

NÍVEIS CRÍTICOS DE BORO PARA A CULTURA DO GIRASSOL EM SOLOS COM TEXTURAS CONTRASTANTES¹

MANOEL EUBA NETO^{2*}, VÂNIA DA SILVA FRAGA³, WALTER ESFRAIN PEREIRA⁴, BRUNO DE OLIVEIRA DIAS⁵, JACOB SILVA SOUTO⁶

RESUMO - A deficiência de boro na cultura do girassol pode causar diminuição na produção, principalmente pela queda dos capítulos. A maioria dos solos, notadamente os tropicais apresentam baixo teor de boro (B) disponível. Objetivando verificar a resposta do girassol a aplicação de boro em diferentes ordens de solos tropicais, com texturas diferenciadas, realizou-se um experimento em condição controlada. Foram aplicadas às amostras dos solos, coletados na camada de 0-20 cm, quatro doses de B na forma de ácido bórico (H_3BO_3) em soluções nas concentrações de 0,0; 0,04; 0,08 e 0,16 mol m^{-3} . Os solos avaliados foram: PAC - Argissolo Acinzentado; PVe - Argissolo Vermelho eutrófico; PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo; RL - Neossolo Litólico; RY - Neossolo Flúvico; VX - Vertissolo Háptico. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 4 (solos x doses), com quatro repetições e uma planta por vaso. A quantificação do teor de B foi realizada pelo método de extração com solução de cloreto de bário de 5,0 mol m^{-3} submetida a aquecimento com radiação de micro-ondas e a determinação do teor de B nos solos foi realizada por meio de técnica colorimétrica utilizando o reagente azometina-H. Os teores correspondentes aos níveis de suficiência de B estabelecidos nos solos permitiram, independente da dose adicionada, uma produtividade superior a 90% de rendimento relativo. A maior produção de matéria seca do girassol esteve associada ao teor de B no solo entre 0,04 e 0,08 mol m^{-3} , verificando-se decréscimo com concentrações superiores.

Palavras-chave: Azometina-H. Micronutriente. *Helianthus annuus* L.

CRITICAL LEVELS OF BORON FOR SUNFLOWER IN SOILS WITH CONTRASTING TEXTURES

ABSTRACT – Boron deficiency in sunflower cultivation can cause decreased production, mainly by the fall of the inflorescence diameter. Most soils, especially in the tropics present low content of boron (B) available. To ascertain the response of sunflower to boron application in different orders of tropical soils with different textures, we carried out an experiment under controlled condition. Were applied to the soil samples collected in the layer 0-20 cm, four doses of B as boric acid (H_3BO_3) in solutions at concentrations of 0.0; 0.04; 0.08 and 0.16 mol m^{-3} . The soils were: PAC - Argissolo Acinzentado; PVe - Argissolo Vermelho eutrófico; PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo; RL - Neossolo Litólico; RY - Neossolo Flúvico; VX - Vertissolo Háptico. The experimental design used was a randomized blocks in factorial scheme 4 x 6 (doses x soils) with four replications and one plant per pot. Quantification of B content was performed by extraction method with barium chloride solution of 5.0 mol m^{-3} subjected to heating with microwave radiation and determining the B content in the soil was performed by colorimetric technique using the azomethine-H reagent. The contents at levels sufficient to allow the soil B established independent of the dose added, a yield exceeding 90% yield on. The highest dry matter yield of sunflower was associated with the B concentration in the soil between 0.04 and 0.08 mol m^{-3} and there was a decrease with higher concentrations.

Keywords: Azomethine-H. Micronutrient. *Helianthus annuus* L.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 06/07/2012; aceito em 24/02/2014

Parte do trabalho de dissertação de conclusão do curso de mestrado em manejo de solo e água do primeiro autor.

²Departamento de Química e Biologia, UEMA/CESC, Praça Duque de Caxias S/N, Morro do Alecrim, C.E.P: 65.604-370, Caxias – MA; meuban@hotmail.com

³Centro de Ciências Agrárias, DSER, UFPB, Campus II, Cidade Universitária, Areia – PB, CEP: 58.397.000; vfraga@cca.ufpb.br

⁴Centro de Ciências Agrárias, DSCFS, UFPB, Campus II, Cidade Universitária, Areia – PB, C.E.P: 58.397-000; wep@cca.ufpb.br

⁵Bolsista PNP/CAPES do Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo e Água, Centro de Ciências Agrárias, DSER, UFPB, Campus II, Cidade Universitária, Areia – PB, CEP: 58.397.000; bruno2dias@yahoo.com.br

⁶Professor Associado, Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, Patos - PB, CEP 58.700-970; jacob_souto@uol.com.br

INTRODUÇÃO

A deficiência de boro (B) pode causar diminuição da produção, principalmente pela queda do capítulo (KRUDNAK et al., 2013). O B está relacionado a muitos processos fisiológicos da planta, como o transporte de açúcares, síntese da parede celular e, o metabolismo de carboidratos e nitrogênio (OUZOUNIDOU et al., 2013; ÇAKMAK; RÖMHELD, 1997).

Entretanto, no girassol, os sintomas de deficiência aparecem na fase de florescimento; sendo evidenciado também pela redução do crescimento de folhas novas que se mostram mal formadas e necróticas e, o capítulo apresenta-se deformado e com tamanho reduzido (LEITE et al., 2005).

O girassol e seus componentes se constituem uma das matéria-primas para a matriz energética brasileira, através da utilização do óleo na produção de biodiesel (BONACIN et al., 2009), e isto tem despertado o interesse dos atores do setor agrícola pela cultura, por tornar possível o incremento da renda.

A cultura do girassol é especialmente exigente em boro B; no entanto, em condições tropicais, a deficiência de B no solo constitui uma séria limitação para o desenvolvimento de diversas culturas de interesse econômico, devido à baixa fertilidade natural do solo, a remoção de culturas e uso inadequado ou excessivo de acidez corretiva que contribuem para a sua insolubilização (STEINER; LANA, 2013).

O boro é um dos micronutrientes cuja deficiência é mais comum no Brasil (MALAVOLTA, 2006). Este micronutriente é geralmente encontrado em maior quantidade associado à matéria orgânica (GOLDBERG; SUAREZ, 2012). De acordo com Acuña (2005), a disponibilidade desse micronutriente depende também do material de origem, da mineralogia, da textura, encontrando-se mais disponível nos solos de textura fina em comparação com os de textura grossa.

Em função da importância do boro para a

produtividade do girassol, é fundamental o conhecimento dos níveis críticos visando à orientação de uma adubação eficiente. Pois, apesar de B ser um micronutriente essencial para a planta, é também fitotóxico se presente em quantidade excessiva no meio de cultura (RAJAIE et al, 2009). Níveis críticos entre 0,72 e 2,34 mg kg⁻¹ extraídos com água quente foram observados por Lima et al. (2007), enquanto teores de 0,45 e 36,0 mg kg⁻¹ foram encontrados por Silva e Ferreyra (1998) no solo e na planta, respectivamente. Entretanto, não existem informações para avaliar a disponibilidade de B em tipos de solos variados.

Avaliar o potencial dos solos para a produção do girassol e a resposta da cultura à aplicação de doses de boro ao solo é de suma importância para sua implantação. Assim, objetivou-se com este trabalho verificar a resposta do girassol à adição de boro em ordens de solos com texturas diferentes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na cidade de Areia - PB. Foram utilizadas seis amostras de três ordens de solos de acordo com Embrapa (2006), com texturas contrastantes, coletados nas coordenadas 06°53'17,3'' S 035°07'42'' W, Argissolo Acinzentado (PAC); 06°58'14,6'' S 035°43'24,2'' W, Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA); 06°50'41,6'' S 038°22'3,3'' W, Argissolo Vermelho eutrófico (PVe); 07°08'18,9'' S 036°02'56,7'' W, Neossolo Litólico (RL); 06°48'45,1'' S 038°13'21,5'' W, Neossolo Flúvico (RY) e 06°48'00,5'' S 038°09'41,2'' W, Vertissolo Háplico (VX).

As amostras dos solos foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, às quais depois de secas ao ar, foram passadas em peneira de 2 mm, caracterizadas química e fisicamente (Tabelas 1 e 2) (EMBRAPA, 2011), acondicionadas em vasos plásticos com capacidade de 5,0 dm⁻³.

Tabela 1. Atributos químicos dos solos usados no experimento (PAC - Argissolo Acinzentado, PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo, PVe - Argissolo Vermelho eutrófico, RL - Neossolo Litólico, RY - Neossolo Flúvico e VX - Vertissolo Háplico).

| Característica | PAC | PVe | PVA | RL | RY | VX |
|---|-------|------|------|-------|-------|------|
| pH (H ₂ O) 1:2,5 | 6,09 | 6,25 | 4,78 | 6,92 | 6,75 | 6,75 |
| B (mg kg ⁻¹) | 0,23 | 0,15 | 0,34 | 0,17 | 0,37 | 0,27 |
| COT (g kg ⁻¹) | 2,50 | 4,30 | 2,10 | 5,90 | 1,80 | 2,10 |
| MO (g kg ⁻¹) | 4,38 | 7,46 | 3,59 | 10,10 | 3,19 | 3,59 |
| P (mg kg ⁻¹) | 68,44 | 7,37 | 0,93 | 93,57 | 5,90 | 60,0 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,10 | 0,19 | 0,09 | 0,35 | 0,48 | 0,31 |
| Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,09 | 0,18 | 0,09 | 0,33 | 0,50 | 0,32 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 1,00 | 5,20 | 0,20 | 3,30 | 36,70 | 9,60 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,30 | 0,30 | 0,50 | 1,10 | 0,80 | 3,45 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,00 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 1,73 | 2,06 | 2,06 | 0,00 | 0,41 | 1,24 |

COT= carbono orgânico total; MO= matéria orgânica.

Tabela 2. Atributos físicos dos solos usados no experimento (PAC - Argissolo Acinzentado, PVA - Argissolo Vermelho-Amarelo, PVe - Argissolo Vermelho eutrófico, RL - Neossolo Litólico, RY - Neossolo Flúvico e VX - Vertissolo Háplico).

| Características | PAC | PVe | PVA | RL | RY | VX |
|-----------------------------------|------|---------|-----|------|-------|---------|
| Areia total (g kg ⁻¹) | 885 | 580 | 442 | 847 | 320 | 499 |
| Silte (g kg ⁻¹) | 26 | 276 | 159 | 83 | 365 | 283 |
| Argila (g kg ⁻¹) | 89 | 144 | 399 | 70 | 315 | 218 |
| Classe textural | A.F. | F.Ar.A. | F. | A.F. | F.Ar. | F.Ar.A. |

A.F.= areia franca; F.Ar.A.= franco argilo arenosa; F.= franca; F.Ar.= franco argilosa.

A extração do B dos solos foi realizada com solução 5,0 mol m⁻³ de BaCl₂.2H₂O submetida a aquecimento com radiação de micro-ondas nas potências de 700 W e 490 W, por 4 e 5 minutos, sequencialmente, e a determinação do teor de B nos solos foi realizada por meio de técnica colorimétrica utilizando o reagente azometina-H (ABREU et al., 2001).

Avaliou-se a necessidade de calcário para elevação dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ pelo método da saturação por bases (LIMA et al., 2007). Realizou-se a correção de acidez dos solos com uma mistura de CaCO₃ e de MgCl₂.6H₂O em uma relação molar de 3:1 para o solo PAC; o solo PVA recebeu apenas CaCO₃ e os solos PVe e RY receberam apenas MgCl₂.6H₂O, em seguida o solos foram incubados por três meses. Decorrido o período de incubação foram aplicadas às amostras dos solos quatro doses de B na forma de H₃BO₃ (p.a.) em solução na concentração de 0,0; 0,04; 0,08 e 0,16 mol m⁻³. E, novamente incubados por 35 dias.

Antes da semeadura do girassol (*Helianthus annuus* L., cultivar Hélio 863), o solo recebeu adubação com macro e micronutrientes, com exceção de B. Foram aplicados em cada vaso 4,17 x 10⁻³ mol de N [CO(NH₂)₂]; 2,21 x 10⁻³ mol de P (KH₂PO₄); 2,21 x 10⁻³ mol de K (KH₂PO₄); 1,09 x 10⁻⁴ mol de Mn (MnSO₄.H₂O); 2,66 x 10⁻⁵ mol de Cu (CuSO₄.5H₂O); 6,96 x 10⁻⁵ mol de Zn (ZnSO₄.7H₂O) e 8,09 x 10⁻⁷ mol de Mo [(NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O]. Realizaram-se adubações de cobertura aos 15 e 30 dias após a emergência – DAE, aplicando-se em cada vaso 1,89 x 10⁻³ mol de N (NH₄)₂SO₄ e 1,89 x 10⁻³ mol de S (NH₄)₂SO₄.

Foram semeadas cinco sementes de girassol

em cada vaso; no primeiro desbaste, realizado 7 DAE, mantiveram-se duas plantas por vaso e com o segundo desbaste realizado aos 10 DAE, manteve-se apenas uma planta por vaso. Diariamente foi realizado o controle da umidade do solo, sendo adicionada água para preencher 50% do volume total de poros.

Aos 50 DAE foi efetuado o corte da parte aérea das plantas de cada vaso rente ao solo e, as raízes foram retiradas dos vasos, removendo-se cuidadosamente o solo aderido a elas, primeiramente com água corrente de torneira e depois com água destilada; em seguida foi feita uma pré-secagem do material vegetal ao sol, que posteriormente foi colocado em sacos de papel e levados para uma estufa de circulação de ar, a 70 °C, até peso constante. A matéria seca foi triturada em moinho tipo Wiley e queimada em forno “mufla” (550-650 °C) para dosagem do B (TEDESCO et al., 1995).

Com base nos valores de produção de matéria seca (MS) das plantas, da concentração de B na MS, foram calculados os acúmulos de B na MS (raiz e parte aérea das folhas, do caule, do capítulo e total) dividindo-se os conteúdos de B na MS pelo volume de solo do vaso, obtendo-se as quantidades de B extraídas dos solos pelas plantas.

O nível de suficiência de B no solo foi determinado a partir de dados de produtividade de MS da parte aérea; dos teores de B no solo e na folha, e do rendimento relativo da cultura do girassol, estabelecendo-se o nível de suficiência com a utilização do modelo Cate-Nelson (MOTERLE, 2008).

O rendimento relativo da cultura do girassol foi determinado a partir da produção obtida da resposta do girassol no experimento com doses de B conforme metodologia descrita em Schindwein e

$$RR(\%) = \frac{\text{Rendimento da cultura do girassol sem o fertilizante}}{\text{Rendimento máximo da cultura do girassol para a dose do fertilizante}} \times 100$$

O teor crítico foi definido como o teor de nutriente no solo capaz de propiciar 90% do rendimento máximo da cultura, e a dose de máxima eficiência física (DMEF), ou seja, dose em que se alcança o rendimento máximo (100%) foi conseguida derivando-se a função matemática de resposta correspondente igualada à zero. Considera-se 90% da DMEF como dose de máxima eficiência econômica (DMEE)

(ELTZ et al., 2010). Durante o crescimento das plantas foram descritos sintomas de deficiência e de toxicidade de boro.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6 x 4 (solos x doses), com quatro repetições e a unidade experimental foi representada por um vaso com uma planta.

Os dados obtidos para as doses de B foram submetidos à análise de variância, ao teste F e regressão para as características que apresentaram significância. Realizaram-se todas as análises através do programa SAS/STAT (SAS, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor dinamismo na análise dos dados experimentais os solos foram separados por grau de

desenvolvimento ou intemperismo do solo (Ki), calculado pela relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \times 1,7$, ficando os solos PAC, PVE e PVA como os mais desenvolvidos, menor Ki, e os solos RL, RY e VX como os menos desenvolvidos, maior Ki (KER, 2013).

A produção de matéria seca (MS) da planta do girassol foi significativamente influenciada pelas doses de B aplicadas nos seis solos pesquisados e pela interação entre solos e doses de boro, mostrando que estas características se comportaram dependentemente (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de quadrado médio e coeficiente de variação (C.V.) da matéria seca da folha (MSF), do caule (MSC), da raiz (MSR), do capítulo (MSCAP) e matéria seca total (MST) aos 50 dias após a emergência do girassol, cv. Helio 863, submetidas a doses de boro (DB), em três ordens de solos.

| Fontes de variação | G L | Variáveis | | | | |
|--------------------|-----|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| | | MSF | MSC | MSR | MSCAP | MST |
| Blocos | 3 | 0,01 ^{ns} | 5,88 ^{**} | 4,37 ^{**} | 3,43 ^{ns} | 0,02 ^{ns} |
| Solos (S) | 5 | 50,53 ^{**} | 249,24 ^{**} | 242,08 ^{**} | 79,98 ^{**} | 1.755,08 ^{**} |
| Doses de boro (DB) | 3 | 10,27 ^{**} | 11,38 ^{**} | 7,05 ^{**} | 5,51 ^{**} | 55,46 ^{**} |
| S x DB | 15 | 10,13 ^{**} | 11,18 ^{**} | 42,83 ^{**} | 8,74 ^{**} | 83,74 ^{**} |
| Resíduo | 69 | 0,01 | 0,44 | 0,49 | 0,57 | 0,01 |
| C.V. (%) | | 1,20 | 4,11 | 8,28 | 10,01 | 0,27 |

^{ns}, ^{**}: não significativo; significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

A interação observada entre os solos e as doses de boro está associada à mudança de comportamento do boro nos diferentes tipos de solos, provavelmente, em função das diferenças existentes em relação à textura, teor de matéria orgânica, reação do solo e mineralogia, que contribuem para maior ou menor adsorção do boro pelo solo; exemplificando, pode-se verificar que no solo PVE os níveis de boro

provocam mudanças significativas na produção de MST pelo girassol, o que se observa de forma menos pronunciada e irregular no solo PVA (Figura 1A); análise semelhante pode ser feita com os solos plotados na Figura 1B.

As plantas de girassol cultivadas nos solos PAC e PVE tiveram suas produtividades reduzidas a partir da dose de $0,08 \text{ mol m}^{-3}$ de B aplicadas (Figura

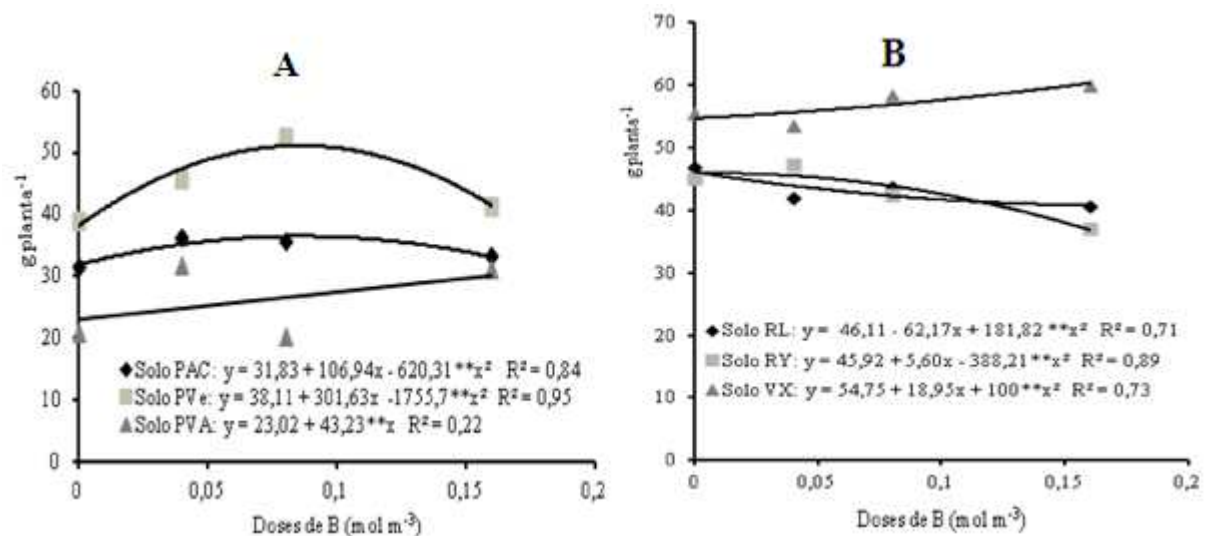


Figura 1. Matéria seca total de girassol em função de doses de boro, em três ordens de solos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Marchetti et al. (2001) em experimento com girassol cultivado em areia lavada e em condições de casa de vegetação com a cultivar Embrapa 122-V2000, de ciclo precoce e porte baixo semelhante à utilizada nessa pesquisa.

Os dados de produção de MST de girassol apresentaram ajuste quadrático/linear em função das doses de B. Para o solo PVA, embora as doses de boro tenham influenciado significativamente no incremento da MST, o ajuste linear crescente não é conclusivo, uma vez que o R^2 é muito baixo (Figura 1A). Al-Amery et al. (2011), também, verificaram ajuste linear crescente para matéria seca de girassol em função do aumento da aplicação de boro.

A diminuição na produção de MST de plantas de girassol observadas nas doses acima de $0,10 \text{ mol m}^{-3}$ para o solo PAC (arenoso) e $0,09 \text{ mol m}^{-3}$ para o PVe (franco arenoso) apresentados na Figura 1A, pode ser indicativo de efeito tóxico que induziu as perdas da área foliar fotossinteticamente ativa, devido à clorose e por conseguinte necrose dos tecidos (MARCHETTI et al., 2001), sintomas também observados na presente pesquisa. Bonacin et al. (2009) observaram que o aumento das doses de boro aplicados com o teor médio inicial no solo de $0,22 \text{ mg ha}^{-1}$, não influenciou as características das sementes de girassol; fatos discordantes com as observações realizadas na presente pesquisa em relação ao teor médio inicial de boro no solo.

Nos solos PAC e PVe a maior produtividade foi alcançada com as doses de máxima eficiência física (DMEF) equivalentes a $0,086$ e $0,085 \text{ mol m}^{-3}$ de B, correspondentes a 37 e 51 g planta^{-1} , respectivamente (Figura 1A).

No solo PVA, textura argilosa, ocorreu discrepância nos resultados experimentais, com tendência linear na produção de MST, com o máximo rendimento obtido na dose de $0,04 \text{ mol m}^{-3}$ de B, equivalente a produtividade de 32 g planta^{-1} . Entretanto, na dose intermediária de $0,08$ e na dose de $0,16 \text{ mol m}^{-3}$ de B aplicadas na adubação do referido solo a produtividade foi de 20 e 31 g planta^{-1} , sugerindo que a dose $0,04 \text{ mol m}^{-3}$ de B é a adequada para a cultura e solo avaliado (Figura 1A). Castro et al. (2006) trabalhando com girassol em condições experimentais semelhantes obtiveram para a produção de MST crescimento linear significativo até a dose $0,04 \text{ mol m}^{-3}$ de B e permanecendo constante até a dose $0,16 \text{ mol m}^{-3}$.

O melhor ajuste dos dados de MST foi o modelo quadrático para os Argissolos pesquisados. Ao se observar a Figura 1B, verifica-se que a produtividade da matéria seca do girassol desenvolvendo-se nos solos RL, RY e VX ajustaram-se ao modelo quadrático.

Nos solos RY e VX observou-se ajuste quadrático na produção de MST nas plantas de girassol, sendo o máximo rendimento obtido com as doses de $7,2 \times 10^{-3}$ e $0,19 \text{ mol m}^{-3}$ de B, equivalente a 46 e 62

g planta^{-1} . Com a aplicação de $0,04 \text{ mol m}^{-3}$ de B no solo RY houve um incremento na produção de MST em torno de 5% em relação à testemunha. No solo VX com a dose de $0,16 \text{ mol m}^{-3}$ de B aplicada se alcançou uma MST de 60 g planta^{-1} e na testemunha foi obtido 56 g planta^{-1} , o que corresponde a um decréscimo de apenas $9,3\%$ na produtividade da testemunha em relação à dose teórica de máxima eficiência. Devido ao baixo incremento na produção, a adubação de ambos os solos (RY e VX) com B, provavelmente, não se justifica em termos de eficiência econômica para a cultura do girassol (Figura 1B).

A maior produção de MST do girassol associada ao teor de B no solo próximo a $0,04$ e $0,08 \text{ mol m}^{-3}$, sugere que esses valores podem ser considerados como limites de toxicidade para a cultivar de girassol Hélio 863. Maiores teores provavelmente ocasionariam queda na produtividade de sementes da cultura pela redução dos componentes produtivos. O aumento de boro a partir de $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ou $0,12 \text{ mol m}^{-3}$, inibiu linearmente a massa seca das sementes avaliada após o florescimento pleno das plantas (BONACIN et al., 2009). Malavolta (2006) recomenda a aplicação de $1,0$; $2,0$ e $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B para a cultura do girassol em solos arenosos, intermediários e argilosos, respectivamente, corroborando com as observações dessa pesquisa.

Considerando a relação de produtividade nos solos mais ou menos desenvolvidos em função das doses de B aplicadas, $0,0$; $0,04$; $0,08$ e $0,16 \text{ mol m}^{-3}$, a produção de MST de girassol nos solos mais desenvolvidos (PVA, PVe e PAC) foi inferior à obtida nos solos menos desenvolvidos em cerca de 25 ; 11 ; 15 e 14% , nas respectivas doses (Figura 1B). Esses resultados indicam relação com os atributos mineralógicos dos solos, uma vez que o solo PVe é mineralogicamente semelhante aos solos menos desenvolvidos por possuir mica e mineral 2:1 (MONTEIRO, 2010), característica que, provavelmente, explica a superioridade de produtividade deste em relação aos solos PAC e PVA; e, semelhança com os solos menos desenvolvidos, mostrando produtividade inferior apenas em relação ao solo VX.

Para o parâmetro matéria seca do capítulo (MSCAP) foi observado que as doses de boro não influenciaram no crescimento do capítulo no solo PAC (Figura 2A). Resultados semelhantes foram observados por Al-Amery et al. (2011) em experimento com níveis de boro na cultura do girassol em duas épocas de cultivo.

Enquanto que, no solo PVA ocorreu ajuste linear crescente com as doses de boro. Já no solo PVe ocorreu ajuste quadrático, com produtividade máxima igual a $9,5 \text{ g planta}^{-1}$, na dose de $0,104 \text{ mol m}^{-3}$ de B aplicado; a partir deste ponto ocorreu decréscimo na produção de matéria seca do capítulo (MSCAP) (Figura 2A). KRUDNAK et al., (2013), verificaram efeito significativo da aplicação de níveis de boro na produção de pólen em variedades de girassol.

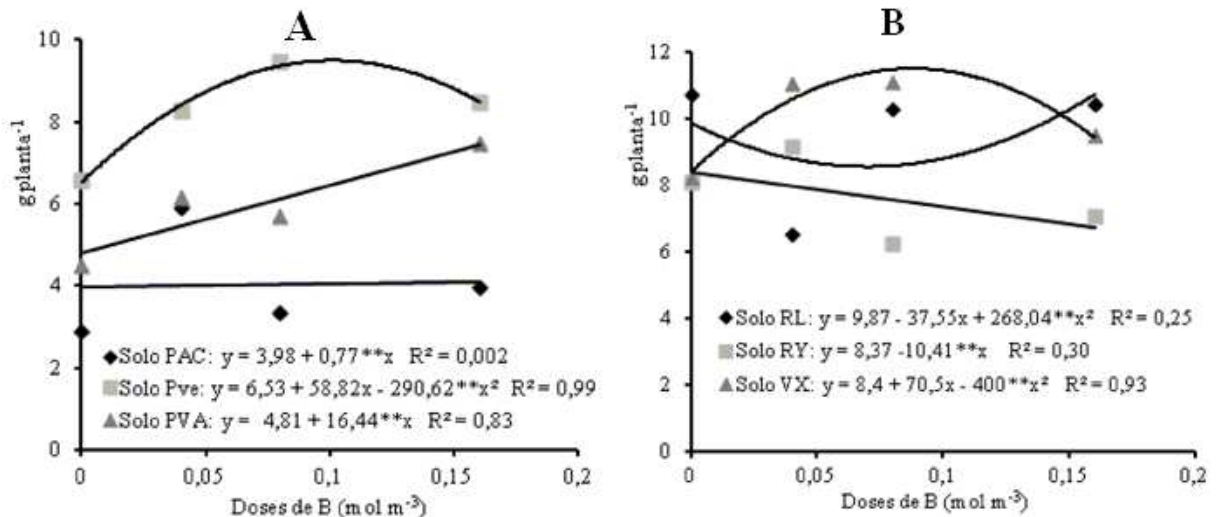


Figura 2. Matéria seca do capítulo de girassol em função de doses de boro, em três ordens de solos.

Nos solos VX e RL ocorreram ajustes quadráticos crescentes e decrescentes, com produção máxima e mínima de 11,5 e 8,6 g planta⁻¹ nas doses de 0,088 e 0,072 mol m⁻³ de B aplicadas, respectivamente. Já no solo RY verificou-se efeito linear decrescente, com a maior produção na testemunha (Figura 2B); ou seja, as doses de boro não influenciaram o crescimento do capítulo, o que também é verificado para o solo RL nas doses de B intermediárias.

Pode-se verificar que a interação observada entre os solos Pve, VX e as doses de boro promoveram mudanças significativas na produção de matéria seca do capítulo de girassol, inclusive, estes solos exibem elevados coeficientes de determinação $R^2 = 0,99$ e $R^2 = 0,93$, respectivamente (Figura 2A e 2B).

Observou-se que os níveis de suficiência estabelecidos para os solos RY, PAC e PVA foram de 0,42; 0,34 e 0,55 mg kg⁻¹ de B (Figuras 3A, B e C).

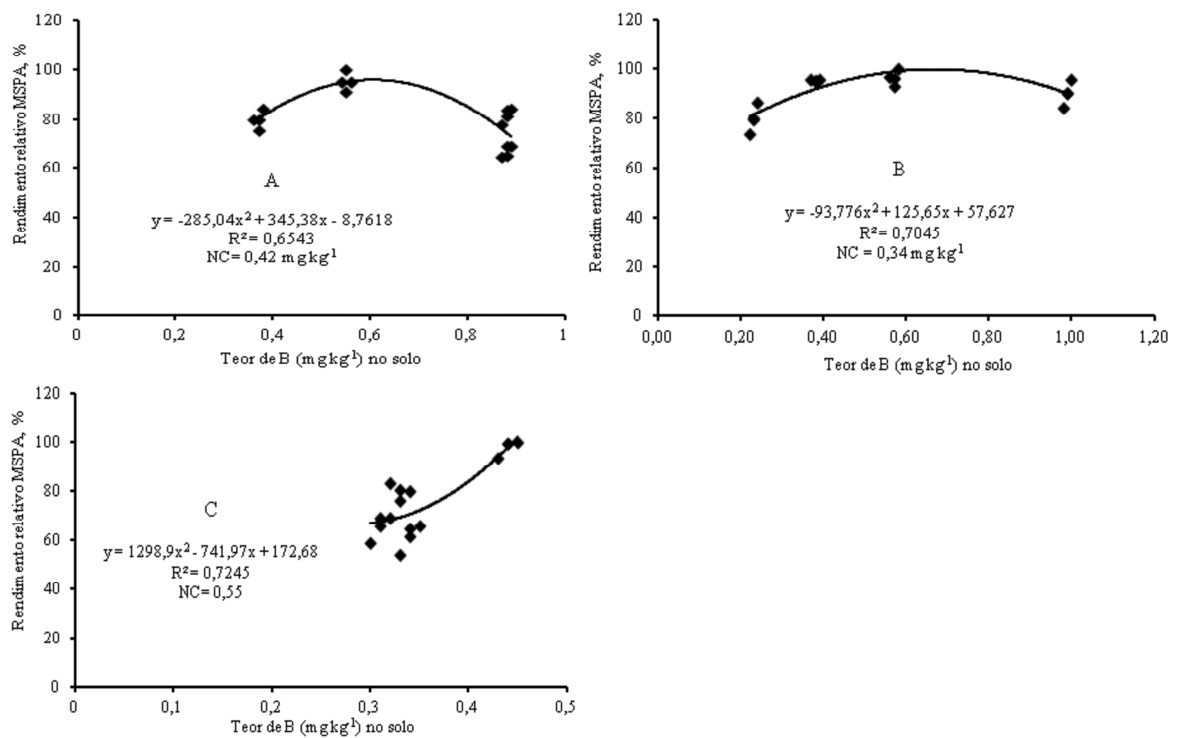


Figura 3: Nível crítico de boro para a matéria seca da parte aérea (MSPA) de girassol, cultivar Hélio 863. A = Neossolo Flúvico (RY); B = Argissolo Acinzentado (PAC) e C = Argissolo Vermelho Amarelo (PVA).

Os solos RY e PVA apresentam nível crítico médio para a cultura do girassol, apesar das diferenças nos teores de argila (Tabela 2) e da constituição mineralógica contendo mica e mineral 2:1 pelo solo RY, quando o esperado era que se apresentassem em diferentes níveis de suficiência (MOTERLE, 2008); já o solo PAC, de textura arenosa (Tabela 2), situou-se no nível crítico baixo.

Menores valores de níveis críticos para solo argiloso e maiores para solo arenoso foram encontrados por Lima et al. (2007), resultados antagônicos aos observados nessa pesquisa (Figuras 3A, B e C).

Verificou-se que a obtenção de 90% da produção máxima seria atingida nas doses de 0,42; 0,34 e 0,55 mg kg⁻¹ de B aplicada aos solos RY, PAC e PVA, sendo a segunda dose próxima e, a primeira e a terceira superiores a obtida por Castro (2006), de 0,37 mg kg⁻¹, trabalhando com girassol em vaso, em solo semelhante ao da presente pesquisa, no Estado de São Paulo. Níveis críticos no solo de 0,45 mg kg⁻¹, com água quente, foram obtidos para girassol por Silva e Ferreyra (1998), trabalhando com girassol em vaso, em ordens de solos semelhantes ao dessa pesquisa no Estado do Ceará.

Deve-se salientar que, na faixa de suficiência, é indicado o limite inferior, por não ser determinado o nível tóxico (SILVA; FERREYRA, 1998). No entanto, adotando-se a redução de 10% da produção

máxima de MS a partir da dose máxima para o nível tóxico (LIMA et al., 2007), estima-se que o nível tóxico nos solos RY e PAC aproximem-se de 0,8 e 1,0 mg kg⁻¹, ou 1,17 e 1,23 considerando o efeito adicional da fertilidade natural em B, respectivamente; enquanto para o solo PVA não foi possível estimar.

Os níveis de suficiência dos solos RY, PAC e PVA estão próximos aos teores originais dos mesmos, antes da instalação do experimento que era de 0,37 (médio); 0,23 e 0,34 (baixos) mg kg⁻¹ de B, respectivamente. Manter esta disponibilidade com adubações de reposição são necessárias para o nivelamento de teores no solo visando alcançar as classes de disponibilidade média ou alta (MOTERLE, 2008).

Os teores de B nos solos RY, PAC e PVA variaram entre 0,14 e 1,0 mg kg⁻¹ de solo, tendo como média 0,52 mg kg⁻¹. Teores entre 0,12 e 0,80 mg kg⁻¹ de B foram constatados por Bataglia e Rajj (1990), resultados que guardam semelhança com os obtidos na presente pesquisa.

No único solo em que foi possível determinar o nível crítico de boro nos tecidos foliares do girassol, Neossolo Flúvico (Figura 4), encontrou-se 80,54 mg kg⁻¹, valor superior a 36,0 mg kg⁻¹ encontrado por Silva e Ferreyra (1998) trabalhando com girassol em solos do Estado do Ceará.

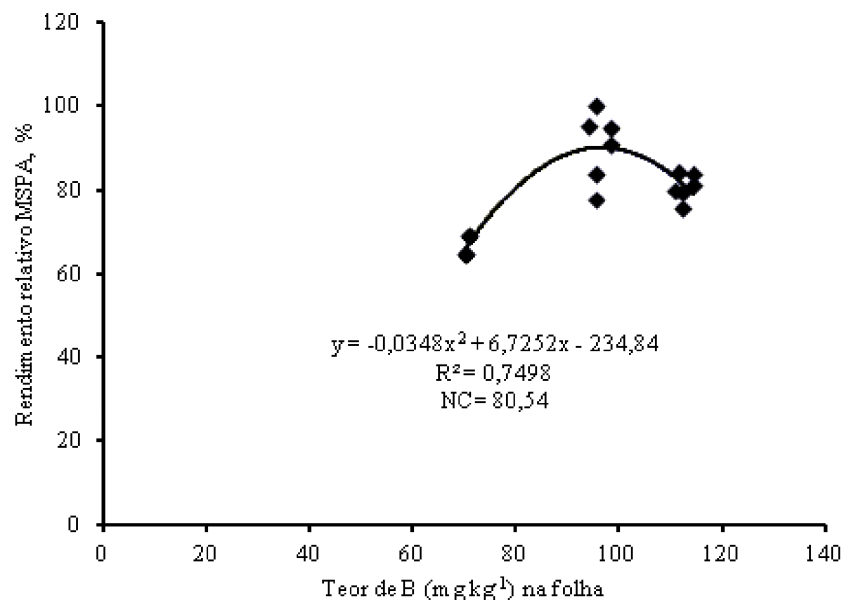


Figura 4: Nível crítico de boro para a matéria seca da folha de girassol, cultivar Hélio 863.

Estima-se que o nível tóxico na planta aproxima-se de 110,0 mg kg⁻¹ de B na folha. Lima et al. (2007) encontraram na planta, níveis críticos e tóxicos que variaram entre 7,5 e 129,6 mg kg⁻¹ e de 43,3 a 372,4 mg kg⁻¹, respectivamente. Em concentrações abaixo do nível crítico é alta a probabilidade de resposta à adubação com boro (SILVA; FERREYRA, 1998).

As folhas mais velhas exibiram pontos necróticos desenvolvendo-se nos solos: RL, textura arenosa e PVA, textura franca, nas doses de 0,08 e 0,16 mol m⁻³, respectivamente. Uma provável explicação para o comportamento do solo PVA é que foi aplicado CaCO₃. Com a aplicação do calcário a maior parte dos sítios de adsorção nas argilas e os grupamentos carboxílicos das frações húmicas da matéria orgânica do solo, podem ter sido ocupados pelo íon Ca²⁺; assim, poucos sítios ficaram disponíveis para adsorver B (AZEVEDO et al., 2001).

Deficiências foram verificadas nas folhas jovens que se apresentaram com menor tamanho, retorcidas, deformadas e grossas, nas plantas cultivadas no solo PAC, no tratamento onde não houve aplicação de B (testemunha), por sua textura arenosa e por ter recebido calagem com MgCl₂, houve a geração de cargas negativas que repelindo o B, deixa-o mais disponível na solução do solo; dessa forma, se esperaria que os sintomas de deficiência não ocorressem, no entanto, o teor de 0,23 mg kg⁻¹, correspondente a 0,46 kg ha⁻¹ de B presente no solo *in natura* é realmente baixo. Malavolta (2006) recomenda para a cultura do girassol em solos arenosos, doses de 1,0 kg ha⁻¹ de B para a adequada nutrição da planta.

CONCLUSÕES

As doses de boro aplicadas aos solos aumentaram a produção de matéria seca total, da parte aérea e da raiz, exceto para os solos RY e RL;

Os níveis críticos e tóxicos de B obtidos nos solos variaram de 0,34 a 0,55 mg kg⁻¹ e de 0,8 a 1,0 mg kg⁻¹, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; ANDRADE, J. C. Determinação de boro em água quente, usando aquecimento com microonda. In: RAIJ, B. van et al. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

ACUÑA, A. M. Los suelos como fuente de boro para las plantas. **Revista UDO Agrícola**, Oriente – Venezuela, v.5, n.1, p.10-26, 2005.

AL-AMERY, M. M.; HAMZA, J. H.; FULLER, M. P. Effect of boron foliar application on reproductive growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **International Journal of Agronomy**, New York - USA, v.2011, n.230712, p.1-5, 2011.

AZEVEDO, W. R. de; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p. 957-964, 2001.

BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores na determinação de boro em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.25-31, 1990.

BONACIN, G. A. et al. Características morfofisiológicas de sementes e produção de girassol em função de boro no solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.1, n.2, p.111-116, 2009.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, Netherlands - USA, v.193, n.2, p.121-123, 1997.

CASTRO, C. et al. Boro e estresse hídrico na produção de girassol. **Ciência Agroecologia**, Lavras, v.30, n.2, p.214-220, 2006.

ELTZ, F. L. F.; VILLALBA, E. H.; LOVATO, T. Fósforo e plantio direto de girassol no Paraguai. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.899-904, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. DONAGEMA, G. K. et al. (Orgs.). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS. 2. ed., 306p, 2006.

GOLDBERG, S.; SUAREZ, D. L. Role of organic matter on boron adsorption-desorption hysteresis of soils, **Soil Science**, New Brunswick - USA, v.177, n.7, p.417 – 423, 2012.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v.5, n.1, p.17-40. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/portaldperiodicos/index.php/geonomos/article/.../166>> Acesso em: 12 de fevereiro, 2013.

- KRUDNAK, A.; WONPRASAID, S.; MACHIKO-WA, T. Boron affects pollen viability and seed set in sunflowers. **African Journal of Agricultural Research**, Windhoek, Namibia, v.8, n.2, p.162-166, 2013.
- LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 641p.
- LIMA, J. C. P. de S. et al. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n. 1, p.73-79, 2007.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MARCHETTI, M. E. et al. Resposta do girassol, *Helianthus annuus*, a fontes e níveis de boro. **Maringá**, Curitiba, v.23, n.5, p.1107-1110, 2001.
- MONTEIRO, A. L. **Caracterização mineralógica de solos representativos do Estado da Paraíba**. 2010. 116f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- MOTERLE, D. F. **Disponibilidade de potássio afetada por cultivos em solos com longo histórico de adubação**. 2008. 108f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria.
- OUZOUNIDOU, G.; PASCHALIDIS, C.; PETROPOULOS, D.; KORIKI, A.; ZAMANIDIS, P.; PETRIDIS, A. Interaction of soil moisture and excess of boron and nitrogen on lettuce growth and quality, **Horticultural Science**, Slezská, Czech Republic, v.40,n.3, p.119–125, 2013.
- RAJAIE, M.; EJRAIE, A. K.; OWLIAIE, H. R.; TAVAKOLI, A. R. Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings in a calcareous soil. **International Journal of Plant Production**, Gorgan – Iran, v.3, n.1, p.39-49, 2009.
- SAS. SAS/STAT 9.3 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2011, 8621 p.
- SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.2037-2049, 2008.
- SILVA, F. R.; FERREYRA, H. F. F. Avaliação de extratores de boro em solos do estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.471-478, 1998.
- STEINER, F.; LANA, M. do C. Effect of pH on boron adsorption in some soils of Paraná, Brazil. **Chilean journal of agricultural research**, Chillán - Chile, v.73, n.2, p.181-186, 2013.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: UFRGS, 1995, p.83-116. (Boletim Técnico/UFRGS. Departamento de Solos, n.5).