

Disponibilidade de fósforo e produção de biomassa de pinhão manso em solos com distintas texturas e doses de fósforo

*Phosphorus availability and biomass production in *Jatropha curcas* for soils of different textures and doses of phosphorus*

Renata Patrícia Dias de Souza¹, Rodinei Facco Pegoraro^{2*}, Sidnei Tavares dos Reis³

Resumo: É de máxima importância o conhecimento das necessidades nutricionais do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivado em solos brasileiros, onde a adubação se faz necessária para o sucesso dos cultivos. Assim, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a disponibilidade de fósforo (P) pelos extratores Mehlich 1, Olsen e Resina de Troca Aniônica, bem como a produção de biomassa do pinhão manso cultivado em Latossolo com diferentes texturas e doses de P_2O_5 . O estudo seguiu o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial ($2 \times 6 \times 3$), com três repetições. Os tratamentos resultaram da combinação de dois solos (argiloso e arenoso), seis doses de P_2O_5 (50; 100; 150; 200; 250 e 300 kg ha⁻¹) e três extratores (Mehlich 1, Olsen e Resina de Troca Aniônica). O pinhão manso foi cultivado em vasos por 90 dias, quando foram coletadas amostras de solo para determinar o teor de P pelos extratores. A produção de biomassa e o conteúdo de P na planta foram maiores no solo arenoso e a produção de folhas e o conteúdo de P nas folhas, talo e raízes foram incrementados, de modo linear, até a dose 300 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , indicando elevada demanda de P por essa cultura. O extrator Mehlich 1 quantificou maiores teores de P em comparação ao Olsen e à Resina de Troca Aniônica, possivelmente pela sua capacidade de extração de P-Ca nos solos, em razão da origem calcária. No entanto, o teor de P extraído pela Resina de Troca Aniônica e pelo Olsen apresentou maior relação com o conteúdo de P e produção de biomassa do pinhão manso, sendo mais indicados para avaliar o P disponível para a fase inicial de desenvolvimento dessa cultura.

Palavras-chave: Mehlich 1. Oleaginosa. Olsen. Resina de troca aniônica.

Abstract: Knowledge of the nutritional needs of *Jatropha curcas* L. is of the utmost importance when grown in Brazilian soils, where the use of fertiliser is necessary for the success of the crop. The aim of this research was to evaluate phosphorus (P) availability by the Mehlich 1, Olsen and Anionic Exchange Resin extractors, as well as biomass production in the *Jatropha* grown in a Latosol with different textures and doses of P. The experimental design was of randomised blocks in a $2 \times 6 \times 3$ factorial scheme, with three replications. The treatments resulted from the combination of two soils (clayey and sandy), six doses of P_2O_5 (50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg ha⁻¹) and three extractors (Mehlich 1, Olsen and Anion Exchange Resin). The *Jatropha* was grown in pots for 90 days, when soil samples were collected to determine the P content by means of the extractors. The biomass production and P content of the plant were higher in the sandy soil. Leaf production and the P content of the leaves, stalk and roots increased linearly up to the dose of 300 kg ha⁻¹ P_2O_5 , indicating a high demand for P in this crop. The Mehlich 1 extractor quantified higher levels of P compared to the Olsen and Anion Exchange Resin, possibly due to its ability to extract P-Ca from the soils due to their limestone origin. However, the P content extracted with the Anion Exchange Resin and Olsen extractors displayed a greater relation to the P content and biomass production of the *Jatropha*, being more suitable for evaluating the P available for the initial development stage of the crop.

Key words: Mehlich 1. Oilseed. Olsen. Anion exchange resin.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 16/05/2016 e aprovado em 08/12/2016

¹Mestre em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes, Janaúba-MG, Brazil. rp.dias@yahoo.com.br

²Professor do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Avenida Universitária, 1.000, Bairro Universitário, CEP: 39.404-547, Montes Claros-MG, Brasil. rodinei_pegoraro@yahoo.com.br

³Professor da Universidade Federal de Sergipe - UFS, Campus do Sertão, Departamento de Agronomia, Nossa Senhora da Glória-SE, Brasil. satcreis@gmail.com

INTRODUÇÃO

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), oleaginosa produtora de sementes com alto teor de óleo, é apontado como uma boa opção para produção de biocombustíveis. A pesquisa e o incentivo ao cultivo dessa planta constituem, possivelmente, uma boa estratégia para a mitigação do aquecimento global e, também, para a alteração da matriz energética do país, pois o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis no planeta é um fato notório a médio ou longo prazo (NERY *et al.*, 2009).

Essa oleaginosa se adapta bem às diversas condições edafoclimáticas do semiárido, entretanto, para atingir uma produção que justifique seu cultivo comercial, é necessária a adoção de técnicas de manejo que preconizem o uso equilibrado de fertilizantes, pois a adubação é primordial para o aumento da produtividade das culturas (ALVES *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009; FARIA *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2013).

Dentre os nutrientes mais exigidos pelo pinhão manso, destaca-se o fósforo(P) por estar presente em baixa disponibilidade na maioria dos Latossolos brasileiros intemperizados. A adubação fosfatada é importante na fase inicial de desenvolvimento, pois o P está ligado à síntese de energia, sendo um componente da molécula de ATP (SEVERINO *et al.*, 2006). Entretanto, pouco se conhece sobre a adubação fosfatada e a disponibilidade de P para o pinhão manso (SILVA *et al.*, 2015), especialmente quando se leva em consideração a adsorção específica do P em argilominerais, caracterizando solos intemperizados como drenos desse elemento (SOARES *et al.*, 2007).

O manejo adequado da adubação fosfatada para as culturas depende da utilização de métodos adequados de avaliação da fertilidade do solo. Na fase que antecede o plantio, a caracterização química do solo, com uso de extratores, é o meio utilizado para determinar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Para a caracterização do teor de P disponível, existem várias opções de extratores ácidos (Mehlich 1, Bray 1, Mehlich 3), alcalinos (Olsen) e de troca iônica (Resina de Troca Aniônica) passíveis de serem usados, porém podem quantificar formas distintas de P, inclusive aquelas consideradas pouco disponíveis para as plantas, como o P ligado ao cálcio(P-Ca).

O Mehlich 1 extrai P por meio de uma solução ácida e pode superestimá-lo por conseguir extrair P-Ca, que dificilmente é absorvido pelas plantas (NOVAIS, 1999; ROCHA *et al.*, 2005; FARIA *et al.*, 2006). Esse extrator também pode subestimar o P disponível por sofrer desgaste pelo poder tampão do solo, isso ocorre geralmente em solos argilosos, porém, ainda assim, é usado na maioria dos laboratórios de rotina do país (NOVAIS; SMITH, 1999). Outras opções de extratores são o Olsen e a Resina de Troca Aniônica (RTA). O Olsen usa solução básica para extrair formas mais lábeis, como P ligado ao ferro e ao alumínio (P-Fe e P-Al) (ROCHA *et al.*, 2005). A RTA é conhecida por simular a absorção de P pelas raízes, pois o pH da solução não é alterado na extração, porém

variações tem sido observadas nos resultados da RTA em função das características dos solos analisados (SANTOS; KLIEMANN, 2005).

Objetivou-se com essa pesquisa avaliar a disponibilidade de P pelos extratores Mehlich 1, Olsen e Resina de Troca Aniônica, bem como a produção de biomassa do pinhão manso cultivado em solos com diferentes texturas e doses de P.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Montes Claros, no município de Janaúba, MG. Foram utilizadas amostras de solo arenoso (Neossolo flúvico), coletado sob cultivo de caramboleira, e de solo argiloso (Latosolo Vermelho), coletado sob cultivo de bananeira prata anã, ambos de origem calcária localizados no município de Janaúba-MG (15°43'47,4" S e 43°19'22,1" W). Esses solos foram desenvolvidos a partir de rochas calcárias do grupo Bambuí, conforme descrito no mapa geológico do estado de Minas Gerais (PORTAL DA GEOLOGIA, 2016). As amostras foram coletadas na camada de 0-0,20 m, secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2,0 mm (TFSA). As características químicas e físicas dos solos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização físico-química dos solos utilizados no estudo

Table 1 - Physical and chemical characterisation of the soils used in the study

Característica	Solo	
	Textura arenosa	Textura argilosa
pH ^{1/}	6,50	4,80
MO (dag kg ⁻¹) ^{2/}	1,90	1,50
P (mg dm ⁻³) ^{3/}	8,60	4,30
K (mg dm ⁻³) ^{3/}	113,00	53,00
Ca (cmol _c dm ⁻³) ^{4/}	5,40	2,80
Mg (cmol _c dm ⁻³) ^{4/}	1,60	0,50
Al (cmol _c dm ⁻³) ^{4/}	0,00	1,10
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	1,40	10,10
SB (cmol _c dm ⁻³)	7,30	1,40
T (cmol _c dm ⁻³)	8,70	11,50
V (%)	83,90	12,00
Areia (%)	55,00	13,00
Silte (%)	35,00	31,00
Argila (%)	10,00	56,00

^{1/} pH em água; ^{2/} Colorimetria; ^{3/} Extrator: Mehlich 1; ^{4/} Extrator: KCl 1 mol L⁻¹; ^{5/} pH SMP.

^{1/} pH in water; ^{2/} Colorimetry; ^{3/} Extractor: Mehlich 1; ^{4/} Extractor: KCl 1 mol L⁻¹; ^{5/} pH SMP.

Para as variáveis relacionadas às plantas, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x6, com tratamentos resultantes de dois solos (argiloso e arenoso) e seis doses de P_2O_5 (50; 100; 150; 200; 250 e 300 kg ha⁻¹) com três repetições. Para as demais variáveis o delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2x6x3, com tratamentos resultantes da combinação de dois solos (argiloso e arenoso), seis doses de P_2O_5 (50; 100; 150; 200; 250 e 300 kg ha⁻¹) e três extratores (Melich 1, Olsen e Resina de Troca Aniônica), com três repetições.

O experimento foi montado em vasos de polietileno, contendo 8 dm³ de TFSA. Utilizou-se fosfato monoamônico (MAP) como fonte de P (52% de P_2O_5 e 9% de N). Junto com a adubação fosfatada, realizou-se uma adubação com macro e micronutrientes (Tabela 2), para cultivo em casa de vegetação, comum a todos os tratamentos, segundo Novais *et al.* (1991). A uréia foi utilizada como fonte de N, descontando-se a dose de N aplicada por meio do MAP.

Tabela 2 - Doses de macro e micronutrientes utilizadas para o cultivo do pinhão manso em vaso

Table 2 - Doses of macro and micronutrients used in the cultivation of Jatropha in pots

Nutriente	Dose (kg ha ⁻¹)	Fonte
N	200,00	Ureia
K	300,00	Sulfato de potássio
B	1,62	Ácido bórico
Cu	2,66	Sulfato de cobre
Fe	3,10	Sulfato de ferro
Mn	7,32	Sulfato de manganês
Mo	0,30	Molibdato de amônio
Zn	8,00	Sulfato de zinco
Ca	0,50	Sulfato de Cálcio
Mg	0,10	Sulfato de Magnésio

Após a adubação, o solo foi umedecido a fim de alcançar 80% da capacidade de campo e a umidade foi mantida durante a condução do experimento. Dez dias após a adubação, procedeu-se o plantio de três plântulas de pinhão manso pré-germinadas em areia. Dez dias após o plantio (DAP), foi feito o desbaste, deixando-se apenas uma planta, a mais vigorosa, por unidade experimental.

Trinta dias após a adubação dos vasos, foram coletadas amostras de solo para determinação do teor de P, utilizando-se os extratores Mehlich 1 (NELSON *et al.*, 1953), Olsen (OLSEN *et al.*, 1954) e Resina de Troca Aniônica (AMER *et al.*, 1955).

As plantas foram coletadas 90 DAP, fracionadas em caule, folha e raiz e preparadas para análise,

determinando-se a massa de matéria seca, o teor e o conteúdo de P (EMBRAPA, 2009). Com base no teor de P e na massa de matéria seca, calculou-se o conteúdo de P na planta e nos seus componentes (folhas, caule e raízes), por meio da seguinte equação:

$$CP = \frac{Teor \times MMS}{100} \times f$$

Onde:

CP = Conteúdo de P (mg por planta);

Teor = Teor de P na planta ou no seu componente (dag kg⁻¹);

MMS = Massa de matéria seca da planta ou no seu componente (g por planta);

f = 1000, corresponde ao fator de conversão de unidade (grama para miligrama).

Nos dados relacionados às plantas (produção de biomassa e conteúdo de P nos componentes) procedeu-se a análise de variância e quando o teste de “F” foi significativo, realizou-se análise de regressão, por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2011).

Para efeito de comparação da interação dos extratores com os solos e doses de P_2O_5 , realizou-se análise conjunta para o fator extrator (SAS System), pois foi atendido o requisito necessário recomendado por Banzatto e Kronka (2008), ou seja, a relação entre o maior e o menor quadrado médio residual não ultrapassou 7:1. Quando o teste “F” foi significativo, realizou-se análise de regressão para as doses de fósforo e o teste de Tukey para comparação entre extratores por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2011). A fim de relacionar a absorção de P pelas plantas e os teores de P no solo, quantificados pelos três extratores, também realizou-se a análise multivariada de agrupamento de dados por meio do software STATISTICA.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a característica teor de P no solo, foi observada interação entre solo e extrator, solo e dose, bem como extrator e dose ($p \leq 0,05$). A capacidade de extração de P pelos extratores após a adubação com as doses de P_2O_5 , para os dois solos, foi maior ao utilizar-se o Mehlich 1 sendo menor com o uso do Olsen e da RTA (Tabela 3).

No solo arenoso, o extrator Mehlich 1 recuperou 65,8 e 98,4% de P a mais que o Olsen e a RTA, respectivamente. Já no solo argiloso, essa recuperação foi menor, sendo de 52,3 e 80,1% para Olsen e RTA, respectivamente. Distinções nos teores de P recuperado pelos extratores estão relacionadas à capacidade de solubilização/dissolução das várias formas de P inorgânico presentes nos solos em estudo. Fosfatos de Cálcio são menos estáveis em meio ácido, aumentando sua solubilidade com a diminuição do pH do meio (NOVAIS, 1999), portanto, extratores ácidos, como o Mehlich 1, conseguem extrair do solo o P-Ca (ROCHA *et al.*, 2005; FARIA *et al.*, 2006) e,

Tabela 3 - Teores de P extraídos pelos extratores Mehlich 1, Olsen e Resina de Troca Aniônica (RTA) em solos argiloso e arenoso

Table 3 - P content extracted by the Mehlich 1, Olsen and Anion Exchange Resin (RTA) extractors in clayey and sandy soils

Solo	P recuperado(mg dm ⁻³)		
	Mehlich 1	Olsen	RTA
Arenoso	81,44 Aa	27,86 Ba	11,34 Ca
Argiloso	47,02 Ab	22,41 Bb	9,35 Ca

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey e letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Mean values followed by different uppercase letters on a line differ by Tukey's test, and different lowercase letters in a column differ by F-test ($p \leq 0,05$).

em menor proporção, o P-Al e P-Fe, obtendo-se teores mais elevados de P em relação aos demais extratores pelo fato dos solos usados no estudo serem de origem calcária.

Fosfatos de Al e de Fe são mais estáveis em meio ácido, pois têm sua solubilidade aumentada com o aumento do pH do meio (NOVAIS, 1999). Assim, o Olsen, por seu caráter básico (pH 8,5), extrai mais P-Fe (ROCHA *et al.*, 2005) e P-Al, mas não consegue solubilizar P-Ca, por isso o uso desse extrator proporcionou teores de P recuperados menores que os do Mehlich 1 nos dois solos estudados. Entretanto, o Olsen recuperou 59,3 e 58,3% de P a mais que a RTA.

O método de extração do P por RTA pode ser considerado o que menos interferiu no tamponamento do pH do solo, uma vez que o Mehlich 1 e o Olsen modificam significativamente o pH da solução extratora e provocam

dissolução e/ou complexação de compostos (SILVA, 2002). Nesse sentido, a RTA recupera, em princípio, apenas as formas lábeis de P, assemelhando-se ao fenômeno de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas (RAIJ, 1991; PEGORARO *et al.*, 2006), embora deva ser destacado que as plantas possuem condições específicas de solubilização/dissolução de P na rizosfera de acordo com mecanismos de adaptação ou demanda nutricional inerentes a cada espécie.

É possível que a RTA tenha recuperado, predominantemente, o P da solução do solo, explicando os menores teores de P extraídos em comparação aos demais extratores. A RTA extraiu valores menores de P nos dois solos, sendo 22,6% a mais no solo arenoso em comparação ao argiloso. Isso indica a sua baixa eficiência em quantificar formas de P ligado a Fe e Al, possivelmente em decorrência da influência de características do solo, como a textura, na capacidade de extração de P, conforme relatado por Santos e Kliemann (2005).

A maior capacidade de adsorção de P pelo solo argiloso também foi constatada, pois menores teores de P foram extraídos no solo argiloso pelo Mehlich 1 (Tabela 3), sendo esta diferença de 42,3% em relação ao solo arenoso. Outro fator que contribuiu para a redução do teor de P extraído pelo Mehlich 1 foi o desgaste do extrator pelo poder tampão do solo argiloso, impedindo que o pH da solução se tornasse ácido o bastante para deslocar o P-Ca da superfície da argila para a solução do solo (NOVAIS; SMITH, 1999). Em contrapartida, o P adicionado ao solo arenoso permaneceu predominantemente sob formas lábeis, pois a adsorção do elemento ocorreu em menor proporção.

Os teores de P em ambos os solos aumentaram em virtude das doses de P aplicadas (Figura 1a). Entretanto, no solo argiloso, os teores quantificados foram menores que os do solo arenoso em todas as doses, demonstrando a maior

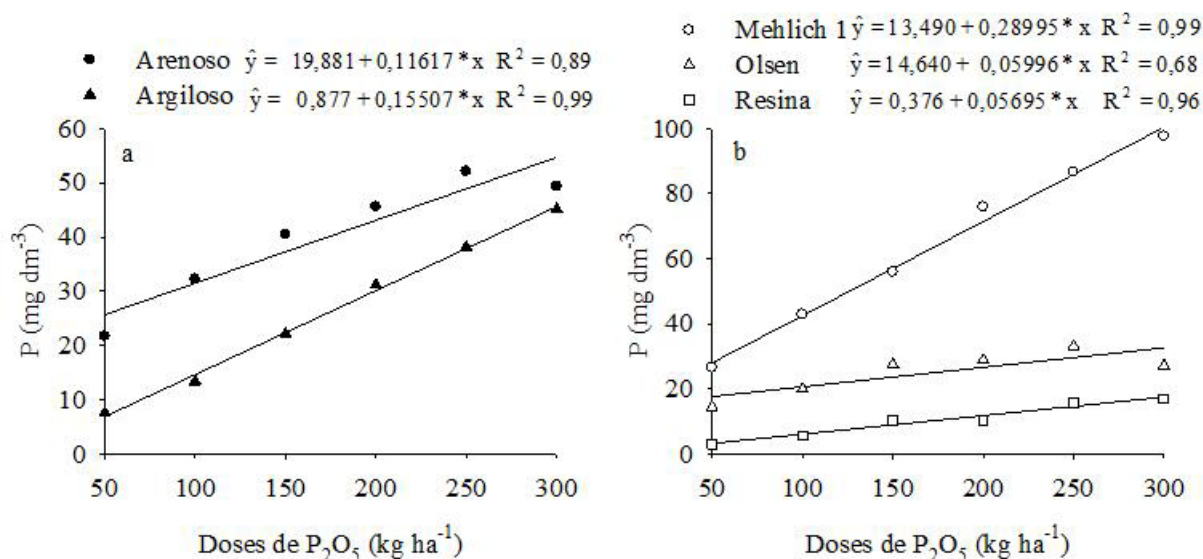


Figura 1 - Teor de P recuperado nos solos arenoso e argiloso (a) e teor de P recuperado pelos extratores Mehlich 1, Olsen e Resina de Troca Aniônica (b) em função de doses de P₂O₅.

Figure 1 – P content recovered in sandy and clay soils (a), and P content recovered by the Mehlich 1, Olsen and Anion Exchange Resin extractors (b) for doses of P₂O₅.

reatividade do ânion fosfato com argilominerais presentes no solo argiloso, sob formas não disponíveis para as plantas, conforme descrito por Soares *et al.* (2007).

À medida que se aumentaram as doses de P_2O_5 aplicadas houve aumento na extração de P por todos os extratores (Figura 1b). O aumento no teor de P recuperado para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo para o Mehlich 1 foi de 0,29 $mg\ dm^{-3}$, e 0,06 $mg\ dm^{-3}$ para Olsen e Resina (Tabela 4). Foram estudados solos de origem calcária, sendo que de

Tabela 4 - Massa de matéria seca da planta, do caule, da folha, da raiz e conteúdo de P na raiz em dois solos

Table 4 - Plant, stem, leaf and root dry matter, and P content of the roots in two different soils

Solo	Matéria seca (g por planta)				P Raiz (mg por planta)
	Planta	Caule	Folha	Raiz	
Arenoso	40,08a	22,39a	13,25a	4,49a	0,42a
Argiloso	17,22b	10,08b	4,22b	2,93b	0,08b

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste F.

Mean values followed by different letters in a column differ by F-test.

maneira geral a maior parte do P aplicado se ligou ao Ca, e o Mehlich 1 é o único dos extratores usados que quantifica P-Ca, por isso houve maior incremento no P recuperado em função das doses de P_2O_5 aplicadas para esse extrator.

A massa de matéria seca da planta, do caule e da raiz foram influenciadas apenas pelo tipo de solo, já a massa da folha foi influenciada pelo tipo de solo e pelas doses de P_2O_5 , de modo isolado. Para os conteúdos de P na planta, no caule e na folha, obteve-se interação entre solo e dose de P_2O_5 , porém o efeito foi significativo apenas para o solo de textura arenosa. O conteúdo de P da raiz foi influenciado pelo solo e pelas doses de P_2O_5 ($p < 0,05$).

O acúmulo de biomassa da planta, do caule, da folha e da raiz foram maiores no solo arenoso (Tabela 4), sendo 57,0; 55,0; 68,2 e 34,7% a mais que no solo argiloso, respectivamente. Esses resultados pressupõem que o solo arenoso apresentou maior proporção de formas de P prontamente disponíveis às plantas, possibilitando maior crescimento inicial e produção de biomassa no pinhão manso. A presença de pH ácido, por diminuir a disponibilidade de P no solo e a absorção radicular de nutrientes pelas plantas, foi outro fator que pode ter reduzido o acúmulo de massa seca na planta sob solo argiloso.

O fósforo é muito importante na fase inicial de desenvolvimento das plantas, pois o ATP, que apresenta três grupamentos fosfato, promove inúmeros processos fisiológicos, incluindo a absorção de água e nutrientes (SEVERINO *et al.*, 2006; LIMA *et al.*, 2011b). De acordo com Maia *et al.* (2014), a deficiência de P reduziu o número

de folhas (52%), de área foliar (62%), a produção de massa de matéria seca de folhas (59%) e o teor de K, Ca, S e N na parte aérea aos 39 dias após a omissão de P em mudas de pinhão manso.

O maior conteúdo de P na raiz foi observado no solo arenoso (81,0% a mais que no argiloso) em razão da sua maior disponibilidade nesse solo (Tabela 4). Nesse sentido, o solo arenoso apresentou maior caráter fonte de P para o desenvolvimento do pinhão manso.

A produção de folhas do pinhão manso teve incremento linear com o aumento das doses de P_2O_5 , independentemente dos solos (Figura 2a). Para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo, houve aumento de 0,016 g na massa da folha de pinhão manso (Tabela 4). Firmino *et al.* (2015) descreveram aumentos no crescimento de pinhão manso com aplicação de doses de P e máxima altura da parte aérea (153,49 cm) com a adição de 251,91 $kg\ ha^{-1}$ de P aos 276 dias após poda das plantas. No entanto, Silva *et al.* (2015) citaram que a aplicação de P não influenciou a altura das plantas, mas, aumentou o desenvolvimento dos ramos e do caule e elevou a produção do pinhão-manso, obtendo-se a máxima eficiência física da produção (798 $kg\ ha^{-1}$ por ano) com a aplicação de 414 $kg\ ha^{-1}$ por ano de P_2O_5 , no município de Montes Claros, Norte do estado de Minas Gerais.

Vários estudos demonstraram efeito positivo da adubação fosfatada na produção de mudas de pinhão manso (LIMA *et al.*, 2011b; SOUZA *et al.*, 2011), embora as doses recomendadas tenham variações em função do substrato utilizado e das características ambientais. Em estudo realizado por Souza *et al.* (2011), no Norte do estado de Minas Gerais, foi observado efeito linear das doses de P no conteúdo de P na parte aérea de mudas de pinhão manso, até a dose 180 $mg\ dm^{-3}$. Confirmando que a adubação fosfatada é uma prática importante na fase inicial de desenvolvimento dessa oleaginosa (LIMA *et al.*, 2011a). Sousa *et al.* (2011) observaram que não houve incremento no desenvolvimento do pinhão manso com aumento das doses de P fornecidas após poda no terceiro ano de produção, já que a adubação fosfatada tem efeito no desenvolvimento inicial das plantas.

Os conteúdos de P na planta, caule e folha em função das doses de P_2O_5 , para o solo arenoso, foram modelados por função linear positiva (Figura 2c). Verificou-se que para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo aumentou-se em 0,02; 0,01 e 0,007 mg de P na planta, no caule e na folha, respectivamente (Figura 2c). Tais resultados corroboram com aqueles obtidos por Lima *et al.* (2011b), que observaram aumento nos teores de P na planta com aumento do fornecimento desse nutriente para mudas de pinhão manso.

No solo com textura argilosa, não houve efeito significativo de doses de P_2O_5 , apresentando média geral de 2,7 mg por planta. Esses resultados sugerem que o solo argiloso competiu com a planta pelo P aplicado, reduzindo a capacidade de absorção de P pelo pinhão manso e a produção de matéria seca da parte aérea, efeito esse

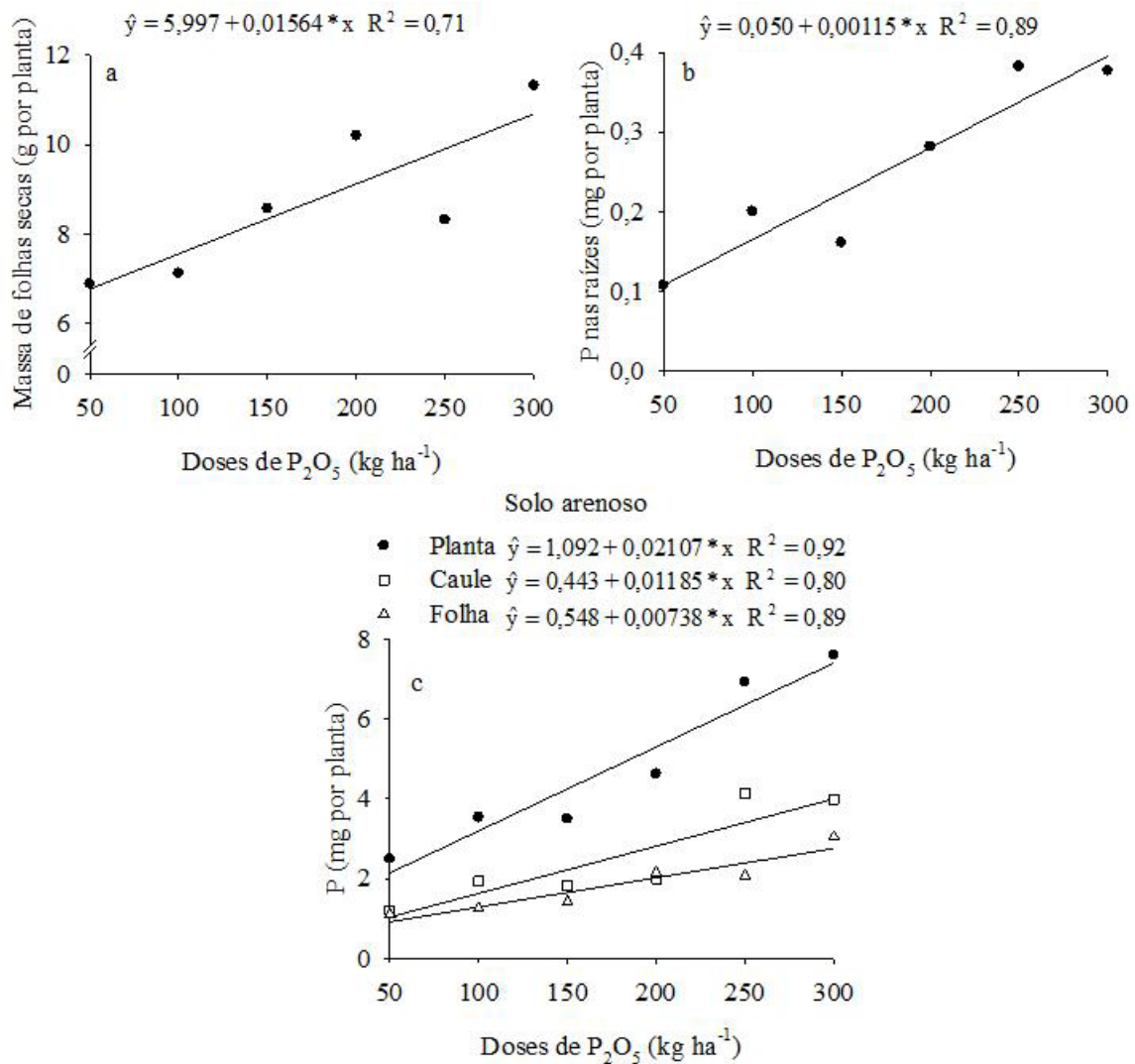


Figura 2 - Massa de matéria seca de folhas (a), conteúdo de P nas raízes (b) e conteúdo de P na planta, caule e folha (c) em função de doses de P_2O_5 .

Figure 2 - Leaf dry matter (a), P content of the roots (b) and P content of the plant, stem and leaf (c) for doses of P_2O_5 .

otimizado pela interferência do pH ácido desse solo na absorção de nutrientes.

O conteúdo de P na raiz respondeu à adubação fosfatada de forma linear (Figura 2b), sendo que para cada kg de P_2O_5 adicionado ao solo incrementou-se 0,001 g de P na raiz. A raiz do pinhão manso foi o compartimento que menos acumulou matéria seca e P.

Observou-se que os extratores Olsen e RTA tiveram maior relação com a produção de massa da planta, em

ambos os solos, pois formaram um grupo distinto em relação ao Mehlich 1, determinado pelo maior salto da distância euclidiana (Figura 3a e 3b). O corte representado pela linha tracejada determina o número de grupos, geralmente realizada em relação às maiores distâncias em que os grupos foram formados. Assim, pode-se inferir que na fase inicial de crescimento do pinhão manso, o extrator mais eficiente em estimar os teores de P foi o Olsen, para os dois solos.

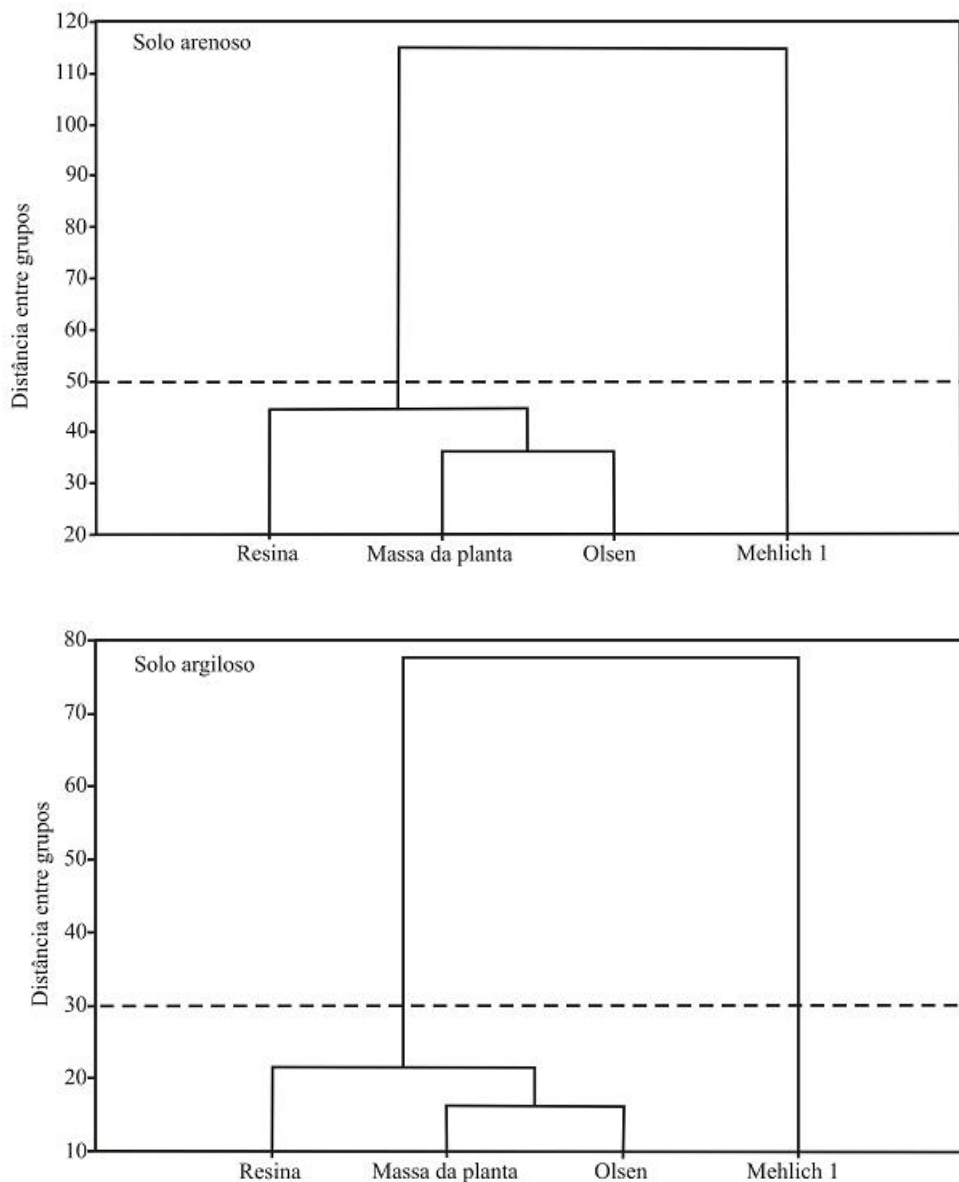


Figura 3 - Dendrograma da matriz de distâncias euclidianas pelo método de agrupamento por ligação simples para extratores e massa de matéria seca da planta nos solos arenoso (a) e argiloso (b).

Figure 3 - Dendrogram of the Euclidean distance matrix by the method of single connection grouping for extractors and plant dry matter in sandy (a) and clayey (b) soils.

Na análise de agrupamentos entre o conteúdo de P absorvido pelas plantas e o teor de P extraído do solo pelos extratores (Figura 4a e 4b), a RTA e o Olsen formaram um grupo distinto em relação ao Mehlich 1, nos dois solos, sendo a RTA o extrator que melhor relacionou o teor de

P no solo com o conteúdo de P na planta. Esse resultado está relacionado com a origem do solo, já que nos solos de origem calcária o P-Ca extraído pelo Mehlich 1 não se encontra disponível para o pinhão manso, dessa forma a RTA se mostrou mais eficiente em quantificar o P disponível.

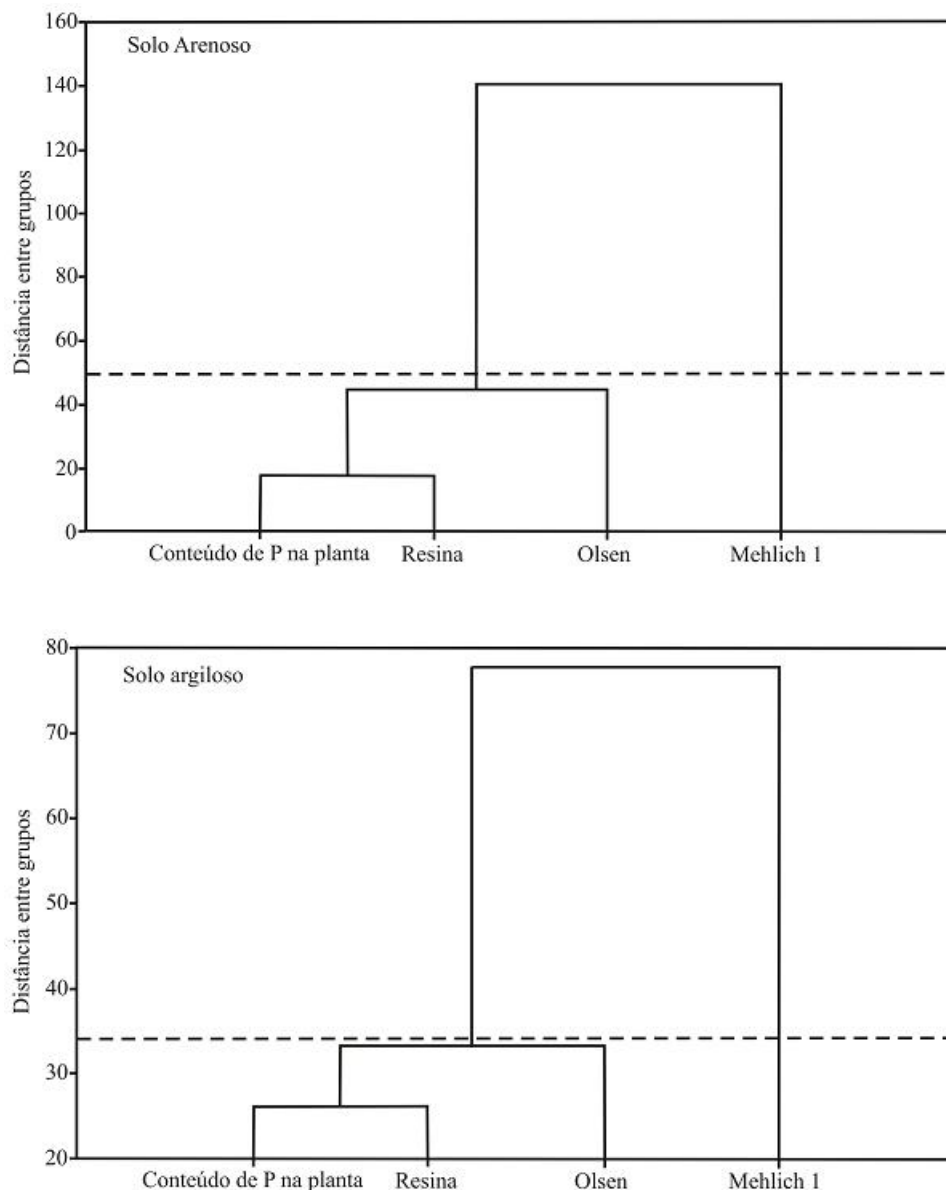


Figura 4 - Dendrograma da matriz de distâncias euclidianas pelo método de agrupamento por ligação simples para extratores e conteúdo de P na planta nos solos arenoso (a) e argiloso (b).

Figure 4 - Dendrogram of the Euclidean distance matrix by the method of single connection grouping for extractors and plant P content in sandy (a) and clayey (b) soils.

CONCLUSÕES

Na fase inicial de desenvolvimento, o pinhão manso se desenvolve melhor no solo arenoso em comparação ao solo argiloso;

A adubação fosfatada aumenta linearmente a produção de matéria seca do pinhão manso;

O extrator Mehlich 1 extrai maiores teores de P e superestima o P disponível nos solos estudados;

Os extratores Resina de Troca Aniônica e Olsen apresentam maior relação com o conteúdo de P e massa na planta, sendo mais indicados para avaliar o P disponível para a fase inicial de desenvolvimento do pinhão manso.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

- ALVES, J. M. A.; SOUZA, A. A.; SILVA, R. G.; LOPES, G. N.; SMIDERLI, O. J.; UCHÔA, S. C. P. Pinhão-manso: Uma alternativa para produção de biodiesel na agricultura familiar da Amazônia Brasileira. **RevistaAgro@ambiente On-line**, v. 2, n. 1, p. 57-68, 2008.
- AMER, F.; BOULDIN, C. A.; BLACK, C. A. Q.; DUCKE, F. R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin absorption and ³²P equilibration. **PlantSoil**, v. 6, n. 4, p. 391-408, 1955.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. Experimentação Agrícola. 4. ed. Jaboticabal-SP: Funep, 2008, 237p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Embrapa Informação Tecnológica. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2009. 627p.
- FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; PINTO, J. M.; GOMES, T. C. A. Efeito de fosfatos naturais em plantas de melão cultivadas em vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 1083-1091, 2006.
- FARIA, M. A.; EVANGELISTA, W. P.; MELO, P. C.; ALVES JÚNIOR, J. Resposta da cultura de pinhão manso à irrigação e adubação com OMM-Tech. **Irriga**, v. 16, n. 1, p. 70-81, 2011.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer Statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FIRMINO, M. C.; FARIAS, M. S. S.; MEDEIROS, S. S.; GUERRA, H. O. C.; GUIMARÃES, J. P. Altura e diâmetro do pinhão manso sob adubação fosfatada e uso de água residuária. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 2, p. 22-31, 2015.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; CAZETTA, J. O.; AZEVEDO, C. A. V.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão manso entre estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1175-1179, 2011a.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; GHEYI, H. R.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N. H. C. Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão manso. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 950-956, 2011b.
- MAIA, J. T. L. S.; BONFIM, F. P. G.; GUANABENS, R. E. M.; TRENTIN, R.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R. Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-manso cultivadas em solução nutritiva. **Ceres**, v. 61, n. 5, p. 723-731, 2014.
- NELSON, W. L.; MEHLICH, A.; WINTERS, E. The development, evaluation and use of soil test for phosphorus availability. In: PIERRE, W.H.; NORMAN, A.G., eds. Soil fertilizer phosphorus. New York, Academic Press, 1953. p. 153-188.
- NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 551-558, 2009.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília-DF: Embrapa-SEA, 1991, p. 189-253.
- NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: DPS/UFV, 1999, 399p.
- OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATENABE, F. S.; DEAN, L. A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington: USDA, 1954. 22p. (USDA. Circular, 939).
- PEGORARO, R. F.; SILVA, I. D.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, E. D. S.; GEBRIM, F. D. O.; MOREIRA, F. F. Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 859-868, 2006.
- PORTAL DA GEOLOGIA. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. 2014. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acessado em: 10/11/2016.
- SANTOS, E.; KLIEMANN, H. J. Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 139-146, 2005.

RAIJ, B. VAN. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991, 343p.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento do fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da Ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, W. S. A.; CASTRO, D. A.; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 563-568, 2006.

SILVA, E. B.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; RESENDE JUNIOR, P. S. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009.

SILVA, J. T. A.; RODRIGUES, F.; ALVES, J. J. M. Adubação fosfatada do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). **Ceres**, v. 62, n. 3, p. 319-322, 2015.

SILVA, M. L. S. Sistema de amostragem do solo e avaliação da disponibilidade de fósforo na fase de implantação do plantio direto. 2002. 97 f. Dissertação de mestrado, Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

SOARES, I.; LIMA, S. C.; CRISÓTOMO, L. A. Crescimento e composição mineral de mudas de graviola em resposta a doses de fósforo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 343-349, 2007.

SOUSA, G. G.; VIANA, V. A.; BRAGA, E. S.; AZEVEDO, B. M.; MARINHO, A. B.; BORGES, F. R. M. Fertirrigação com biofertilizante bovino: Efeitos no crescimento, trocas gasosas e na produtividade do pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 503-509, 2013.

SOUSA, A. E. C.; GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G.; SOARES, F. A. L.; NOBRE, R. G. Crescimento e consumo hídrico de pinhão manso sob estresse salino e doses de fósforo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 310-318, 2011.

SOUZA, P. T.; SILVA, E. B.; GRAZIOTI, P. H.; FERNANDES, L. A. NPK fertilization on initial growth of physic nut seedlings in quartzarenic neossol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 559-566, 2011.