, 2006.

MACEDO, F. C. O. et al. Produção de mudas de mamoneira (*Ricinus comunnis* L.) a partir de estimulação de estacas pelo ácido 3- Indolacético (AIA) e pelo ácido Indol Butírico (AIB). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracajú, SE. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. CD-ROM.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral. In: FERRI, M. G. (ed.). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU, 1985. p. 97-114.

MENGE, J. A. Inoculum production. In: POWELL, C. L. BAGYARAJ, D. J. **VA Mycorrhiza**. Boca Raton: CRC Press, 1984. p. 187-203.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Introdução da tecnologia de inoculação com fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas em viveiro**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 2000. (Comunicado Técnico, 24).

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Produção de mudas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em viveiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. (Recomendação Técnica, 24).

MIRANDA, J. C. C. et al. **Manejo da micorriza arbuscular por meio da rotação de culturas nos sistemas agrícolas do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. (Comunicado Técnico, 42).

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, Ed. UFLA, 2006.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição Mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (ed.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo na planta. In: NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV. DPS, 1999. p. 255-270.

OLIVEIRA, D. et al. **Participação do IAPAR no Programa Paranaense de Bioenergia**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/arquivos/File/biodiesel/bio1.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2008.

OLIVEIRA, N. S. **Variabilidade Genética em populações de *Ricinus communis* (Euphorbiaceae pela metodologia de DAF (DNA AMPLIFICATION FINGERPRINTING))**. 2004. Dissertação (Mestrado em Genética) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

PACHECO, D. D. et al. Produção e disponibilidade de nutrientes para mamoneira (*Ricinus communis*) adubada com NPK. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 153-160, 2008.

PIRES, M. M et al. Biodiesel de Mamona: uma avaliação econômica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROM.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991.

ROCHA, F. S. et al. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira.**, Brasília, v. 41, n.1, p. 77-84, 2006.

SAGGIN JÚNIOR, O. J. SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O. **Avanços em fundamentos e aplicações de micorrizas**, Lavras: UFLA, 1996. p. 203-254

SANTOS, R. F. et al. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 21-41.

SAVY FILHO, A. **Mamona: tecnologia agrícola**. Campinas: Emopi, 2005.

SCANNERINI, S.; BONFANTE-FASOLO, P. Comparative ultrastructural analysis of mycorrhizal associations. **Canadian Journal of Botany**, Guelph, n. 61, p. 917-943, 1983.

SEVERINO, L. S. **O que sabemos sobre a torta de mamona**. Campina Grande: Embrapa - CNPA, 2005. (Documentos 134).

SEVERINO, L. S. et al. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira.**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 879-882, 2006a.

SEVERINO, L. S. et al. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 563-568, 2006b.

SEVERINO, L. S. et al. Crescimento e teor de macronutrientes em mudas de mamoneira cultivadas em cinco substratos orgânicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 120-125, 2008.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems.** Eschborn: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, 1991.

SIEVERDING, E.; SAIF, S. R. **VA mycorrhiza management: a new, low cost, biological technology for crop and pasture production on infertile soils.** Palmira: CIAT, 1984. (CIAT Annual Review, Série Discussion paper).

SILVA, L. F. C.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teores de nutrientes de mudas de abacateiro, mangueira e mamoeiro sob influência de diferentes espécies de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas., v. 15, n. 3, p. 283-88. 1991.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (ed). **Microbiologia do solo.** Campinas: SBPC, 1992. p. 257-282.

SIQUEIRA, J. O., ZAMBOLIM, L. **Importância e potencial das associações micorrízicas para a Agricultura.** Belo Horizonte: EPAMIG, 1985. (Documentos, 26).

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, p. 207-211, 1986.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas.** Lavras: Esal/Faepe, 1988.

SIQUEIRA, J. O. et al. Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência de fungos micorrízicos e superfosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 53-60, 1993.

VIEIRA, R. M.; LIMA, E. F. **Importância sócio-econômica e melhoramento genético da mamoneira no Brasil**. Disponível em:
<www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/mamona.pdf> Acesso em: 01 set. 2008.

WEISS, E. A. **Oil seed crops**. London: Longman, 1983.

4 ARTIGO: RESPOSTA DA MAMONEIRA A FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E A DOSES DE FÓSFORO

4.1 RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a resposta da mamoneira inoculada com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e diferentes níveis de fósforo (P) no solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, Londrina-PR, com a utilização de solo arenoso (LVd) autoclavado como substrato em vasos com capacidade de 4 kg. Os tratamentos foram instalados num esquema fatorial, casualizados. Os tratamentos de fungos micorrízicos foram: Controle, *Gigaspora margarita* *Glomus clarum*, e uma mistura de espécies e cinco níveis de P (0, 20, 40, 80, 160 mg P kg solo⁻¹), com quatro repetições. Foi utilizada a cultivar Íris. Foram avaliados: altura, massa seca de plantas, taxa fotossintética líquida, teor de clorofila, micorrização e teores de nutrientes na parte aérea. Houve efeito significativo da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares na altura, massa seca e no teor de P na parte aérea. A espécie *Gigaspora margarita* foi eficiente para aumentar a taxa fotossintética líquida e o teor de clorofila no tratamento sem adição de P. A adição de doses de P influenciou significativamente a produção de matéria seca e os teores de P no tecido, porém diminuiu a colonização radicular e o número de esporos de FMA. A mamoneira mostrou-se dependente de FMA no solo com baixo nível de P.

Palavras-chave: Nutrição. Mamona. Micorrizas. Dependência micorrízica.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the response of castor bean inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and different levels of P in the soil. The experiment was carried out in a greenhouse, in Londrina-PR, using disinfected sandy soil (LVd) like substrate. The treatments were installed in a randomized factorial design, in vases with capacity of 4Kg, which received Iris castor beans seeds. The treatments with mycorrhizal fungi were: control, *Gigaspora margarita* *Glomus clarum*, and the mix of the species, and five levels of P (0, 20, 40, 80, 160 mg P kg soil⁻¹), with four replicates. The evaluations accomplished were: height, dry mass weight, and content of P in the plants shoot, net photosynthesis rate, chlorophyll content, mycorrhization and quantity of nutrients in the plant shoot. There was a significant effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on height, dry mass and in the content of P in the plant shoot. The specie *Gigaspora margarita* was efficient to increase photosynthesis and chlorophyll in the treatment without P addition. The addition of levels of P influenced, significantly, the production of dry mass and content of P in the tissue of the plant, however decreased root colonization and number of AMF spores. Castor bean showed dependence of AMF in soil with low levels of P.

Keyword: Nutrition. Castor bean. Mycorrhiza. Mycorrhizal dependency.

4.2 INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) pertence ao gênero *Ricinus* e a família Euphorbiaceae, que engloba cerca de 300 gêneros e 800 espécies, distribuídas principalmente nas regiões tropicais e subtropicais do mundo.

É uma planta de grande utilidade para a humanidade, por produzir um óleo singular na natureza, o único que é solúvel em álcool. Este óleo e seus derivados apresentam centenas de aplicações industriais, desde a indústria química, farmacêutica, alimentícia, e na medicina utilizado na fabricação de prótese (SANTOS et al., 2007). O uso desse óleo devidamente processado como lubrificante, pelas características exclusivas de queimar sem deixar resíduos e de suportar altas temperaturas sem perder a viscosidade, é considerado o óleo ideal para motores de alta rotação, sendo usado em foguetes espaciais e nos sistemas de freios dos automóveis (COELHO, 1979 apud SANTOS et al., 2007).

Além da utilização em vários segmentos da indústria, o óleo de mamona tem o potencial para gerar energia e ter um papel importante no Programa Nacional de Biodiesel, que almeja aumentar a inclusão social, e reduzir tanto as importações brasileiras de diesel, quanto a queima de combustíveis fósseis.

Segundo Azevedo et al. (2001) a cultura da mamona no Brasil é típica de pequena propriedade sendo cultivada sob baixo a médio nível tecnológico, com pouco ou nenhum uso de adubos e corretivos. É considerada uma planta de fácil cultivo, resistente a relativa escassez de água, por isso é adaptada às mais variadas condições edafoclimáticas. Por outro lado a mamoneira é sensível à acidez do solo e exigente em nutrientes.

O fósforo é um dos principais nutrientes para a cultura da mamona, pois participa de importantes reações químicas da fisiologia da planta, com destaque para os processos ligados ao fluxo de energia, compondo a molécula de ATP e outras moléculas de grande importância, e entre os produtos comumente armazenados em sementes (óleos, proteínas e carboidratos). Os ácidos graxos componentes dos óleos são os que mais exigem gastos de ATP por grama de produto armazenado (BELTRÃO et al., 2001). Segundo Ferreira et al. (2004), níveis insatisfatórios de P e K retardam o crescimento inicial da mamoneira e provocam redução considerável na produtividade.

O desenvolvimento inicial da parte aérea da mamoneira é muito lento no primeiro mês após o plantio, assim a produção de mudas, pode ser uma tecnologia alternativa para o plantio de mamona em locais com pouca disponibilidade hídrica, porém é uma técnica ainda em estudo (LIMA; BELTRÃO, 2007). Esses autores informaram que mudas que apresentam adiantado estado de desenvolvimento, no início das chuvas, determina grande vantagem para a cultura pois permite que ela tenha um bom e rápido estabelecimento no campo, com grandes vantagens competitivas sobre as plantas daninhas, e aproveitando melhor o período em que há umidade disponível no solo.

Severino et al. (2008) informaram que não foram encontradas referências na literatura sobre o teor de nutrientes no tecido foliar de mudas de mamoneira. Assim há carência de informações sobre o comportamento da cultura às diferentes condições, como cultivares mais adaptadas e produtivas, níveis de fertilidade no solo, clima e disponibilidade de água no solo (SEVERINO et al., 2006), bem como o efeito da microbiota do solo, como por exemplo os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e o desenvolvimento das plantas de mamoneira.

Neste contexto, são imprescindíveis estudos que evidenciem o comportamento da cultura em diferentes níveis de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares. Estes FMA associam-se com as raízes das plantas, formando uma simbiose mutualística, caracterizada pelo benefício a ambos os organismos. A associação é caracterizada pela formação de estruturas fúngicas (hifas, vesículas e arbúsculos) na região do córtex das raízes e grande quantidade de hifas extraradiculares, que funcionam como extensões do sistema radicular. Isto proporciona, funcionalmente, aumento do sistema radicular, abrangendo maior área de exploração radicular, como consequência maior desenvolvimento das plantas, pela maior absorção de nutrientes e água.

A inoculação de FMA, na produção de mudas, pode vir a ser uma tecnologia com potencial de aplicação prática na agricultura, como indicam os estudos de desenvolvimento de mudas inoculadas com FMA, como a mandioca (SIEVERDING, 1991), espécies arbóreas florestais (CARNEIRO et al., 1996), mudas de cafeeiro (COLOZZI-FILHO; SIQUEIRA, 1986), porta-enxertos de citros em condições de viveiro (CARDOSO et al., 1986), maracujá (COLOZZI-FILHO; CARVALHO, 1993) e da pré-inoculação sobre a produção a campo de café (SIQUEIRA et al., 1993). Balota et al. (1997) estudaram o efeito de FMA e de

bactérias diazotróficas na cultura da mandioca, espécie da mesma família da mamoneira, confirmaram a alta dependência da cultura aos FMA. Assim mudas micorrizadas têm melhor desenvolvimento, maior índice de sobrevivência a campo, maior resistência aos estresses hídricos e melhor absorção de nutrientes, principalmente o fósforo.

O nível de fósforo disponível no solo que proporciona maior resposta da planta aos fungos micorrízicos arbusculares é variável, entre as espécies, e mesmo entre plantas próximas geneticamente, pode haver diferenças (CLEMENT; HABTE, 1995). A carência do fósforo em solos tropicais tem-se constituído em fator limitante para a maioria das culturas. Segundo Raij (1991), o fósforo é um dos macronutrientes exigido em menor quantidade pelas plantas, porém trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Esta situação pode ser explicada pela carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros e, também, porque o elemento tem forte interação com o solo, sofrendo forte fixação. Para Malavolta (1989), as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do fósforo total aplicado, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em ferro e alumínio, ocorre a fixação deste elemento, além de ser um nutriente de baixa mobilidade.

Plantas que formam associação eficiente com os FMA podem depender de menores quantidades de fertilizantes.

O objetivo no presente estudo foi o de avaliar a resposta da mamoneira inoculada com fungos micorrízicos arbusculares em diferentes níveis de fósforo (P) no solo.

4.3 Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação da Estação Experimental do IAPAR, em Londrina-PR, no período de setembro a dezembro de 2007. O solo utilizado como substrato foi um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), que apresentava as seguintes características: pH em $\text{CaCl}_2 = 4,1$; P em Mehlich = $2,3 \text{ mg dm}^{-3}$; Ca; Mg e Al em KCl, e K em Mehlich igual a $0,67$; $0,45$; $1,08$; $0,10 \text{ cmolcdm}^{-3}$ de solo respectivamente; e $10,43 \text{ g C dm}^{-3}$ de solo. Foi adicionado calcário no solo para obter $V=70\%$, que ficou reagindo durante 90 dias. O substrato foi autoclavado, ficando em repouso durante 60 dias. Após esse período, foi

aconditionado em vasos com capacidade para 4,0 kg, e recebeu aplicação de P na forma de superfosfato triplo moído para melhor homogeneização no solo e ficando incubado durante 20 dias.

O experimento foi constituído por um fatorial A x B, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, sendo o fator A representado pela inoculação de fungos micorrízicos (controle, sem fungo; *Gigaspora margarita* (BECKER; HALL); *Glomus clarum* (NICOLSON; SCHENCK) e uma mistura de fungos dos gêneros *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Glomus* e *Acaulospora*) e o fator B pelos níveis de P (0, 20, 40, 80 e 160 mg P kg solo⁻¹). Posteriormente os tratamentos serão designados como P0, P20, P40, P80 e P160. O solo sem adição de P, ou nível 0 representa a fertilidade natural do solo. Realizou-se a inoculação dos fungos micorrízicos no momento da semeadura, colocando-se 120 esporos em cada vaso, 5 cm abaixo das sementes. Os esporos foram obtidos da Coleção de Espécies de FMA mantida no Instituto Agronômico do Paraná-IAPAR, em vasos com solo desinfestado e cultivados com *Brachiraria decumbens*, sendo extraídos por peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) centrifugados em sacarose (JENKINS, 1964) e separados com auxílio de microscópio estereoscópico.

Cada vaso recebeu três sementes de mamona do híbrido comercial Íris, que apresenta as seguintes características: porte baixo, precocidade, não-deiscência e adequação à colheita mecânica. Aos dez dias após a emergência foi desbastado, deixando apenas uma planta por vaso. Foi realizada aplicação de solução nutritiva no início, aos 20 dias e aos 40 dias, contendo potássio 0,13 g de KCl, 12,5 mg de H₃BO₃ e 12,5 mg de ZnSO₄.7H₂O para cada vaso. A adubação nitrogenada foi adicionada no início, aos 20 e aos 40 dias após o plantio, contendo 0,15 g de (NH₄)₂SO₄) para cada vaso.

Aos 40 dias no período da manhã e aos 60 dias no período da manhã (entre 9 e 10:30h) e tarde (entre 14 e 15:30h) após o plantio (DAP), quando as plantas apresentavam aproximadamente oito folhas, foi determinada a taxa fotossintética líquida de uma folha totalmente expandida de plantas dos tratamentos 0, 40 e 80 mg kg⁻¹ P, sem e com a inoculação de *Gigaspora margarita*. As plantas foram colocadas fora da casa de vegetação, a pleno sol e avaliadas por meio de aparelho portátil de fotossíntese (LI-COR, modelo LI-6200). Aos 40 DAP no período da tarde não foi possível fazer a avaliação, devido a alta nebulosidade.

Ao final do experimento (65 DAP) foram avaliados os seguintes parâmetros: Altura de plantas, teor de clorofila, massa seca da parte aérea, colonização radicular por FMA, números de esporos de FMA, dependência micorrízica e os teores de N, P, Ca, Mg, Zn, B, Cu e Mn na parte aérea das plantas. A dependência micorrízica relativa foi realizada através de cálculo: $DMR = \frac{\text{(matéria seca de planta micorrizada)} - \text{(matéria seca de planta não micorrizada)}}{\text{matéria seca de planta micorrizada}} \times 100$ (PLENCHETTE et al., 1983). Os teores de nutrientes da parte aérea foram analisados conforme descrito em Miyazawa et al. (1992)

Para se avaliar o teor de clorofila no tecido foliar, foram cortados três discos de 1 cm de diâmetro, de uma folha destacada da mamoneira, um foi utilizado na determinação da massa seca e outros dois foram colocados num frasco com acetona para ser determinado o teor de clorofila. Estes discos foram retirados de uma região longe da nervura central, macerados em um cadinho com 1 mL de acetona 80%. Posteriormente, foi adicionado mais 1 mL de acetona e macerado até ficar somente o extrato, pipetou-se então mais 2 mL de acetona para lavar o cadinho, vertendo o extrato em tubos de plástico de 5 mL. Estes tubos foram nivelados e centrifugados por 10 minutos à 5000 rpm. Após a centrifugação foi realizada a leitura no espectrofotômetro em dois comprimentos de onda (645 e 663 nm) para clorofila a e b, obtendo-se o teor (mg g tecido foliar⁻¹) de clorofila total (ARNON, 1949).

A colonização micorrízica foi avaliada, após clarificação e coloração de 1 g de raiz (PHILLIPS; HAYMAN, 1970), com a observação das raízes em microscópio estereoscópio (40x). A observação das estruturas micorrízicas, pelo método da placa quadriculada (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980).

A densidade de esporos foi avaliada após extração por peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), seguido de centrifugação em sacarose 50% (JENKINS, 1964) e pela separação e contagem em microscópio estereoscópio (40 x). Os resultados de altura e colonização radicular foram submetidos à análise de regressão polinomial. Para realização das análises estatísticas, os dados de percentagem de colonização foram transformados para $\text{ARCSEN}\sqrt{x/100}$, os de densidade de esporos, para $\log(x + 1)$, e juntamente com os demais resultados foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias foi realizada com o teste de Tukey a 5% de significância.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre as inoculações de FMA e diferentes níveis de P para as variáveis analisadas. De modo geral a inoculação de FMA proporcionou aumentos significativos no desenvolvimento vegetativo da mamona nos tratamentos com menores teores de P no solo. Os FMA proporcionaram aumento na altura em média de 43% no solo sem adição de P e de 8% no nível P20 (Figura 4.1), comparado com o controle.

Foi observado efeito polinomial quadrático na altura das plantas em relação à adição de níveis crescentes de P (Figura 4.1). Pelas equações de regressão da figura 4.1 a maior altura foi obtida em plantas inoculadas com *G. margarita* no nível P115,8. Na maioria dos casos, a micorriza estimula o crescimento da planta em consequência do seu efeito sobre a nutrição mineral da espécie vegetal, tornando o sistema radicular mais eficiente na absorção de nutrientes que apresentam baixos coeficientes de difusão, principalmente o P (SILVEIRA, 1992). Rocha et al. (2006) observaram o mesmo comportamento para altura de mudas de cedro inoculadas com FMA, porém o desenvolvimento das plantas controles nas diferentes doses de P apresentaram resposta linear após 180 dias de crescimento.

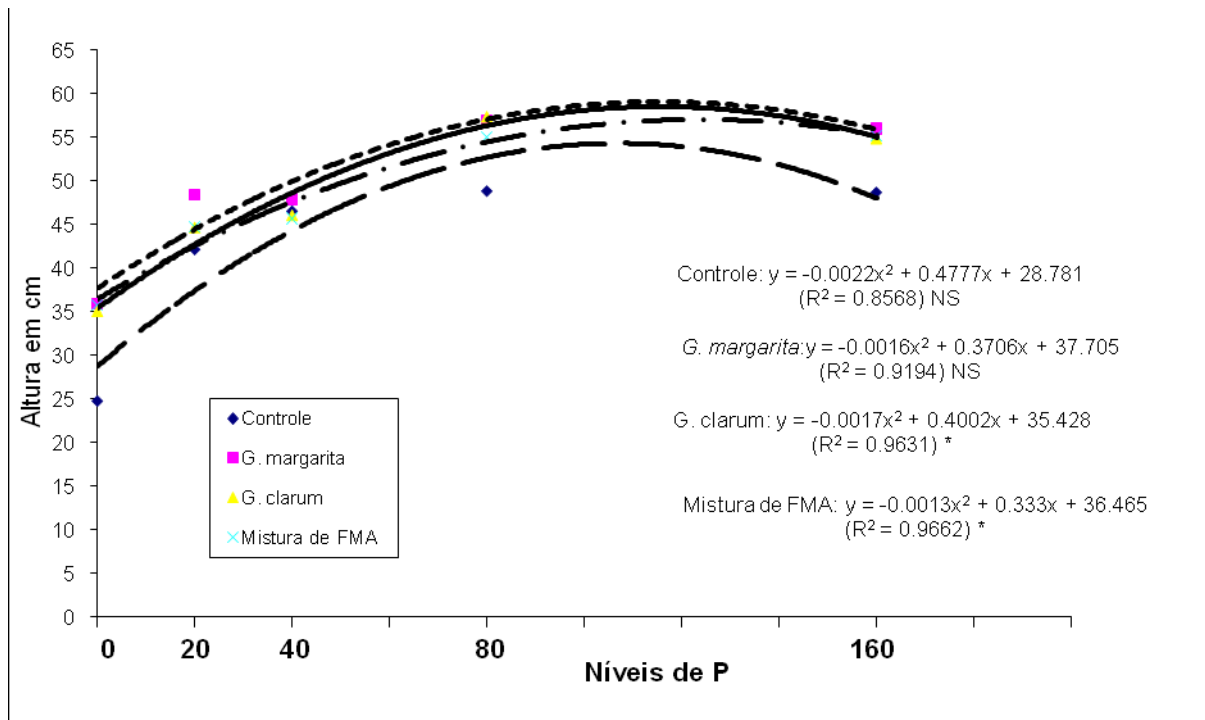


Figura 4.1 – Altura de plantas de mamona aos 65 dias após o plantio, em diferentes doses de P. Média de quatro repetições. (* significativo a 5%; NS = não significativo)

A inoculação de *G. margarita* no nível P0 proporcionou aumento de até 154% da taxa fotossintética, nas avaliações aos 40 DAP de manhã e aos 60 DAP de manhã e a tarde (Tabela 4.1). Nos tratamentos sem micorriza a adição de P proporcionou aumento na taxa fotossintética, enquanto que naqueles micorrizados a adição de P não apresentou efeitos.

Estes resultados evidenciaram o efeito do P, nas taxas fotossintéticas e a contribuição dos FMA inoculados em aumentar a absorção do P pelas plantas, mesmo nos baixos níveis observados no solo, melhorando a eficiência da fotossíntese.

Essa relação P-fotossíntese já havia sido constatada na cultura do girassol, por Rodrigues e Zubillanga (1998) que observaram redução de até 50% na taxa de fotossíntese em folhas novas, no solo deficiente em P. As folhas mais baixas da planta chegaram a uma redução de 85% quando comparadas com as plantas submetidas a condições de alto nível de P.

Com relação aos níveis de P no solo pode ser observado que a adição de P proporcionou aumento da taxa fotossintética. Quando comparada a

adição de P no solo e a inoculação, não há diferença significativa na taxa fotossintética nos níveis crescentes de P (Tabela 4.1).

As taxas de absorção observadas nesse trabalho (2 a 8 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) estão em conformidade com outros estudos feitos anteriormente. Romero et al. (2006) estudando a mamoneira com doses crescentes de chumbo em solução nutritiva, avaliou as taxas de absorção de CO_2 aos 24 dias após à aplicação desse elemento e observaram taxas em torno de 8 a 13 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ nos diversos tratamentos do experimento, bem próximas das encontradas nesse experimento, apesar das diferenças dos objetivos de cada experimento. Segundo D'yakov (1986 apud AZEVEDO et al. 2001), a mamoneira apresenta taxa fotossintética de 18 a 27 $\text{mg de CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, que transformados para $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ também estão próximas das encontradas nesse trabalho.

Tabela 4.1 – Fotossíntese líquida de folhas de mamoneira inoculada com *G. margarita* e com a aplicação de doses de P, avaliada em diferentes épocas. Média de 4 repetições.

	Níveis de P (mg kg^{-1} de solo)		
	0	40	80
	$\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$		
	40 DAP manhã		
Controle	2,27 B b	7,90 A a	6,75 A a
<i>G. margarita</i>	5,56 A a	7,27 A a	6,89 A a
	60 DAP manhã		
Controle	2,10 B b	6,22 A a	5,57 A a
<i>G. margarita</i>	5,34 A a	5,86 A a	5,64 A a
	60 DAP tarde		
Controle	1,84 B b	3,70 A ab	4,14 A a
<i>G. margarita</i>	4,54 A a	4,82 A a	4,32 A a

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem significativamente em cada período pelo teste de Tukey à 5%. %. C. V.=(40DAP = 16; 60DAP manhã = 16; 60DAP tarde = 26 %).

A inoculação de *Gigaspora margarita* no tratamento sem adição de P, proporcionou aumento significativo no teor de clorofila, com valor de 38% superior ao tratamento não inoculado (Tabela 4.2). O teor de clorofila é essencial para a

fotossíntese, podendo ser também proporcional ao teor de nitrogênio foliar, uma vez que o N é constituinte da molécula de clorofila. Então esse maior teor de clorofila encontrado em plantas cultivadas em solo no nível mais baixo de P e inoculadas com *G. margarita*, pode ter sido proporcionado pelo maior teor de N encontrado nessas plantas, apesar destes valores não diferirem.

O efeito da adição de P no solo no aumento do teor de clorofila foi observado em plantas cultivadas sem inoculação de *G. margarita*. Esses resultados de aumento no teor de clorofila no tecido foliar da mamoneira inoculada, cultivada em solo sem adição de P, evidenciam que o FMA proporcionou melhor nutrição fosfatada para a planta, influenciando seu metabolismo e talvez possibilitando melhor aproveitamento de N absorvido planta. Sorato et al. (2004) também observaram que o incremento na dose de N em cobertura proporcionou aumento do teor de clorofila em feijoeiro. Enquanto que Moreira et al. (2008), observaram aumento crescente no teor de clorofila em função das doses de P, ajustando-se a uma curva de regressão com resposta positiva quadrática.

Tabela 4.2 – Teor de clorofila em folhas de mamoneira em diferentes níveis de P inoculadas ou não com *G. margarita* aos 65 dias após o plantio. Média de 4 repetições.

	Níveis de P (mg kg ⁻¹ de solo)		
	0	40	80
	mg clorofila g tecido seco ⁻¹		
Controle	13,68 Bb	17,33 Aa	17,48 Aa
<i>G. margarita</i>	18,95 Aa	16,57 Aa	17,48 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey à 5%. %. C.V. = 11%.

As inoculações dos FMA proporcionaram aumento significativo na massa seca da mamoneira nos tratamentos sem e com a adição de P nas doses de até P20 (Tabela 4.3). A adição de níveis crescentes de P também influenciou positivamente a produção de massa seca da parte aérea (Tabela 4.3). No tratamento sem inoculação e sem adubação fosfatada houve redução drástica no crescimento das plantas, devido às condições de baixos teores de P no solo. Sob condições de deficiência de fósforo, as plantas têm crescimento inicial lento, devido

à redução na absorção de nutrientes, taxa fotossintética e da translocação interna de carboidratos, que se acumulam no cloroplasto (FERREIRA et al., 2004).

A adição de P proporcionou aumentos significativos na quantidade de massa seca. O acréscimo devido à inoculação dos FMA foi de 450%, 775% e 762% para *G. margarita*, *G. clarum* e a mistura de FMA, respectivamente no nível mais baixo de P. Efeitos como estes sob condições de solo estéril, são bem documentados na literatura, porém as respostas podem diferir quanto ao nível ideal de P para se obter maior eficiência dos FMA.

Aguiar et al. (2004) estudando mudas de algaroba inoculadas com FMA e diferentes níveis de P, observaram maior eficiência da inoculação na produção de matéria seca com a adição de 20 mg kg⁻¹ de P no solo, e uma diminuição da eficiência com o aumento do nível de P. Neste estudo houve diferenças entre as espécies utilizadas, sendo que *G. clarum* e a mistura de FMA proporcionaram aumento de 60% na produção de massa seca em relação a *G. margarita* no solo sem adição de P (Tabela 4.3). Este efeito diferencial na planta hospedeira tem sido bastante documentado na literatura (SIEVERDING, 1991). Porém essa tendência não se repetiu com a adição de P.

No nível P20, o aumento na produção de massa seca foi em torno de 40% devido à inoculação dos FMA. Nos demais níveis de P no solo, não houve efeito significativo dos FMA inoculados, exceto no nível P160, inoculado com *G. clarum*, que mesmo em alta dose de P, foi eficiente em aumentar o crescimento das plantas, sendo que essa interação dose de P e *G. clarum* apresentou a maior produção de matéria seca (16,2 g planta⁻¹) (tabela 4.3). Apesar da associação simbiótica de *G. clarum* com a mamoneira promover benefícios no crescimento das plantas, mesmo em altas doses de P, é necessário estudar melhor essa interação fungo x planta x teores de P no solo.

Tabela 4.3 – Massa seca da parte aérea de plantas de mamona, inoculada com espécies de fungos micorrízicos arbusculares e níveis crescentes de P aos 65 DAP. Média de 4 repetições.

	Níveis de P (mg kg ⁻¹)				
	0	20	40	80	160
	g planta ⁻¹				
Controle	0.8 *Bc	8.2 Bb	12.2Aa	14.1Aa	13,0 Ba
<i>G. margarita</i>	4.4A c	11.6A b	13.2A ab	15.4Aa	14.3ABab
<i>G. clarum</i>	7,0A c	11.4A b	13.4A ab	14.5Aa	16.2A a
Mistura de FMA	6.9A c	12.0A b	12.1A b	14.2Aab	15.5ABa

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey à 5%. C.V. = 13%.

Quanto à colonização radicular (Figura 4.2), houve uma variação de 11 a 62 % de acordo com as espécies inoculadas e os níveis de P, sendo as menores taxas encontradas nas plantas cultivadas em solos com maior dose de P adicionada ao solo. Esse decréscimo é considerado normal, devido à inibição do estabelecimento da simbiose quando submetidos a teores elevados desse nutriente, com conseqüente redução da intensidade da colonização (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O modelo de regressão que melhor descreveu o comportamento da colonização radicular por FMA foi o polinomial quadrático. Os FMA geralmente são mais eficientes em promover o desenvolvimento de plantas em níveis menores de P no solo.

Um resultado que chamou a atenção foi o fato que a inoculação com a mistura de FMA proporcionou efeitos similares aos apresentados pela utilização de *G. margarita* e *G. clarum* isoladamente. Muitas vezes a mistura de espécies de FMA proporciona diminuição nas taxas de colonização radicular e nos efeitos às plantas quando comparados aos inóculos puros, pois ocorre uma competição entre as diferentes espécies. Entretanto apesar de não haver diferenças na colonização radicular entre as espécies inoculadas nos solos de menores níveis de P, as espécies *G. clarum* e a mistura de FMA proporcionaram maior desenvolvimento das plantas (Figura 4.2).

Os resultados evidenciaram o mesmo comportamento entre colonização e a esporulação na rizosfera da mamona, houve diminuição do número de esporos com o aumento nos teores de P no solo (Tabela 4.4), como aconteceu

com a colonização. Aguiar et al. (2004) avaliaram a inoculação de FMA em diferentes níveis de P em mudas de algaroba, em solo natural e esterilizado. Eles encontraram duas situações diferentes em relação à esporulação dos FMA. No solo natural, a esporulação não aumentou com os níveis crescentes de P, enquanto que no solo esterilizado a produção de esporos foi baixa, aumentando com a adição de P ao solo. Neste estudo foi observado um maior número de esporos no tratamento inoculado com a espécie *G. clarum* no nível P20, enquanto que a menor densidade ocorreu com *G. margarita* quando foi adicionado P160 no solo.

A grande variação na esporulação foi devido aos níveis de P adicionadas no solo conforme relatos da literatura. Colozzi-Filho e Siqueira (1986) não encontraram esporos de *G. margarita* na rizosfera do cafeeiro cultivado durante cento e dez dias, com adição de 200 mg de $P_2O_5 \text{ kg}^{-1}$ de solo, apesar da alta taxa de colonização radicular promovida por essa espécie de FMA. Porém Balota e Lopes (1996) observaram falta de correlação entre a colonização radicular e a esporulação observada em estudo da flutuação sazonal da população micorrízica em cafeeiro micorrizado cultivado e condições de campo. Neste estudo o tratamento controle não apresentou esporulação das espécies inoculadas, demonstrando que não houve disseminação das parcelas inoculadas para as não inoculadas durante a condução do experimento.

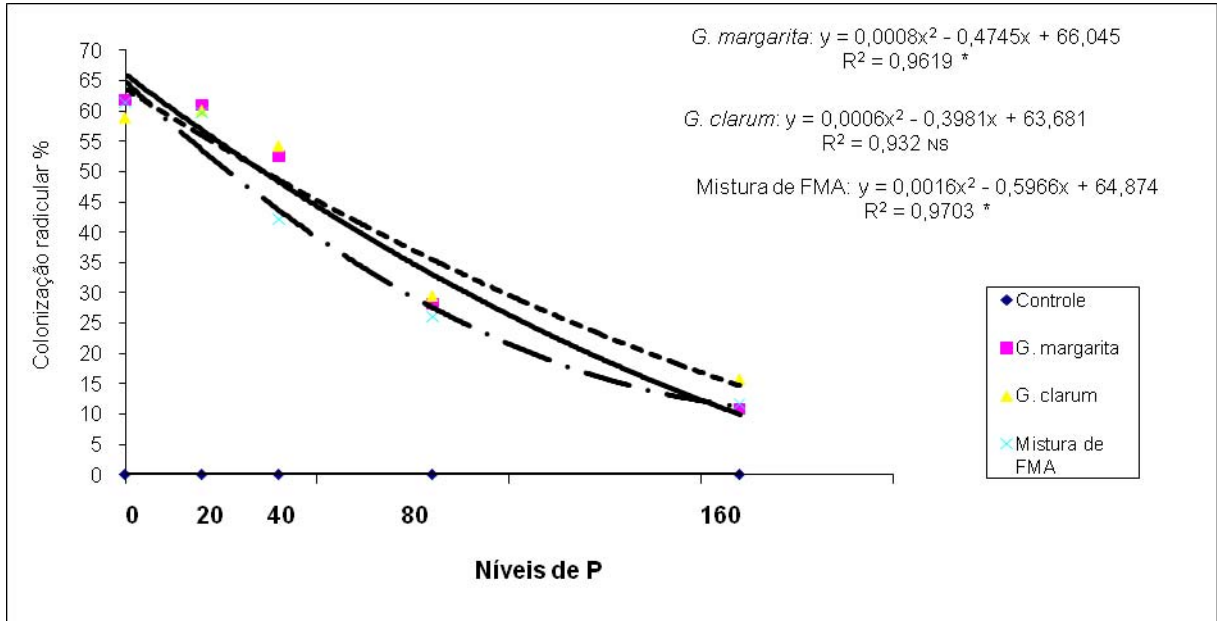


Figura 4.2 – Colonização radicular em plantas de mamona inoculadas por FMA, 65 dias após o plantio. Média de 4 repetições. (* significativo a 5%; NS = não significativo).

Tabela 4.4 – Densidade de esporos na rizosfera da mamona aos 65 dias após o plantio. Média de quatro repetições.

	Níveis de P (mg kg^{-1})				
	0	20	40	80	160
	Número de esporos em 50 mL desolo				
Controle	0 *Ba	0 Ba	0 Ba	0 B a	0 Ba
<i>G. margarita</i>	117 A a	86 A ab	145A a	37 A b	2 AB c
<i>G. clarum</i>	100 A a	147 A a	110A ab	25 A bc	3 AB c
Mistura de FMA	74 A a	45 A ab	69A a	9 AB c	10 A bc

*Letras maiúsculas diferentes na coluna e minúsculas na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey à 5%.

Os FMA proporcionaram aumentos nos teores de P na parte aérea das plantas de mamona cultivadas nos níveis P20 e P40, o que não ocorreu no solo sem adição de P e nas doses P80 e P160. Houve aumento dos teores de P na parte aérea devido ao aumento dos níveis de P no solo, independente da inoculação (Tabela 4.5). O aumento da absorção desse nutriente pela planta inoculada com FMA nos tratamentos P20 e P40, foi atribuído a maior exploração do solo pelas hifas

extra-radicales, como observado também por Melloni e Cardoso (1999) em plantas cítricas.

Não foi observado efeito da inoculação dos FMA nos teores de N, Ca, B, Zn e Mg, exceto no nível P160 onde ocorreu redução do teor de magnésio devido à inoculação. A associação dos FMA com a mamoneira, também proporcionou diminuição nos teores de Mn nas plantas cultivadas no solo sem adição de P (Tabela 4.5). Esse efeito de diminuição nos teores de Mn devido à inoculação de FMA foi observado por Cardoso (1985) na cultura da soja inoculada com *G. margarita* e *Glomus fasciculatum*. Com relação ao Cu, houve diminuição significativa dos seus teores nas plantas cultivadas sem a adição de P e na dose P20.

Tabela 4.5 – Concentração de nutrientes na parte aérea de plantas de mamoneira, inoculadas com diferentes fungos micorrízicos arbusculares e adição de fósforo aos 65 DAP. Média de 4 repetições.

Tratamentos	Níveis de P (mg kg ⁻¹)				
	0	20	40	80	160
	N (g Kg⁻¹)				
Controle	18,0 *A ab	20,3 A a	14,4 A b	13,7 A b	16,2 A ab
<i>G. margarita</i>	19,6 A a	16,1 A ab	13,9 A b	13,5 A b	14,2 A b
<i>G. clarum</i>	21,5 A a	17,3 A b	15,2 A b	15,8 A b	15,6 A b
Mistura de FMA	18,8 A a	16,9 A a	14,6 A a	14,2 A a	17,6 A a
	P (g Kg⁻¹)				
Controle	0,9 A c	0,9 B c	0,8 B c	1,7 A b	2,9 A a
<i>G. margarita</i>	1,2 A ab	1,6 A ab	1,6 A ab	1,7 A ab	2,9 A a
<i>G. clarum</i>	0,9 A c	1,7 A b	1,9 A b	1,7 A b	2,6 A a
Mistura de FMA	1,1 A c	1,7 A b	1,6 A bc	1,8 A b	2,8 A a
	Ca (g Kg⁻¹)				
Controle	11,2 A a	12,6 A a	13,2 A a	10,8 A a	14,8 A a
<i>G. margarita</i>	14,2 A a	11,6 A a	11,5 A a	10,7 A a	11,3 A a
<i>G. clarum</i>	11,9 A a	10,1 A a	10,2 A a	11,0 A a	12,1 A a
Mistura de FMA	12,0 A a	10,5 A ab	10,5 A ab	6,8 A b	11,1 A ab
	Mg (g Kg⁻¹)				
Controle	4,8 A b	4,1 A b	4,2 A b	4,4 A b	6,5 A a
<i>G. margarita</i>	4,9 A a	4,2 A a	4,5 A a	4,5 A a	4,8 B a
<i>G. clarum</i>	4,8 A a	4,4 A a	4,3 A a	4,2 A a	5,2 ABa
Mistura de FMA	4,7 A a	4,6 A ab	4,4 A ab	3,2 A b	5,0 Ba
	B (mg kg⁻¹)				
Controle	44,0 A a	33,2 A ab	34,1 A ab	30,0 A ab	27,8 A b
<i>G. margarita</i>	42,3 A a	29,1 A ab	34,4 A ab	27,3 A ab	25,3 A b
<i>G. clarum</i>	37,6 A a	32,4 A a	31,4 A a	28,1 A a	30,6 A a
Mistura de FMA	39,5 A a	30,0 A ab	24,7 A ab	16,1 A b	24,3 A ab
	Zn (mg kg⁻¹)				
Controle	63,3 A a	42,6 A b	39,1 A b	30,7 A b	33,9 A b
<i>G. margarita</i>	60,6 A a	43,4 A b	39,6 A b	32,3 A b	27,3 A b
<i>G. clarum</i>	53,2 A a	35,1 A b	33,8 A b	32,5 A b	30,1 A b
Mistura de FMA	56,9 A a	40,5 A ab	30,0 A b	32,5 A b	24,6 A b
	Cu (mg kg⁻¹)				
Controle	4,5 A a	4,4 A a	3,0 AB b	2,4 B b	2,8 A b
<i>G. margarita</i>	4,3 AB a	3,5 AB ab	3,3 AB ab	2,6 AB b	2,8 A b
<i>G. clarum</i>	4,0 AB a	3,5 AB a	3,7 A a	3,0 AB a	2,9 A a
Mistura de FMA	3,4 B a	3,1 B a	2,5 B a	3,6 A a	3,0 A a
	Mn (mg kg⁻¹)				
Controle	287,0 A a	155,0 A bc	225,0 A ab	111,0 A c	129,0 A bc
<i>G. margarita</i>	204,0 AB a	120,0 A ab	135,0 AB ab	89,0 A b	109,0 A ab
<i>G. clarum</i>	129,0 B a	125,0 A a	133,0 B a	97,0 A a	120,0 A a
Mistura de FMA	136,0 B a	167,0 A a	108,0 B a	145,0 A a	134,0 A a

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey à 5%. C.V. % = (N=15; P=17; Ca=21; Mg=16; B=26; Zn=22; Cu=18; Mn=34).

Verificou-se elevado grau de dependência micorrízica das plantas de mamoneira, cultivadas em solo sem adição de P, enquanto que no solo com adição de P20 a dependência foi moderada (Figura 4.3). Esses resultados de dependência

micorrízica foram observados para todas as espécies de FMA utilizadas na inoculação sugerindo que a mamoneira pode ter um amplo espectro quanto à formação de simbiose com as mais diversas espécies de FMA. Nos demais níveis de P adicionado ao solo, a dependência foi considerada baixa, ou seja, menor que 25%.

A dependência micorrízica é inversamente proporcional à disponibilidade de fósforo no solo, sendo geralmente confirmado o maior efeito da micorrização em condições de doses de fósforo abaixo da ótima requerida para o crescimento vegetal (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOGUEIRA; CARDOSO, 2000). Costa et al. (2005), estudando mudas de mangabeira inoculadas com *Gigaspora albida* e *Glomus etunicatum* sob diferentes doses de fósforo, observaram que a maior dependência micorrízica ocorreu em solo desinfestado sob baixos teores de fósforo. A dependência micorrízica diminuiu também com a elevação do P no solo, conforme relatado por Siqueira e Colozzi-Filho (1986), em mudas de cafeeiro. Os estudos que abordam a dependência micorrízica evidenciam que os efeitos dos FMA na nutrição das plantas são mediados pela disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente pelos teores de P.

Essas informações sobre a eficiência dos FMA na cultura da mamona em solo de baixa fertilidade são importantes, pois seu cultivo ainda é realizado, na sua maioria, em solo de baixa fertilidade e baixo nível tecnológico. Nesse sentido, há também a possibilidade de utilização de FMA na inoculação de mudas em formação, que poderá contribuir na melhor nutrição, aumentar as possibilidades de sobrevivência após o transplante e na maior resistência ao estresse hídrico, principalmente em regiões de pouca disponibilidade hídrica, onde a cultura tem a maior expressão e produção nacional.

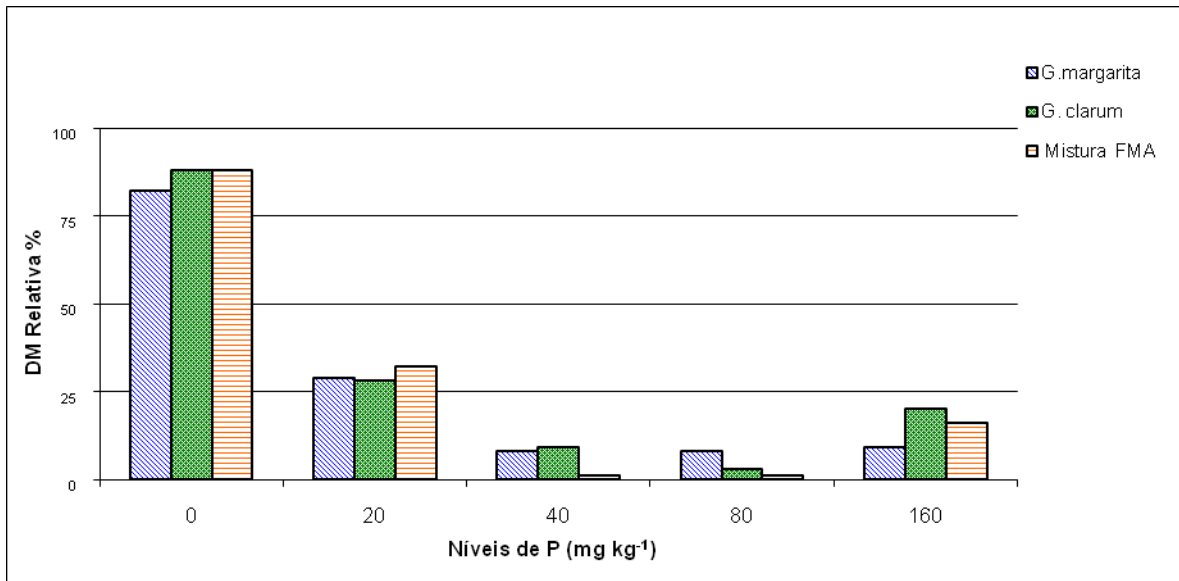


Figura 4.3 – Dependência Micorrízica Relativa da mamona. DM = (matéria seca de planta micorrizada) – (matéria seca de planta não micorrizada) / matéria seca de planta micorrizada x 100. >75% = dependência excessiva; 50%-75%= dependência alta; 25%-50%= dependência moderada; <25% dependência marginal; não responde a inoculação.

4.5 CONCLUSÕES

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) proporcionaram aumentos na massa seca e altura das plantas de mamoneira, principalmente nos níveis mais baixos de fósforo no solo.

A espécie *Gigaspora margarita* aumentou a fotossíntese líquida e clorofila nas plantas cultivadas em solo com baixo nível de fósforo.

A adição de níveis crescentes de fósforo no solo proporcionou aumento na produção de massa seca e nos teores de fósforo na parte aérea da mamona e diminuição na colonização radicular e na esporulação de FMA.

Os níveis crescentes de fósforo no solo influenciaram positivamente o desenvolvimento das plantas de mamoneira inoculadas ou não com FMA.

Em solo com nível baixo de P, a mamoneira tem alta dependência aos FMA.

Agradecimentos: a Universidade Estadual de Londrina (UEL) e ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) pela possibilidade de desenvolver esse trabalho de pesquisa.

4.6 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. L. F. et al. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e fósforo no desenvolvimento da algaroba [*Prosopis juliflora* (Sw) DC]. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 589-598, 2004.
- ARNON, D. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.
- AZEVEDO, D. M. P. et al. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. (ed.) **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 121-160.
- BALOTA, E. L. et al. Inoculação de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 6, p. 627-639, 1997.
- BALOTA, E. L.; LOPES, E. S. Introdução de fungos micorrízicos arbusculares no cafeeiro em condições de campo: II. Flutuação sazonal de raízes, de colonização e de fungos micorrízicos arbusculares associados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 225-232, 1996.
- BELTRÃO, N. E. M. et al. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, F. L. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2001. p. 37-61.
- CARDOSO, E. J. B. N. et al. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em porta enxerto de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 25-30, 1986.
- CARDOSO, E. J. N. Efeito de micorriza vesículo-arbuscular e fosfato-de-rocha na simbiose soja-*Rhizobium*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 125-130, 1985.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Fungo micorrízico e superfostato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 50, p. 21-36, dez. 1996.
- CLEMENT, C. R.; HABTE, M. Genotypic variation in vesicular-arbuscular mycorrhizal dependence of the pejobaye palm. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 18, p. 1907-1916, 1995.
- COLOZZI-FILHO, A; CARVALHO, S. L. C. Efeito de micorrizas arbusculares na produção do maracujazeiro a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia, **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. CD-ROM.

COLOZZI-FILHO, A.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas vesiculo-arbusculares em mudas de cafeeiro. I. Efeito de *Gigaspora margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 199-205, 1986.

COSTA, C. M. C. et al. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de mangabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p-225-232, 2005.

FERREIRA, G. B. et al. Deficiência de fósforo e potássio na mamoneira (*Ricinus communis*): Descrição do efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. CD-ROM.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of British Mycological Society**, London, p. 235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 84, p. 489-500, 1980.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 48, p. 692, 1964.

LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Substratos e recipientes para a produção de mudas. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 152-167.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. **Análise química de tecido vegetal**. Londrina: IAPAR, 1992. (Circular, 74)

MELONI, R; CARDOSO, E. J. N. Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas. II. Comparação entre diferentes espécies cítricas e endófitos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 59-67, 1999.

MOREIRA, A.; HEINRICH, R.; FREITAS, A. R. Relação fósforo e magnésio na fertilidade do solo, no estado nutricional e na produção de alfafa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 984-989, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, Ed. UFLA, 2006.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento das mudas em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 24, p. 329-338, 2000.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 55, n. 1, p. 158-60, 1970.

PLENCHETTE, C.; FORTIN, J. A.; FURLAN, V. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependence under field conditions. **Plant and Soil**, Boston, v. 70, p. 199-209, 1983.

ROCHA, F. S et al. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 77-84, 2006.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991.

RODRIGUES, D; ZUBILLANGA, M. M. Leaf area expansion and assimilate production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) growing under low phosphorus condition. **Plant and Soil**, Boston, v. 202, p. 133-147, 1998.

ROMEIRO, S. et al. Lead uptake and tolerance of *Ricinus communis* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 4, p. 483-489, 2006.

SANTOS, R. F. et al. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 21-41.

SEVERINO, L. S. et al. Crescimento e teor de macronutrientes em mudas de mamoneira cultivadas em cinco substratos orgânicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 120-125, 2008.

SEVERINO, L. S. et al. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 563-568, 2006.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, 1991.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas, In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (ed). **Microbiologia do solo**, Campinas, SBPC, p. 257-282, 1992.

SIQUEIRA, J. O. et al. Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência de fungos micorrízicos e superfosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** Campinas., v. 17 n. 1, p. 53-60, 1993.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbuscular 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, 1986.

SORATO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 895-901, 2004.

ANEXOS

ANEXO A

Tipo	Nome	Mantenedor		Ano
Cultivar	Guarani	Instituto Agronômico -IAC	Campinas, SP	1974
	IAC-80	Instituto Agronômico -IAC	Campinas, SP	1982
	IAC-226	Instituto Agronômico -IAC	Campinas, SP	1991
	IAC 2028	Instituto Agronômico -IAC	Campinas, SP	2007
	BRS 149 (Nordestina)	C. N. P. Algodão/Embrapa	Campina Grande, PB	1999
	BRS 188 (Paraguaçu)	C. N. P. Algodão/Embrapa	Campina Grande, PB	1999
	BRS Energia	C. N. P. Algodão/Embrapa	Campina Grande, PB	2007
	EBDA MPA 11	Emp. Baiana de Des. Agric. S.A-EBDA	Salvador, BA	2008
	EBDA MPB 01	Emp. Baiana de Des. Agric. S.A-EBDA	Salvador, BA	2008
	Mirante 10	Aurora Pesq. e Sementes Ltda	Juazeiro, BA	2003
Híbrido	Savana	Sementes Armani Ltda	Janaúba, MG	1999
	Cerrado			2000
	Cerradão			2000
	Íris	Aurora Pesquisa e Sementes Ltda	Juazeiro, BA	2000
	Lyra			2003
	Sara			2006
Local	Preta	Indefinida	-	-
	Sangue de Boi	Indefinida	-	-
	Amarela de Irecê	Indefinida	-	-
	Pernambucana	Indefinida	-	-
	Baianita	Indefinida	-	-

Registros Sem Mantenedor: FVC-10(1999); MV-9(1999); MVC-11(1999).

Fora do Mercado: Híbrido B-9 -Bom Brasil Óleo de Mamona Ltda (1999); Al-Guarany 2002-CATI-SP (2001).

Anexo A – Germoplasma de mamona em distribuição comercial no Brasil (2008). Tabela obtida da apresentação do Mini curso “Estratégia para o melhoramento Genético da Mamona no IAC”, proferida por Angelo Savy Filho, Amadeu Regitano Neto e Tammy A. Manabe Kiih. III Congresso Brasileiro de Mamona, em 2008, Salvador –BA.

ANEXO B

Produção de Oleaginosas no Brasil					
Produto	Produção de Grãos	Teor de Óleo	Produção de Óleo	Produção Proporcional	Estágio do Desenvolvimento Técnico
	mil t	%	mil t		
Algodão	2.436,00	18,00%	438,48	3,83%	Tecnologia Agrícola e Industrial
Amendoim	287,00	45,00%	129,15	1,13%	Tecnologia Agrícola e Industrial
Girassol	139,00	40,00%	55,60	0,49%	Tecnologia Agrícola e Industrial
Mamona	149,00	44,00%	65,56	0,57%	Tecnologia Agrícola e Industrial
Soja	59.852,00	18,00%	10.773,36	93,99%	Tecnologia Agrícola e Industrial
Total	62.863,00		11.462,15	100,00%	
Barril/Ano			72.088,99		
Petróleo/dia	2.000.000,00				
Fonte: CONAB	jun/08	Avaliação da Safra Agrícola 2007/08			

Anexo B – Produção de oleaginosas no Brasil (2008). Tabela obtida da apresentação do Mini curso “Estratégia para o melhoramento Genético da Mamona no IAC”, proferida por Angelo Savy Filho, Amadeu Regitano Neto e Tammy A. Manabe Kiih. III Congresso Brasileiro de Mamona, em 2008, Salvador –BA.

ANEXO C

Mamona

Área, Produção e Produtividade no Brasil

Região	Área					Produção					Produtividade				
	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
NE	163,8	209,8	142,2	161,1	161,9	104,5	202,0	95,7	124,5	138,7	638	963	673	773	857
PI	3,7	12,0	15,8	12,1	2,9	4,8	10,0	7,0	8,4	0,8	1.300	830	440	691	276
CE	9,3	18,0	10,1	10,1	27,4	8,8	15,1	8,3	6,2	23,7	950	840	825	615	866
RN	-	2,2	0,8	0,7	0,1	-	1,4	0,7	0,7	0,1	-	630	870	1.015	847
PE	2,5	8,2	7,4	7,4	5,3	1,9	6,1	4,8	4,0	2,7	770	740	650	545	502
BA	148,3	169,4	108,1	130,8	126,2	89,0	189,4	74,9	105,2	111,9	600	1.000	693	804	883
SE	2,4	4,3	5,2	4,5	7,5	2,8	6,7	7,5	6,6	10,9	1.167	1.558	1.442	1.467	1.452
MG	1,7	3,0	3,3	2,6	5,6	1,7	4,2	4,6	3,6	7,9	1.000	1.400	1.400	1.400	1.411
SP	0,7	1,3	1,9	1,9	1,9	1,1	2,5	2,9	3,0	3,0	1.600	1.900	1.500	1.580	1.571
SUL	-	1,0	0,5	0,1	-	-	1,1	0,7	0,2	-	-	1.100	1.400	2.000	-
PR	-	1,0	0,5	0,1	-	-	1,1	0,7	0,2	-	-	1.050	1.300	1.628	-
N/NE	163,8	209,8	142,2	161,1	161,9	104,5	202,0	95,7	124,5	138,7	638	963	673	773	857
Centro-Sul	2,4	5,3	5,7	4,6	7,5	2,8	7,8	8,2	6,8	10,9	1.167	1.472	143	1.478	1.452
Brasil	166,2	215,1	147,9	165,9	169,4	107,3	209,8	103,9	131,3	149,6	646	975	703	792	883

Fonte: CONAB

Anexo C – Área, produção e produtividade de mamona no Brasil (2008). Tabela obtida da apresentação do mini curso “estratégia para o melhoramento genético da mamona no iac”, proferida por Angelo Savy Filho, Amadeu Regitano Neto e Tammy a. Manabe Kiih. III Congresso Brasileiro de Mamona, em 2008, Salvador –BA.