

JOSÉ MARIA GOMES NEVES

**SILÍCIO E BORO REDUZEM OS EFEITOS DA DEFICIÊNCIA
HÍDRICA NO GIRASSOL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

N511s
2014

Neves, José Maria Gomes, 1982-
Silício e boro reduzem os efeitos da deficiência hídrica
no girassol / José Maria Gomes Neves. - Viçosa, MG, 2014.
xi, 85f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Paulo Geraldo Berger.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Girassol. 2. Silício. 3. Boro. 4. Girassol - Condições
hídricas. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia.
II. Título.

CDD 22. ed. 635.93355

JOSÉ MARIA GOMES NEVES

**SILÍCIO E BORO REDUZEM OS EFEITOS DA DEFICIÊNCIA
HÍDRICA NO GIRASSOL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 10 de setembro de 2014.

Leonardo Ângelo de Aquino
(Coorientador)

Júlio César Lima Neves
(Coorientador)

Trícia Costa Lima

Genelício Crusoé Rocha

Paulo Geraldo Berger
(Orientador)

A Deus.

Aos meus pais José de Oliveira Neves e Maria Ventura Gomes
Neves.

Aos meus irmãos Deivisson Gomes Neves e Viviano Gomes de
Oliveira Neves.

À minha namorada Paula Santos.

DEDICO

“Ninguém é suficientemente perfeito, que não possa aprender com o outro, e
ninguém é totalmente desprovido de valores, que não possa ensinar algo ao seu
irmão.”

São Francisco de Assis

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas muitas oportunidades concedidas.

Aos meus pais José de Oliveira Neves e Maria Ventura Gomes Neves, pela vida e pelo direcionamento; aos meus irmãos Deivisson e Viviano, pela paciência, tolerância e compreensão nos diversos momentos da vida e, acima de tudo, pelo estímulo e apoio incondicionais.

À minha namorada Paula Santos, fonte de inspiração e de motivação, pela cumplicidade.

À memória das minhas avós Cecília Gomes e Maria Neves, com quem pude aprender através dos seus ensinamentos; aos meus tios e familiares mais próximos que sempre estiveram comigo, pela força e pelo apoio de sempre.

À Universidade Federal de Viçosa, pela acolhida e pelo Curso.

À CAPES e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Professor Paulo Geraldo Berger, pela orientação, pelo empenho na realização deste trabalho, pela amizade, confiança, pelo incentivo constante e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos Professores Leonardo Ângelo de Aquino e Júlio César Lima Neves, pela coorientação, prontidão, competência e pelos conselhos, que foram fundamentais na execução deste trabalho e, principalmente, pela amizade.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Paulo Geraldo Berger, Prof. Dr. Leonardo Ângelo de Aquino, Prof. Dr. Júlio César Lima Neves, Dra. Prof^a.

Tricia Costa Lima, Prof. Dr. Genelício Cruso e Rocha, pelas suas sugestões, pela crítica e por todos os ensinamentos transmitidos durante a defesa da tese.

Aos funcionários do Vale da Agronomia, especialmente ao Paulo Paiva, Marcus e Leonardo, pela presteza, amizade e realização deste trabalho.

Aos meus caros amigos Cesar Fernandes Aquino, Humberto Pereira, Rafael Santos, Erica Rodrigues, Júlia Freitas, Edimilson Barbosa, Antônio Junior, Gessimar Camelo, Paulo Coutinho, Danilo Ribeiro, Marcelo Marques, Erica Melo, Monique Freitas e Leila Lins, pela amizade e pelo apoio.

E a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

JOSÉ MARIA GOMES NEVES, filho de José de Oliveira Neves e Maria Ventura Gomes Neves, nasceu em Caratinga, em 11 novembro de 1982.

Em dezembro de 2008, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Em março de 2009, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras, sob a orientação do Professor João Almir Oliveira, concluindo-o em 27 de julho de 2010.

Em agosto de 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da Tese em setembro de 2014.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Déficit hídrico e suas consequências na cultura do girassol	3
2.2. Silício como elemento benéfico às plantas	4
2.3. Respostas fisiológicas do girassol em condições de deficiência hídrica	6
2.4. Deficiência hídrica e nutricional na qualidade de sementes	7
3. REFERÊNCIAS	9
CAPÍTULO I	14
SILÍCIO E BORO ATENUAM OS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O GIRASSOL	14
RESUMO	14
CHAPTER I	15
SILICON AND BORON SOFTEN THE IMPACT OF WATER DEFICIT ON THE SUNFLOWER	15
ABSTRACT	15
1. INTRODUÇÃO	16
2. MATERIAL E MÉTODOS	18

	Página
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4. CONCLUSÃO	32
5. REFERÊNCIAS	33
CAPÍTULO II	38
SILÍCIO E BORO INFLUENCIAM O TEOR DE ÓLEO E A QUALIDADE DAS SEMENTES DE GIRASSOL SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA	38
RESUMO	38
CHAPTER II.....	39
INFLUENCE OF SILICON AND BORON OVER THE CONTENT OF OIL AND THE QUALITY OF SUNFLOWER SEEDS UNDER WATER DEFICIT	39
ABSTRACT.....	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAL E MÉTODOS	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4. CONCLUSÕES.....	55
5. REFERÊNCIAS	56
CAPÍTULO III.....	60
RESPOSTA DO GIRASSOL À APLICAÇÃO DE DOSES DE SILICATO E BORO NA TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO	60
RESUMO	60
CHAPTER III.....	61
SUNFLOWER RESPONSE TO THE APPLICATION OF SILICATE AND BORON DOSES IN TOLERANCE TO WATER DEFICIT.....	61
ABSTRACT.....	61
1. INTRODUÇÃO	62
2. MATERIAL E MÉTODOS	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4. CONCLUSÕES.....	80
5. REFERÊNCIAS	81

RESUMO

NEVES, José Maria Gomes, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2014. **Silício e boro reduzem os efeitos de deficiência hídrica no girassol.** Orientador: Paulo Geraldo Berger. Coorientadores: Leonardo Ângelo Aquino e Júlio César Lima Neves.

Objetivou-se neste estudo avaliar o efeito da aplicação de silicato de Ca e Mg e de B sobre a tolerância do girassol à deficiência hídrica. Dois experimentos foram realizados em condições de casa de vegetação, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. O experimento 1 foi realizado no período de 15 de agosto a 25 de novembro de 2012. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, num arranjo fatorial 2^4 com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de dois materiais corretivos de acidez (silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico), dois níveis de saturação por bases (30% e 70%), dois níveis de B ($0,18 \text{ mg dm}^{-3}$ valor disponível no solo e $1,20 \text{ mg dm}^{-3}$) e dois regimes hídricos (sem e com deficiência hídrica a partir do início do florescimento). As variáveis das trocas gasosas foram avaliadas aos 2 (55 dias após a semeadura—DAS), 9 (62DAS), 16 (69DAS), 21 (74 DAS) e 30 (83 DAS) dias após o emprego do déficit hídrico (DAEDH); um dia após cada data citada, avaliaram-se as variáveis da fluorescência da clorofila. A leitura do potencial hídrico foliar foi feita somente aos 22 DAEDH. A colheita foi realizada 102 DAS, quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica (R9). Os capítulos foram cortados, colocados em

sacos de papel, etiquetados e transportados ao Laboratório de Análise de Semente da UFV. Após a separação das sementes do capítulo, estas foram submetidas às avaliações de qualidade física, fisiológica e de teor de óleo das sementes. Pode-se concluir que o suprimento de Si e B podem reduzir os danos causados ao girassol pela deficiência hídrica. A maior dose de B proporcionou melhorias nas qualidades física e fisiológica das sementes de girassol em condições de déficit hídrico. O Si aumentou a produção de aquênios e reduziu a porcentagem de sementes classificadas como malformadas e vazias. O Si não alterou a qualidade fisiológica e teor de óleo das sementes. O experimento 2 foi realizado no período de 21 março a 1º de agosto de 2013, com o objetivo de verificar as respostas fitotécnicas, fisiológicas e o teor de óleo das sementes de girassol cultivado sob déficit hídrico com a aplicação de doses de silicato de Ca e Mg e de B. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, utilizando a matriz experimental Plan Puebla III, modificada por Leite (1984), para composição dos tratamentos, constituídos da combinação de dois fatores: doses de silicato de Ca e Mg e de B em função do regime hídrico (sem e com deficiência hídrica a partir do início do florescimento). Silício e B aumentam a tolerância do girassol ao déficit hídrico. Pesquisas futuras conduzidas com plantas cultivadas no campo em condições contrastantes de umidade do solo devem ser realizadas para determinar o benefício do Si e do B sobre a produtividade da cultura submetida ao déficit hídrico.

ABSTRACT

NEVES, José Maria Gomes, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2014. **Silicon and boron reduce the effects of water deficit in sunflower.** Adviser: Paulo Geraldo Berger. Co-Advisers: Leonardo Ângelo Aquino and Júlio César Lima Neves.

The objective of this study was to evaluate the effect of applying silicate of Ca and Mg and B on the tolerance of sunflower to water deficit. Two experiments were conducted under greenhouse conditions, in the Department of Phytotechny, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, state of MG. Experiment 1 was conducted from August 15 to November 25, 2012. The experimental design was randomized blocks in a factorial arrangement 2^4 with five replications. The treatments consisted of the combination of two acidity corrective agents (silicate of calcium and magnesium and dolomitic lime), two saturation levels by bases (30% and 70%), two levels of B (0.18 mg dm⁻³ value available in the soil and 1.20 mgdm⁻³) and two water regimes (with and without water deficit from the beginning of flowering). The variables of gas exchange were evaluate d2 (55 days after sowing-DAS), 9 (62 DAS), 16 (69 DAS), 21 (74 DAS) and 30 (83 DAS) days after the use of water deficit (DAUWD); one day after each date mentioned, the variable of chlorophyll fluorescence were evaluated. The reading of the leaf water potential was made only after 22 DAUWD. Plants were harvested 102 DAS, when the plants were in the physiological maturity (R9). The capitols were cut, placed in paper bags, labeled and

transported to the Seed Analysis Laboratory of UFV. After separation of the seeds of the capitulum, they were subjected to evaluations of physical, physiological quality and seed oil content. It can be concluded that the supply of Si and B can reduce the damage caused to sunflower by water deficit. The highest dose of B improved the physical and physiological qualities of sunflower seeds in water deficit conditions. The Si increased the production of achines and reduced the percentage of seeds classified as malformed and empty. The Si did not alter the physiological quality and oil content. Experiment 2 was conducted from March 21 to August 1, 2013, with the objective of verifying the phytotechnical and physiological responses and sunflower seed oil content cultivated under water deficit with the application of doses of silicate of Ca and Mg and B. The experimental design was a randomized block with four replications, using the experimental matrix Plan Puebla III, modified by Leite (1984), for the treatment composition, consisting of the combination of two factors: doses of silicate of Ca and Mg and B according to the water regime (with and without water deficit from the beginning of flowering). Silicon and B increase sunflower tolerance to water deficit. Future research conducted with plants grown in the field in contrasting soil moisture conditions should be performed to determine the benefit of Si and B on the crop yield submitted to water deficit.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O girassol apresenta características desejáveis sob o ponto de vista agrônomo, como ciclo curto, elevada qualidade e bom rendimento em óleo, o que o torna boa opção para os produtores brasileiros. Pode ser cultivado em safrinha, o que reduz a ociosidade das áreas e das operações industriais, pois esta espécie vegetal tem a capacidade de obtenção de grãos para a produção de óleo na entressafra, otimizando tempo, máquinas, recursos, mão de obra e terra. Outro ponto positivo dessa oleaginosa é o fato de o governo federal incentivar o uso do biodiesel na matriz energética nacional; por meio de sua adição ao óleo diesel comercializado, a cultura do girassol apresenta viabilidade técnico-ambiental na produção de biocombustíveis (SILVA et al., 2007).

Apesar do cenário favorável para a cultura do girassol no Brasil, a ocorrência de adversidades climáticas ainda é um fator de risco e de insucesso. Na maioria das vezes o girassol é cultivada na época da entressafra (safrinha), período em que as plantas estão mais propícias ou sujeitas ao estresse hídrico (LEITE et al., 2005). Assim, o déficit hídrico, tem sido apontado como evento prejudicial, levando à perda de produção e qualidade de grãos/sementes de girassol. Isso acontece não só no Brasil, mas em várias partes do mundo, como na Índia e Espanha, cujas perdas podem ultrapassar a 40% da safra.

De acordo com Ruppenthal (2011), a água constitui aproximadamente 90% da massa da planta, atua em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Ela desempenha a função de solvente, por meio do qual gases, minerais e outros

solutos entram nas células e movem-se na planta. Tem, ainda, papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no resfriamento, como na manutenção e distribuição do calor (NEUMAIER; NEPOMUCENO, 1994).

O efeito da deficiência hídrica na produção depende da época de ocorrência e de sua severidade. Estudos mostraram que o girassol é mais afetado ou sensível ao déficit hídrico durante a fase de florescimento e enchimento dos aquênios. Nessas fases as perdas são mais significativas e influenciam tanto a produção e como a qualidade das sementes, dependendo da duração e da intensidade da falta de água (CASTRO; FARIAS, 2005).

Levando em consideração esses conceitos, torna-se justificável e necessária a realização de estudos que contribuam para minimizar as perdas de rendimento e qualidade das sementes dessa oleaginosa pelo estresse por déficit hídrico.

O silício (Si) é classificado como benéfico e não como essencial às plantas. Sua aplicação na agricultura é de grande relevância para aquelas cultivadas em condições de estiagens. O acúmulo desse elemento nas folhas das plantas, forma uma dupla camada de sílica, o que causa a redução da transpiração por diminuir a condutância estomática, o que resulta em menor exigência de água pela planta (KORNDÖRFER, 2004; MA; YAMAJI, 2006).

Outro fator em estudo consiste na aplicação da adubação com B, que é fundamental, devido à relevância desse elemento no metabolismo da planta de girassol e pelo fato de seu requerimento ser vital para se alcançar alta produtividade (ZAHOOR et al., 2011). Uma vez que sua absorção pela planta na maior parte é realizada por fluxo de massa, conseqüentemente a baixa eficiência da adubação com B pode estar associada ao período de baixa disponibilidade hídrica pode limitar o fluxo de massa e maiores doses serão necessária para manter o adequado suprimento à plantas (MATTIELLO et al., 2009).

Objetivou-se, com esse trabalho, investigar a ação do silicato de Ca e Mg e de B sobre variáveis fitotécnicas e fisiológicas, a qualidade das sementes, o teor de óleo, e a produção de plantas de girassol expostas à deficiência hídrica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Déficit hídrico e suas consequências na cultura do girassol

O déficit hídrico tem grande importância com o fator associado à frutificação do cultivo do girassol (DRAGOVIC; MAKSIMOVIC, 1995). De acordo com um relatório de produção dessa oleaginosa na última década, houve redução em torno de 2%, o que é justificado pelo clima mais seco que o normal em várias regiões do mundo. Com as anomalias climáticas, são esperadas secas mais graves e pronunciadas no futuro (RAUF, 2008).

No Brasil, o cultivo do girassol é realizado na maioria dos casos, em segunda safra ou safrinha. Nessa época de cultivo a cultura pode ficar sujeita às condições climáticas desfavoráveis, em especial o déficit hídrico (BARROS, 2009).

Alahdadi et al. (2011) verificaram que tanto a quantidade quanto a distribuição de água têm um impacto significativo sobre a produção de aquênios e rendimento de óleo de girassol. Alahdadi et al. (2011) estudaram o efeito do déficit hídrico no rendimento das sementes e componentes de produção de híbridos de girassol. Mostraram que a deficiência hídrica diminuiu a produtividade das sementes e os teores de óleo das sementes, porém houve aumento no teor de proteína da semente em todos os híbridos em estudo.

Lorens et al. (1987) afirmaram que um dos pontos-chave que podem influenciar a redução de rendimento de aquênios, em plantas de girassol cultivadas

em condições de estresse hídrico é a sua dependência da severidade ao déficit hídrico e da tolerância do genótipo.

O déficit hídrico pode afetar todos os estádios fenológicos do girassol. Em diversos experimentos, tem sido demonstrado que a fase mais sensível ao déficit hídrico ocorre durante a fase reprodutiva, ou seja, durante a fase de floração ou enchimento de aquênios (REDDY et al., 2003). Castro et al. (2006) concluíram que as plantas de girassol que sofreram estresse hídrico a partir do florescimento ou no enchimento de aquênios tiveram menor produção de matéria seca total, de aquênios e do teor de óleo.

O déficit hídrico durante o estágio de florescimento pode fazer com que haja aborto do ovário, esterilidade do grão de pólen e diminuição do índice de área foliar. Estes fatores refletirão na redução do número e de massa de aquênios por capitulo (RAUF, 2008; NOBRE, 2012).

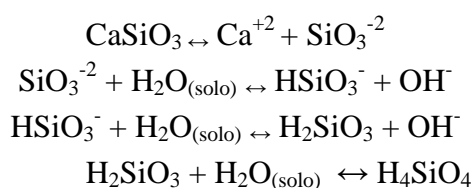
Reddy et al. (2003) estimaram que o déficit hídrico durante a fase vegetativa faz com que haja redução da produção de aquênios na faixa de 15-25%, enquanto na floração esse percentual fica em torno de 50%. No entanto, os danos foram mínimos, quando o déficit hídrico foi imposto durante a fase de enchimento de aquênios (KARAM et al., 2007). A justificativa seria que, nesta fase, a planta de girassol responde ao estresse no início da senescência foliar e da mobilização das reservas da haste para os aquênios em desenvolvimento (RAUF; SADAQAT, 2007). No entanto, a depender da severidade de deficiência hídrica pode ocorrer a redução de massa de sementes, devido menor produção de fotoassimilados, como resultado da perda excessiva de folhas nessa fase.

2.2. Silício como elemento benéfico às plantas

O silício (Si) não é um elemento essencial para a maioria das plantas. Contudo, as plantas o acumulam em seus tecidos, com teores de 0,1 a 10 dag/kg de matéria seca (LIANG et al., 2006). O Si é um elemento que confere às plantas maior resistência a estresses bióticos e abióticos (HATTORI et al., 2007; SAVVAS et al., 2009; RIBEIRO et al., 2011) e por isso classificado como benéfico. Alguns efeitos benéficos do Si incluem a redução do efeito do estresse hídrico (EPSTEIN, 1994). Especificamente com relação à deficiência hídrica, o efeito benéfico do Si tem sido associado ao aumento da capacidade de defesa antioxidante (GUNES et al., 2008), e

manutenção da taxa fotossintética e da condutância estomática da planta (HATTORI et al., 2005), em virtude da redução da transpiração atribuídos à camada de sílica que se acumula abaixo da cutícula (EPSTEIN, 1999; MA; YAMAJI, 2006).

A absorção do Si da solução do solo pelas plantas ocorre quando este se encontra na forma de ácido monossilícico. O H_4SiO_4 comporta-se como um ácido fraco, de forma que, em pH 7,0, apenas 0,2% ioniza-se na forma carregada negativamente $\text{SiO}(\text{OH})^{3-}$, diminuindo o grau de ionização com o aumento do pH (MCKEAGUE; CLINE, 1963). De acordo com Alcarde (1992), a ação neutralizante do silicato através da base SiO_3^{-2} se dá conforme as seguintes reações:



Em associação a esses efeitos benéficos à fisiologia das plantas, deve-se considerar ainda que a aplicação de silicato de Ca e Mg diminui a acidez do solo (CAMARGO et al., 2007), em razão da presença de agente neutralizante da acidez, como o SiO_3 (ALCARDE, 1992), e aumenta a disponibilidade de Ca, Mg (RAMOS et al., 2006), bem como o teor de Si no solo (CAMARGO et al., 2007), refletindo em incremento da produtividade de culturas.

É importante destacar a cultura do arroz, pois se trata da principal cultura que se beneficia da absorção ativa e também como maior acumuladora de Si em seus tecidos (RIBEIRO et al., 2011). Entretanto, diversas culturas consideradas não acumuladoras de Si se beneficiam da aplicação desse elemento. Há relatos de efeitos positivos dele em plantas ornamentais, olerícolas e em grandes culturas (CARVALHO et al., 2009).

Há pesquisas que buscam elucidar os mecanismos fisiológicos mediados pelo silício na tolerância à deficiência hídrica. Gunes et al. (2008) verificaram que 6 dos 12 cultivares estudados apresentaram tolerância ao déficit hídrico. A tolerância à deficiência hídrica envolve menor dano a membrana; e em geral, em todas as cultivares aumentaram a condutância estomática e elevaram o teor de prolina na presença do Si. Para Hajibond et al. (2008), o girassol acumula Si nos tricomas foliares. Zañão Júnior (2011) verificou ainda a capacidade de reduzir a taxa de transpiração, o aumento da taxa de fotossíntese líquida e da condutância estomática em resposta às doses de Si.

Carvalho et al. (2009) avaliaram o efeito do parcelamento de doses de silício na produção de girassol ornamental, cultivado em vaso, em casa de vegetação verificaram que a produção da matéria seca das inflorescências e das raízes e o diâmetro das inflorescências foram incrementados com a aplicação do Si. Os teores desse elemento na planta, também aumentaram com as doses de silicato de potássio aplicadas, confirmando que o girassol absorve e acumula Si em seus tecidos.

Ribeiro et al. (2011) enfatizam que há poucos estudos sobre os efeitos do Si no crescimento e na produtividade final de diversas culturas. A maior parte das publicações busca resposta aos aspectos nutricionais e para o papel benéfico desse elemento na resistência aos estresses bióticos.

Considerando que no Brasil, o girassol ocupa o quarto lugar como fonte de óleo vegetal comestível (NUNES, 2007) de elevado valores nutricional e comercial. Essa oleaginosa se destaca como uma das principais fontes de matéria prima para produção de óleo vegetal, devido ao aumento de área de cultivo e produtividade na última década. Assim, a utilização de silicato de Ca e Mg tende a ser uma prática agrícola comum (REIS et al., 2007), seja como corretivo de acidez dos solos e elevar a saturação por bases (CAMARGO et al., 2007), seja como condicionante da produção, pelo aumento da tolerância a estresses bióticos e abióticos (Ma E YAMAJI, 2008). Por isso, torna-se importante aumentar a base de conhecimento sobre os efeitos do Si nessa oleaginosa.

2.3. Respostas fisiológicas do girassol em condições de deficiência hídrica

No girassol, o déficit hídrico pode causar reduções acentuadas na produtividade, uma vez que ele desencadeia várias respostas nas plantas: como a redução do potencial hídrico foliar e o fechamento estomático, o qual provoca o declínio da condutância estomática, redução na concentração interna de CO₂ e na taxa fotossintética, o que, conseqüentemente, pode influenciar a eficiência do fotossistema II para manter um adequado balanço entre o transporte de elétrons e o metabolismo de carbono (TEREZA et al., 2005; SAUSEN 2007).

A análise cinética de emissão de fluorescência da clorofila constitui uma importante ferramenta para investigar o funcionamento do aparato fotossintético sob condições de déficit hídrico. Assim, o rendimento da fluorescência da clorofila revela o nível de excitação da energia no sistema de pigmentos que dirige a fotossíntese e

fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (FSII) (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989). Além disso, trata-se de um método não destrutivo, sensível e de fácil manuseio. Permite adquirir informações qualitativas e quantitativas sobre a condição fisiológica do aparato fotossintético (YUSUF, 2010).

Diversos trabalhos ligados à compreensão da influência do déficit hídrico sobre as respostas fisiológicas da cultura do girassol foram conduzidos durante os primeiros estádios de desenvolvimento da planta. No entanto, de acordo com Rawson e Tuner (1982), no período próximo à antese, o déficit hídrico exerce o efeito mais negativo para a produção de sementes.

2.4. Deficiência hídrica e nutricional na qualidade de sementes

O efeito da deficiência hídrica na produção de sementes depende da época de ocorrência e de sua severidade. No girassol, o déficit hídrico ocasionado, sobretudo, a partir da fase de florescimento e/ou enchimento dos aquênios (CASTRO et al., 2006), causa reduções severas tanto no rendimento das sementes quanto no teor de óleo (ANDRADE, 2000).

No período em que ocorre maior consumo de água e absorção de nutrientes pela planta, é de fundamental importância o equilíbrio entre a quantidade dos nutrientes no solo e o volume de água no sistema (CASTRO et al., 2006). O B é absorvido em quase sua totalidade por fluxo de massa (MATTIELLO et al., 2009), uma vez que a umidade do solo parece influenciar a disponibilidade do B mais do que a de qualquer outro nutriente. A reduzida solução do solo em associação com o reduzido fluxo de massa e a menor taxa de difusão, assim como o limitado fluxo transpiratório em plantas durante o período seco, pode ser o fator causal da deficiência de B, apesar da adequada disponibilidade do nutriente no solo (SILVA, 2007).

A exigência em B torna-se mais intensa com o início da fase reprodutiva, sendo mais crítica na fase de formação das sementes (BONACIN et al., 2009). O B é essencial para a germinação e crescimento do tubo polínico e a formação das paredes celulares e das sementes (FAGERIA et al., 1997).

Na cultura do girassol, os sintomas característicos da deficiência de B são comumente observados em folhas jovens e capítulos, os quais geralmente são

pequenos, deformados e produzem alta porcentagem de sementes chochas, comprometendo a viabilidade e o vigor das sementes (CONNOR; HALL, 1997; BONACIN et al., 2009).

Para McDonald JR. (1985), muitos fatores contribuem para a diminuição da qualidade física e fisiológica das sementes. Esse mesmo autor, cita ainda que a qualidade física esta associada com modificações visíveis da estrutura ou na aparência da semente, tal como fraturas no tegumento ou lesão no embrião. No entanto a qualidade fisiológica é relatada como trocas ocorridas durante o metabolismo celular, por exemplo, deficiência de nutrientes que influenciam na eficiência fisiológica durante a germinação.

A disponibilidade adequada de água e nutrientes é essencial para proporcionar condições de cultivo ideal, pois o estado nutricional das plantas influencia a qualidade das sementes produzidas (SEGALIN, 2013). Dessa forma, estudos sobre os efeitos da adubação com B e/ou silicato geralmente se limitam à avaliação das respostas de produção e fisiologia das plantas, sem a avaliação da qualidade das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; BONACIN et al., 2009).

Avaliar o suprimento de B e a aplicação do silício como estratégia de reduzir a transpiração pode ser importante para que o girassol tenha sua produtividade menos prejudicada sob condições de deficiência hídrica, preservando, conseqüentemente, a qualidade das sementes.

3. REFERÊNCIAS

ALAHDADI, I.; ORAKI, H.; KHAJANI, F.P. Effect of water stress on yield and yield components of sunflower hybrids. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 34, p. 6504-6509, 2011.

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 62 p. (Boletim técnico, 6).

ANDRADE, S. J. de. **Efeito de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. 2000. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2000.

BARROS, C. S.; ROSSETTO, C. A. V. Teste de germinação sob condições de restrição hídrica para avaliar o vigor de sementes de girassol. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2621-2624, 2009.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIBERS, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514, 1989.

BONACIN, G. A.; RODRIGUES, T. J. D.; CRUZ, M. C. P.; BANZATTO, D. A. Características morfofisiológicas de sementes e produção de girassol em função de boro no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 111-116, 2009.

CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: Influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, v. 66, p. 637-647, 2007.

CARVALHO, M. P.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciências Rural**, v. 39, n. 8, p. 2394-2399, 2009.

CARVALHO, N. M. DE.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2000. cap. 6, p. 99, 588 p.

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R. F.; DECHEN, A. R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciências Agrotécnicas**, v. 30, n. 2, p. 214-220, 2006.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2005. p. 163-210.

CONNOR, D. J.; HALL, A. J. Sunflower physiology. In: SCHNEITER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: ASA, CSSA & SSSA, 1997. cap. 3, p.113-182. (Monograph, 35).

DRAGOVIC, S.; MAKSIMOVIC, L. Drought phenomenon and impact on crop yields in the Vojvodina Province, Yugoslavia. **Proceedings of the international workshop on Drought in the Carpathian Region**. Budapest, 1995. p. 207-217.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings National of Academy Science**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, n. 1, p. 641- 664, 1999.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONE, C. A. Factors affecting production of field crops In: **Growth and mineral nutrition of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1997. cap. 2, p. 11-59.

GUNES, A.; KADIOGLU, Y. K.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S.; NAKSU, A. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, n. 13-14, p. 1885-1903, 2008.

HAJIBOLAND, R.; ALIASGHARPOUR, M.; DASHTBANI, F.; MOVAFEGHI, A. DADPOUR, M. R. Localization and study of histochemical effects of excess Mn in sunflower (*Helianthus annuus* L. cv. Azarghol) plants. **Journal of Soil Science**, Islam. Repub. Iran, v. 19, p. 305-315, 2008.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in sorghum bicolor. **Plant Physiology**, Washington, v. 123, p. 459-466, 2005.

HATTORI, T.; SONOBE, K.; INANAGA, S.; AN, P.; TSUJI, W.; ARAKI, H.; ENEJI, A. E.; MORITA, S. Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 177-182, 2007.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2005. 64 p.

LIANG, Y.; HUA, H.; ZHU, Y.; CHENG, C.; ROMHELD, V. Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport. **New Phytologist**, v. 172, n. 1, p. 63-72, 2006.

LORENS, G. F.; BENNET, J. M.; LOGGALE, L. B. Differences in drought resistance between two corn hybrids. II. Component analysis and growth rates. **Agronomy Journal**, v. 79, p. 808-813, 1987.

KARAM, F.; LAHOUD, R.; MASAAD, R.; KABALAN, R.; BREIDI, J.; CHALITA, C.; ROUPHAEL, Y. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, v. 90, n. 3, p. 213-223, 2007.

KORNDÖRFER, G. H. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, MG: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 39 p. (Boletim Técnico, 2).

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, p. 342-397, 2006.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Science**, v. 65, p. 3049-3057, 2008.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; BEHLING, M. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1281-1290, 2009.

McDONALD JR., M. B. Physical seed quality of soybean. **Seed Science and Technology**, v. 13, p. 601-28, 1985.

MCKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soil solutions. The adsorption of monosilic acid by other substances. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, p. 83-95, 1963.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Water management. In FAO (Ed.). **Tropical soybean: improvement and production**. Rome, Italy, 1994. v. 27, p. 153-160. (Plant Production and Protection Series).

NOBRE, D. A. C. **Desempenho agrônômico e qualidade das sementes de diferentes genótipos de girassol, no norte de Minas Gerais**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Agrárias/UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG, 2012.

RAWSON, H. M.; CONSTABLE, G. A. HOWE, G. N. Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environments. II. Leaf growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 7, p. 575-586, 1980.

RAWSON, H. M.; TURNER, N. C. Recovery from water stress in five sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. I Effects of the timing of water application on leaf area and seed production. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 9, p. 437-448, 1982.

RAUF, S. Breeding sunflower (*Helianthus annuus* L.) for drought tolerance. **Communications in Biometry and Crop Science**, v. 3, n. 1, p. 29-44, 2008.

RAUF, S.; SADAQAT, H. A. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) germplasm evaluation for drought tolerance. **Communications in Biometry and Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 8-16, 2007.

REDDY, G. K. M.; DANGI, K. S.; KUMAR, S. S.; REDDY, A. V. Effect of moisture stress on seed yield and quality in sunflower, *Helianthus annuus* L. **Journal of Oilseeds Research**, v. 20, n. 2, p. 282-283, 2003.

REIS, T. H. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; POZZA, A. A. A.; NOGUEIRA, F. D.; RODRIGUES, C. R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: Epamig, 2007. 120 p. (Boletim Técnico, 82).

RIBEIRO, R. V.; SILVA, L.; RAMOS, R. A.; ANDRADE, C. A.; ZAMBROSI, F. C. B.; PEREIRA, S. P. O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 939-948, 2011.

RUPPENTHAL, V. **Adubação silicatada na cultura da soja e sua influência na tolerância ao déficit hídrico**. 2011. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2011.

SEGALIN, S. R.; H. C.; ROSA, T. A.; PAHINS, D. B.; MERTZ, L. M.; NUNES, U. R.; MARTIN, T. N. Aplicação foliar de silício e alterações no rendimento e na qualidade de sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 35, n. 1, p. 86-91, 2013.

SILVA, M. L. O. **Aplicações de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. 2005. 115 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

SILVA, M. L. O.; FARIA, M. A.; MORAIS, A. R.; LIMA, A. E. M. C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução da disponibilidade de água do solo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SAVVAS, D.; GIOTIS, D.; CHATZIEUSTRATIOU, E.; BAKEA, M.; PATAKIOUTAS, G. Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, p. 11-17, 2009.

TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E.; MARTÍNEZ, D.; HERRERA, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica**, Prague, v. 43, p. 37-45, 2005.

YUSUF, M. A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJE, E.; SARIN, N. B. Over expression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 4, p. 1-11, 2010.

ZAHOOR, R.; BASRA, S. M. A.; MUNIR, H.; NADEEM, M. A.; YOUSAF, S. Role of boron in improving assimilates partitioning and achene yield in sunflower. **Journal of Agriculture & Social Sciences**, v. 7, n. 2, p. 49-55, 2011.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. **Produção de girassol ornamental e rosas em vasos por influência da fertilização silicatada**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

CAPÍTULO I

SILÍCIO E BORO ATENUAM OS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O GIRASSOL

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do silicato de Ca e Mg e do B sobre as trocas gasosas, o potencial hídrico foliar e os parâmetros da fluorescência da clorofila na variedade de girassol Embrapa 122-V2000 em condições de deficiência hídrica. O ensaio foi realizado em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa, com níveis contrastantes de Si e B, e submetido à deficiência hídrica. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, num arranjo fatorial 2^4 , com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de dois materiais corretivos de acidez (silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico), dois níveis de saturação por bases (30% e 70%), dois níveis de B ($0,18 \text{ mg dm}^{-3}$ valor disponível no solo e $1,20 \text{ mg dm}^{-3}$) e dois regimes hídricos (sem e com deficiência hídrica a partir do início do florescimento). Pode-se concluir que o suprimento de Si e B podem reduzir os danos causados ao girassol pela deficiência hídrica.

Palavras-chave: *Helianthus annuus*; Fluorescência da clorofila; Trocas gasosas; Potencial hídrico foliar.

CHAPTER I

SILICON AND BORON SOFTEN THE IMPACT OF WATER DEFICIT ON THE SUNFLOWER

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of silicate of Ca and Mg and Bon gas exchange, leaf water potential and chlorophyll fluorescence parameters in the variety of the sunflower Embrapa 122-V2000 in water deficit conditions. The assay was performed in Brazilian Oxisol of clayey texture, with contrasting levels of Si and B, and submitted to water deficit. The experimental design was randomized blocks in a factorial arrangement 2^4 , with five replications. The treatments consisted of combination of two acidity corrective agents (silicate of calcium and magnesium and dolomitic lime) two saturation levels by bases (30% and 70%), two levels of B (0.18 mgdm^{-3} value available in the soil and 1.20 mgdm^{-3}) and two water regimes (with and without water deficit from the beginning of flowering). It can be concluded that the supply of Si and B can reduce the damage caused to sunflower by water deficit.

Keywords: *Helianthus annuus*; Chlorophyll fluorescence; Gas exchange; Leaf water potential.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura do girassol é integrante dos sistemas de produção de grãos, sementes, óleos e biodiesel. A utilização de tecnologias adequadas – como o uso de cultivares adaptados às regiões de plantio, manejo adequado de corretivos e fertilizantes, controle correto de pragas e doenças – tem permitido o alcance de boas produtividades. Com isso, o interesse do produtor brasileiro pela cultura tem aumentado, principalmente, como cultura de safrinha (SILVA et al., 2007).

Apesar do cenário favorável para a cultura do girassol no Brasil, a ocorrência de adversidades climáticas ainda é fator de risco e de insucesso no cultivo do girassol. Isso se deve à época principal de seu cultivo (safrinha), período em que as plantas estão mais sujeitas ao estresse hídrico (LEITE et al., 2005). Assim, o déficit hídrico tem sido apontado como um dos principais fatores que ocasionam a redução da produção e qualidade de grãos/sementes de girassol (CASTRO; FARIAS, 2005).

A maneira como os efeitos do déficit hídrico se desenvolvem na planta é bastante complexa, do ponto de vista fisiológico. Várias respostas podem ser desencadeadas, como a diminuição do potencial hídrico foliar e a perda de turgor, o fechamento estomático, que provoca o declínio da condutância estomática e reduz a concentração de CO₂ e, conseqüentemente, a taxa fotossintética. Além disso, a eficiência do fotossistema II para manter adequado balanço entre o transporte de elétrons, o metabolismo de carbono e o consumo de ATP e NADPH pode ser reduzida (TEREZA et al., 2005; SAUSEN, 2007; CARNEIRO, 2011).

Uma das opções para maior tolerância do girassol aos períodos de deficiência hídrica seria a adubação com silício. Os efeitos benéficos desse elemento na agricultura têm sido apontados quando as plantas são cultivadas em condições de estresses, entre os quais a deficiência hídrica (EPSTEIN, 1994). O Si acumulado nos órgãos de transpiração promove a formação de dupla camada de sílica, a qual reduz a transpiração e, por consequência, aumenta a eficiência do uso da água pelas plantas (MA; YAMAJI, 2006; MOREIRA et al., 2010).

Além dos efeitos sobre trocas gasosas, a deficiência hídrica pode afetar o transporte de nutrientes no solo, sua absorção e metabolismo mineral na planta. Entre os nutrientes de grande importância na cultura está o B, que tem como mecanismo principal de transporte no solo o fluxo de massa, que é influenciado pela deficiência hídrica (HU; BROWN, 1997). O girassol pode ser cultivado em safrinha e está sujeito à deficiência hídrica, em especial após o florescimento. Iniciado o florescimento até o enchimento completo dos aquênios, o girassol torna-se mais sensível ao déficit hídrico e tem sua produtividade reduzida com magnitude variável com a intensidade e duração da deficiência hídrica (CASTRO et al., 2006). Dessa forma, avaliar o suprimento de B e a aplicação do Si como estratégia de reduzir a transpiração pode ser importante para que o girassol tenha sua produtividade reduzida pela condição adversa de falta de água no solo.

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do Si e do B nas trocas gasosas, no potencial hídrico foliar e nas variáveis da fluorescência da clorofila *a* do girassol cv. Embrapa 122-V2000, cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa e submetida à deficiência hídrica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG (20°45'S, 42°52'W e altitude de 651 m), em vasos de polietileno de 30 dm³ e sem furos na base.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, num arranjo fatorial 2⁴ com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de dois materiais corretivos de acidez (silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico), dois níveis de saturação por bases (30% e 70%), dois níveis de B (0,18 mg dm⁻³ valor disponível no solo e 1,20 mg dm⁻³) e dois regimes hídricos (sem e com deficiência hídrica a partir do início do florescimento).

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), coletado da camada de 30 a 70 cm, nas proximidades da cidade de Viçosa, MG. As características químicas e granulométricas desse solo foram determinadas antes da instalação do experimento (Tabela 1).

Foi determinada a relação entre retenção de água no solo e tensão. Para isso, foram coletadas três amostras indeformadas do solo no local, em cilindros metálicos com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Essas amostras foram saturadas e submetidas aos potenciais mátricos de -10, -30, -60, -100, -500 e -1500 kPa em câmara de pressão de Richards. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105 °C, durante 48 h, para determinação do conteúdo de água relacionado à tensão aplicada (Tabela 2).

Tabela 1 – Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no cultivo do girassol

Características químicas do solo ⁽¹⁾								
pH	Ca	Mg	Al	H + Al	t	T	P	K
CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----		
4,2	0,30	0,10	0,80	6,50	1,21	6,94	1,90	3,91
Cu	Zn	Fe	Mn	B	V	m	M.O	Prem
-----mg dm ⁻³ -----		-----%		-----%		dag kg ⁻¹		mg L ⁻¹
0,18	0,30	99,00	2,50	0,18	6,00	64,52	0,01	0,89
Granulometria do solo ⁽²⁾								
Argila		Silte		Areia fina		Areia Grossa		
-----dag kg ⁻¹ -----								
75		3		13		9		

⁽¹⁾ Determinações: pH com CaCl₂; solo:solução 1:2,5; Ca, Mg e Al, extrator KCl 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); Ca(OAc)² 0,5 mol L⁻¹ pH7 - H+Al; P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, extrator Mehlich-1 (DEFELIPO; RIBEIRO, 1981); B, água quente (BERGER; TRUOG, 1939); V, índice de saturação por bases; m, índice de saturação por alumínio; M.O, matéria orgânica; Prem, P remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000). ⁽²⁾ Ruiz (2005).

Tabela 2 – Umidade do solo (kg kg⁻¹) relacionadas com os potenciais mátricos (kPa) do Latossolo Vermelho-Amarelo

Potenciais	-10	-30	-60	-100	-500	-1500
Umidade	0,410	0,286	0,273	0,261	0,254	0,238

Com os valores da curva de retenção de água do solo, foram estimados os parâmetros α , n e m e os valores de θ_r e θ_s , para ajustar os dados ao modelo proposto por van Genuchten (1980), utilizando o programa computacional Soil Water Retention Curve (SWRC) versão 3.0 beta (DOURADO NETO et al., 2001). Os coeficientes θ_r , θ_s , α , n e m , estimados pelo SWRC, foram utilizados para ajustar os dados ao modelo de van Genuchten (1980): $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \Psi)^n]^m$, em que: θ = umidade do solo (kg kg⁻¹); θ_r = umidade residual do solo (na tensão de 1,5 MPa); θ_s = umidade do solo saturado (kg kg⁻¹); Ψ = potencial da água no solo (kPa); e α , n e m = parâmetros empíricos da equação obtidos pelo ajuste do modelo. Estabeleceu-se que a umidade no potencial de -60 kPa, ajustado pelo modelo proposto por van Genuchten (1980), corresponde à condição de déficit hídrico.

A necessidade de calagem foi calculada pelo método de saturação por bases, para elevação a 30% e 70%, com os corretivos silicato de Ca e Mg e calcário dolomítico (Tabela 3). O solo corrigido foi incubado em casa de vegetação, por 80 dias, com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo.

Tabela 3 – Composição química do silicato de Ca e Mg (agrossilício) e do calcário

Corretivos	PN	RE	PRNT	CaO	MgO
	-----%-----			-----dag kg ⁻¹ -----	
Silicato	85,0	68,0	57,8	37,9	9,3
Dolomítico	102,5	97,0	99,4	39,8	13,1

PN = poder neutralizante; RE = reatividade; e PRNT = poder relativo de neutralização total.

Após o período de incubação e um dia antes da semeadura, foi feita correção da deficiência de K no solo, na forma de KCl, e de P, na forma de fosfato monoamônio (MAP). O P foi aplicado em 10% do volume total, na parte superior de cada vaso. O N, na forma de ureia e sulfato de amônio, e os micronutrientes foram parcelados em quatro aplicações: 12, 19, 26 e 33 dias após a emergência. As doses de nutrientes, exceto o B, foram aplicadas conforme Novais et al. (1991). A fonte de B utilizada foi o ácido bórico P.A.

Em cada vaso foram colocadas 12 sementes, na profundidade de 2 cm. Uma semana após a emergência, realizou-se o desbaste, permanecendo as três plantas mais vigorosas. As plantas foram tutoradas para serem mantidas eretas durante o cultivo. Foram feitas aplicações de inseticidas para controle da mosca-branca, com tiametoxam e imidacloprido. Para controle das doenças, foram feitas duas aplicações de tebuconazole de forma preventiva.

O solo de cultivo foi mantido na capacidade de campo, estimada em potencial mátrico de -10 kPa desde a semeadura até o final do estágio R3 (caracterizado como a segunda fase de alongamento do broto floral, encontrando-se a uma distância maior de 2,0 cm acima da última folha), que ocorreu aos 52 DAS (dia após a semeadura). Os tratamentos com os potenciais matriciais de -10 kPa e -60 kPa foram estabelecidos a partir do 52º DAS (dias após a semeadura) – no intervalo da fase final do estágio R3 para R4 (início do florescimento, caracterizando-se por

apresentar as primeiras flores liguladas visíveis, de coloração amarela) e mantidos até o estágio R8, referente à segunda fase de desenvolvimento de aquênios, apresentando visualmente o dorso do capítulo amarelo-escuro e as brácteas ainda verdes (CASTIGLIONI et al., 1997). Para o monitoramento do potencial de água no solo, foi utilizado o minitensiômetro digital modelo T5 (UMS-MUC), e o ajuste da umidade no vaso foi feito por acréscimo de água.

Devido ao fato de o experimento ser conduzido em casa de vegetação, o que impossibilitou a polinização natural, foi necessário realizar a polinização artificial cruzada, que consistiu em utilizar a passagem da ponta do cotonete de algodão com pólen proveniente de diversas flores produzidas por plantas diferentes para, em seguida, se realizar um rápido toque com a ponta desse cotonete em direção à base da flor, procurando-se atingir todos os estigmas (TRAVASSOS et al., 2011).

As variáveis das trocas gasosas foram avaliadas aos 2 (55 DAS), 9 (62DAS), 16 (69 DAS), 21 (74 DAS) e 30 (83 DAS) dias após o emprego do déficit hídrico (DAEDH). Um dia após cada período citado, avaliaram-se as variáveis da fluorescência da clorofila. A leitura do potencial hídrico foliar foi feita somente aos 22 DAEDH.

As trocas gasosas foram determinadas na terceira ou quarta folha completamente expandida, abaixo do capítulo. Nessas, determinaram-se a taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a taxa de transpiração foliar (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a eficiência do uso da água (EUA, $\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$), a temperatura foliar (TF , $^\circ\text{C}$) e a concentração intracelular de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), com o auxílio de um analisador de gases a infravermelho portátil (IRGA, Li-Cor, modelo LI-6400), em cinco plantas de cada tratamento. Essas variáveis foram analisadas em plantas expostas à radiação solar, em temperatura do ar de 25°C , radiação fotossinteticamente ativa de $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, concentração de CO_2 e umidade relativa do ar natural entre 8 e 10h30. As avaliações foram realizadas em dias com ausência de nebulosidade.

A eficiência da fluorescência da clorofila foi avaliada por meio de um fluorômetro portátil (Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5P) entre 8 h e 11 h, nas mesmas folhas em que foram feitas as avaliações das trocas gasosas. Para determinar as variáveis do estado adaptado ao escuro, a fluorescência inicial (F_0), a fluorescência máxima (F_m) e as relações F_v/F_m (rendimento quântico máximo) e F_v/F_0 (eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII), foi feito o

acondição das folhas com ajuda de cliques foliares por um período de 30 min, para simular uma condição de escuro.

Determinados os parâmetros no estado adaptado ao escuro, as folhas foram submetidas a um pulso de luz saturante, com intensidade de $1.400 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e dura\u00e7\u00e3o de 15 seg, para as determina\u00e7\u00f5es dos par\u00e2metros do estado adaptado \u00e0 luz, os quais permitiram a obten\u00e7\u00e3o das rela\u00e7\u00f5es: fluoresc\u00eancia inicial (F_S'), fluoresc\u00eancia m\u00e1xima (F_m'), Y (produ\u00e7\u00e3o qu\u00e2ntica fotoqu\u00edmica efetiva do FSII em estado adaptado \u00e0 luz), ETR (taxa de transporte de el\u00e9trons no fotossistema II), Q_P (coeficiente de extin\u00e7\u00e3o fotoqu\u00edmico), Q_N (coeficiente de extin\u00e7\u00e3o n\u00e3o fotoqu\u00edmico) e NPQ (dissipa\u00e7\u00e3o n\u00e3o-fotoqu\u00edmica).

A determina\u00e7\u00e3o do potencial h\u00eddrico foliar (Ψ_w) foi realizada no est\u00e1dio R7, ou seja, no 22\u00b0 DAEDH, entre 3 e 5 h da manh\u00e3, por meio de c\u00e2mara de press\u00e3o (bomba de Scholander modelo 600 Spec), em folhas completamente expandidas, em cinco repeti\u00e7\u00f5es de cada tratamento. Durante as medi\u00e7\u00f5es, cada folha foi cortada na base do pec\u00edolo, com o aux\u00edlio de um bisturi, e imediatamente inserida na c\u00e2mara de press\u00e3o. Em seguida, foi aplicada a press\u00e3o at\u00e9 ocorrer a exsuda\u00e7\u00e3o pelo corte feito na base do pec\u00edolo da folha; e anotado o valor da leitura da press\u00e3o aplicada (TURNER, 1981).

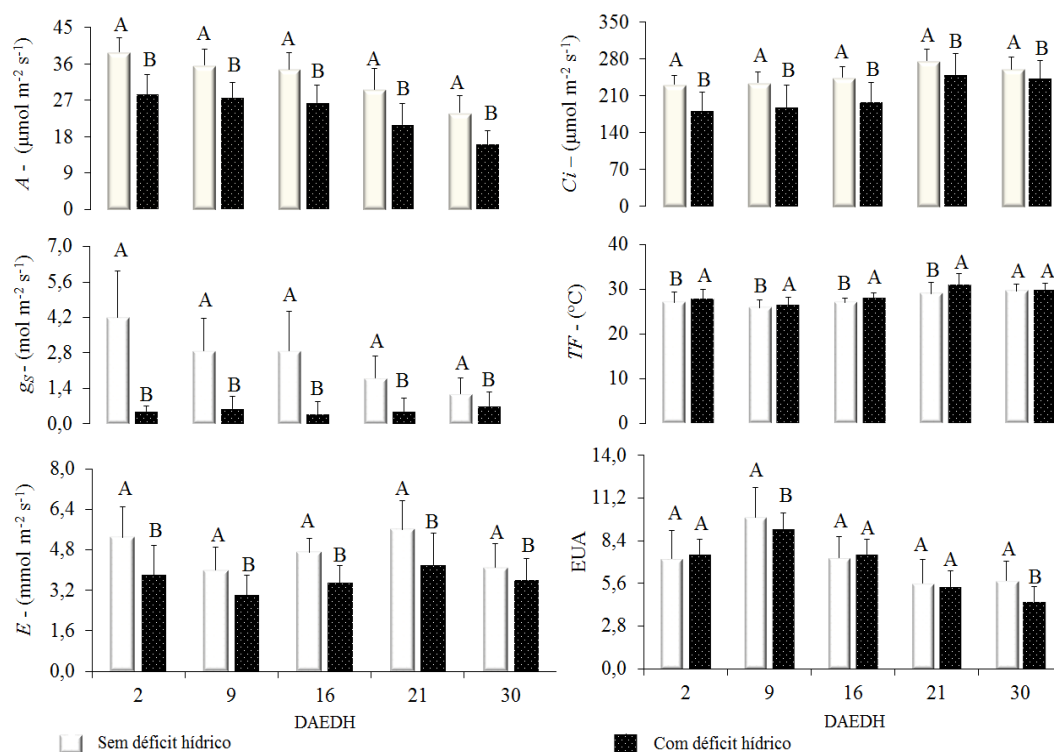
An\u00e1lise estat\u00edstica

Os resultados foram submetidos \u00e0 an\u00e1lise de vari\u00e2ncia. As m\u00e9dias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Os valores para diferen\u00e7a m\u00ednima significativa (DMS) foram representados no gr\u00e1fico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dois dias após a indução do déficit hídrico, houve redução de A , g_s , E e C_i e aumento da TF (Figura 1). Apesar de não serem comparadas estatisticamente as épocas de avaliação das trocas gasosas, pode-se observar que a média da A foi reduzindo ao longo de todas as épocas, tanto nas plantas conduzidas no regime hídrico irrigado quanto naquelas em condições de déficit hídrico. Constatou-se que a maior A foi observada aos 55 DAS nas plantas na condição irrigada ($39 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e de déficit hídrico ($28,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), de forma que as taxas fotossintéticas decresceram ao longo das fases fenológicas da cultura, com redução de aproximadamente de 38,4% e 43,3%, respectivamente, ao se compararem os valores extremos. Silva et al. (2013) verificaram maior taxa assimilatória líquida aos 52 DAS ($32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), de tal forma que essa decresceu nas fases fenológicas da cultura.

As plantas que sofreram o déficit hídrico reduziram rapidamente a g_s , no segundo dia após o déficit hídrico, mantendo-se entre 0,4 e 0,7 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante as etapas de avaliação. Isso indica que o fechamento estomático afetou o processo de assimilação de carbono em função da deficiência hídrica, resultando na redução da matéria seca total da planta e menor produção de sementes de girassol, conforme os resultados deste experimento.



Mesmas letras entre os dois regimes hídricos para cada época não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5%. Barras de erro representam o desvio-padrão da média de cinco repetições.

Figura 1 – Efeitos do regime hídrico na taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), taxa de transpiração foliar (E), eficiência do uso da água (EUA), temperatura foliar (TF) e concentração intracelular de CO_2 (C_i) até 30 dias após o emprego do déficit hídrico (DAEDH).

A concentração interna de CO_2 (C_i) teve pouca redução com a diminuição da condutância estomática na folha de girassol, apesar de apresentar diferença estatística entre as plantas em relação ao regime hídrico; isso parece indicar que o decréscimo da taxa de fotossíntese líquida foi devido não só ao aumento da resistência estomática, mas também ao efeito do déficit hídrico na fotossíntese, visto que alto valor de C_i associado a baixas g_s indicaria decréscimo na eficiência de carboxilação (CALBO; MORAES, 1997).

Carneiro (2011) questionou qual seria o principal componente das trocas gasosas que influencia o desenvolvimento e a produção da planta de girassol em condições de deficiência hídrica. Para alguns pesquisadores, a limitação estomática é a principal causa da redução da assimilação de carbono; outros atribuíram a diminuição da taxa fotossintética à limitação não estomática (PANKOVIC et al.,

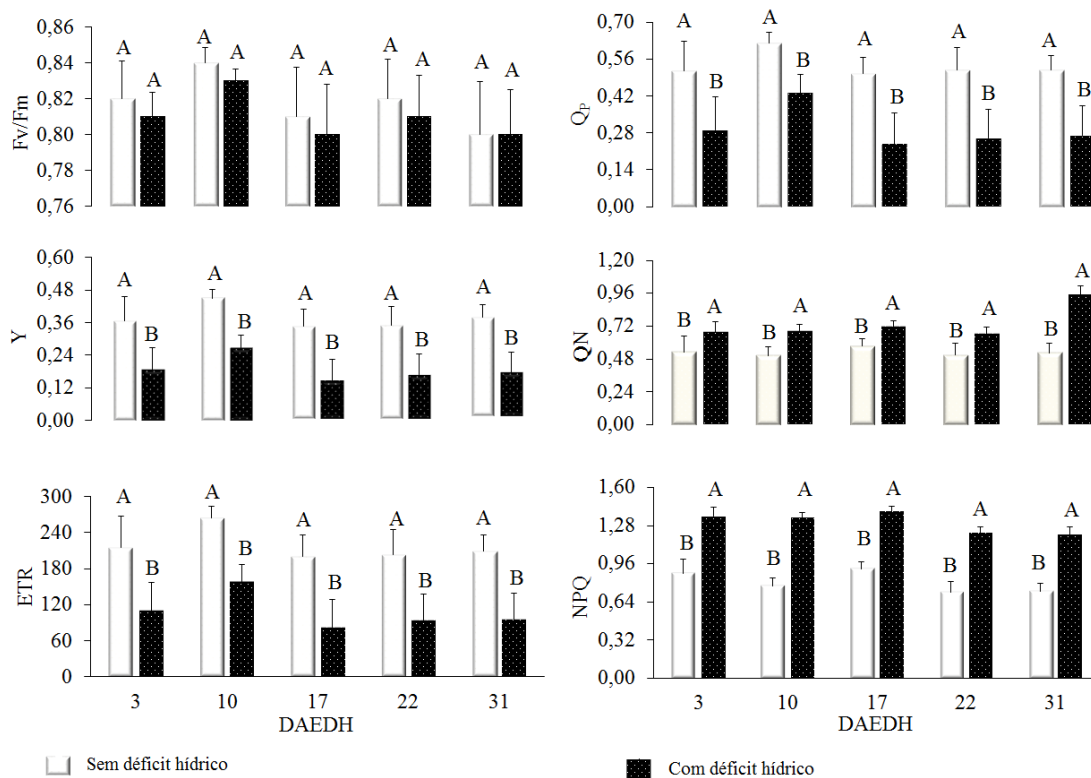
1999; STEDUTO et al., 2000), sugerindo que esse comportamento depende da espécie e de cada cultivar.

A limitação estomática nas plantas submetidas ao estresse indica a restrição da perda da água pela transpiração e menor C_i . À medida que o CO_2 entra com mais dificuldade, em função da limitação estomática imposta ao processo difusional, ocorre decréscimo na taxa fotossintética da planta por falta de substrato. A regulação do controle estomático é um mecanismo utilizado por muitas espécies para restringir a perda de água e superar os períodos de seca (SAUSEN, 2007). Os resultados deste experimento indicam comportamento conservador da planta de girassol para amenizar o déficit hídrico.

Em diversas culturas, a resposta estomática na redução do potencial hídrico do solo está intimamente relacionada ao mecanismo sinalizador da raiz para as folhas, por meio do fluxo transpiratório, em que o ácido abscísico é o responsável pela inibição da abertura estomática, o que leva à redução da perda de água pela transpiração (DAVIS; ZHANG, 1991),

Apesar da limitação estomática da fotossíntese, a máxima eficiência fotoquímica do FSII (F_v/F_m) não foi afetada pelo déficit hídrico, ou seja, não se observou diferença significativa entre as plantas controle e as que foram submetidas ao estresse hídrico (Figura 2). Respostas semelhantes também foram encontradas por Sausen (2007), na mamoneira, ao longo de 31 dias de déficit hídrico. Roza (2010) relatou que em experimentos em casa de vegetação a eficiência do FSII, expressa pela razão F_v/F_m , não foi alterada, o que indica que maior tolerância ao déficit hídrico. No entanto, para plantas cultivadas em condições ambientais não controladas (campo) a razão F_v/F_m influencia o FSII em condições de déficit hídrico (LAWLOR; CORNIC, 2002; TEZARA et al., 2005).

Os valores da razão F_v/F_m obtidos neste estudo estão dentro dos preconizados como normais (entre 0,750 e 0,850) em plantas em condições ideal de regime hídrico. O declínio dessa razão indica diminuição na eficiência fotoquímica do FSII (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989). A razão F_v/F_m foi de 0,800 a 0,840 (Figura 2), indicando que o aparelho fotossintético permaneceu intacto, ou seja, não apresentou dano fotoinibitório no centro de reação do FSII, o qual é frequentemente atribuído a danos na proteína D_1 (CASSANA et al., 2008).



Mesmas letras maiúsculas entre os dois regimes hídricos não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Barras de erro representam o desvio-padrão da média de cinco repetições.

Figura 2 – Efeitos do regime hídrico no rendimento quântico máximo (F_v/F_m), produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado à luz (Y), taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (ETR), coeficiente de extinção fotoquímico (Q_p), coeficiente de extinção não fotoquímico (Q_N), dissipação não fotoquímica (NPQ) até 31 dias após a aplicação e emprego de estresse hídrico (DAEDH).

Nas demais variáveis fotoquímicas em estado adaptado à luz, foram observadas alterações significativas entre plantas conduzidas nos potenciais hídricos de -10 kPa e -60 kPa a partir da primeira leitura aos três dias após o emprego do déficit hídrico (56 DAS), semelhantemente ao ocorrido nas trocas gasosas. Os valores de Y , ETR e Q_p , sob o potencial hídrico de -60 kPa, foram significativamente menores do que os do solo mantido à capacidade de campo.

A produção quântica fotoquímica efetiva do FSII (Y) foi maior nas plantas cultivadas no potencial hídrico de -10 kPa, refletindo na diferença da taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (ETR) e nos coeficientes fotoquímico e não fotoquímico (Figura 2). O maior coeficiente não fotoquímico (Q_N e NPQ) das plantas sob estresse provavelmente indica que elas apresentaram maior dissipação de energia

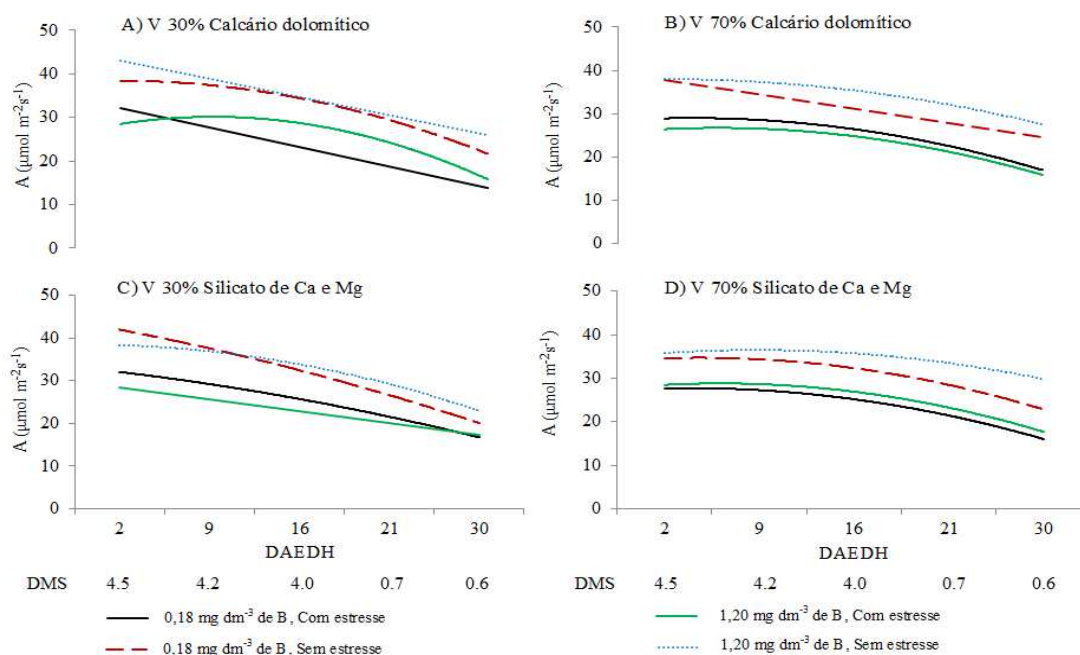
luminosa absorvida na forma de energia térmica em detrimento do aproveitamento dessa energia em efeito fotoquímico, ou seja, produção de energia química na forma de ATP e NADPH (ZANANDREA et al., 2006). Entretanto, o coeficiente de extinção fotoquímico (Q_P) representa a proporção de energia dos fótons capturada pelos centros de reação do FSII abertos e dissipada via transporte de elétrons (JUNEAU et al., 2005).

Efeito dos fatores em estudo sobre o déficit hídrico

Dois dias após a indução do déficit hídrico, as plantas que foram conduzidas na saturação por bases a 30% apresentaram maior A . Verificou-se ainda que o menor nível de B no solo foi eficiente para garantir maior resposta de A e g_s (Figuras 3 e 4), o maior nível de B reduziu a abertura estomática, independentemente do regime hídrico.

Esses resultados diferem dos obtidos por Castro et al. (2006), em que os teores de B no solo, abaixo de $0,27 \text{ mg dm}^{-3}$, não foram suficientes para suprir as exigências nutricionais das plantas de girassol, independentemente das fases de aplicação do déficit hídrico e das condições hídricas. Entretanto, de acordo com Ungaro (2000) e Foloni et al. (2010), em solos corrigidos cujos teores de B estiverem abaixo de $0,26 \text{ mg dm}^{-3}$, o girassol apresenta alta responsividade à adubação de B.

Na fase de desenvolvimento de aquênios (21 DAEDH), houve, porém, o efeito da interação da saturação de bases x B x déficit hídrico. Com isso, verificou-se que a saturação por bases a 70% e o maior nível de B promoveram o maior valor da taxa fotossintética nos potenciais hídricos de -10 kPa e -60 kPa. A exigência nutricional em B se torna mais intensa no início da fase reprodutiva e pode tornar-se mais crítica por ocasião da formação das sementes (CHATTERJEE; NAUTIYAL, 2000). Além disso, o B intervém na absorção e metabolismo dos cátions, principalmente do Ca, e na absorção de água (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

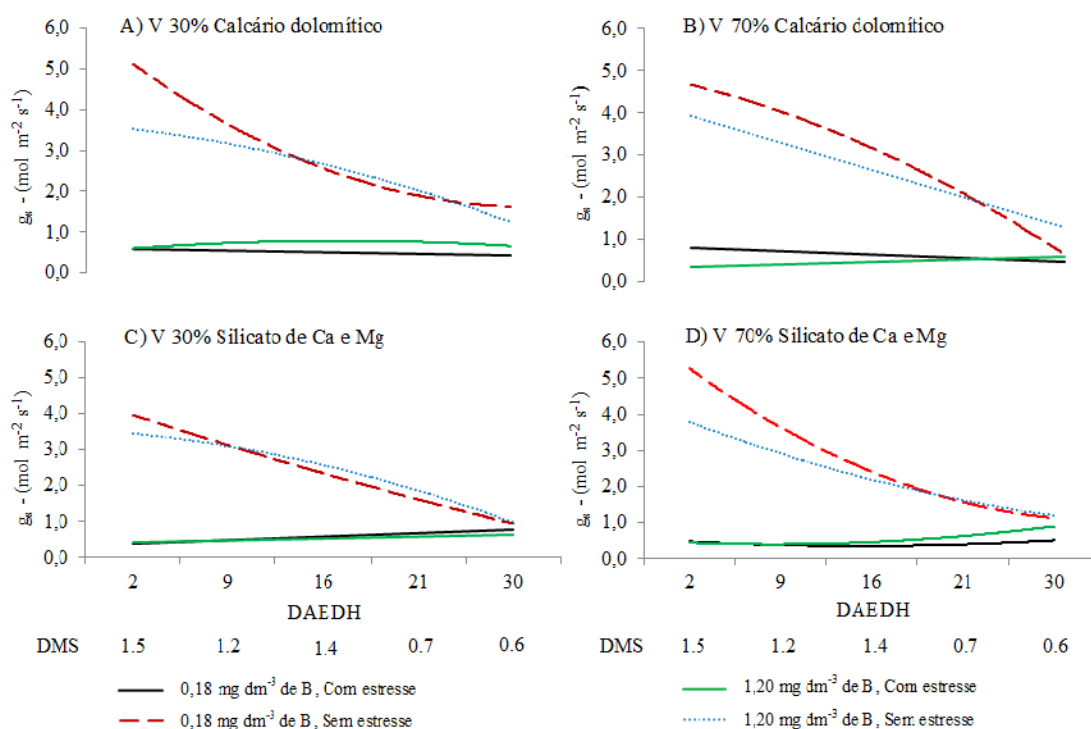


A comparação das médias da taxa fotossintética de cada época após a aplicação do déficit hídrico foi feita pela diferença mínima significativa (DMS).

Figura 3 – Taxa fotossintética (A) durante 30 dias após o emprego do déficit hídrico (DAEDH).

Na fase de desenvolvimento e enchimento de aquênios (21 e 30 DAEDH), o maior nível de B favoreceu a maior g_s nas plantas que sofreram déficit hídrico. Bogiani (2010) explicou que a menor g_s das plantas cultivadas com menores doses de B pode ser atribuída à redução na frequência e número de estômatos presentes na folha, em caso de deficiência, e também ao acúmulo de amido nas folhas em razão do menor transporte de carboidratos causado pela deficiência de B, como observado por Zhao e Oosterhuis (2002). Leite (2002) constatou menor número de estômatos e redução do funcionamento destes em folhas de cafeeiro submetido à deficiência de B.

As plantas de girassol que foram cultivadas em solo corrigido com silicato de Ca e Mg apresentaram maior g_s em condição de déficit hídrico durante a fase de enchimento de aquênios, correspondendo ao trigésimo dia após o déficit hídrico (Figura 4). De acordo com Gunnes et al. (2008), cultivares de girassol que receberam a aplicação de Si reduziram a condutância estomática e, consequentemente, aumentaram a *EUA*.

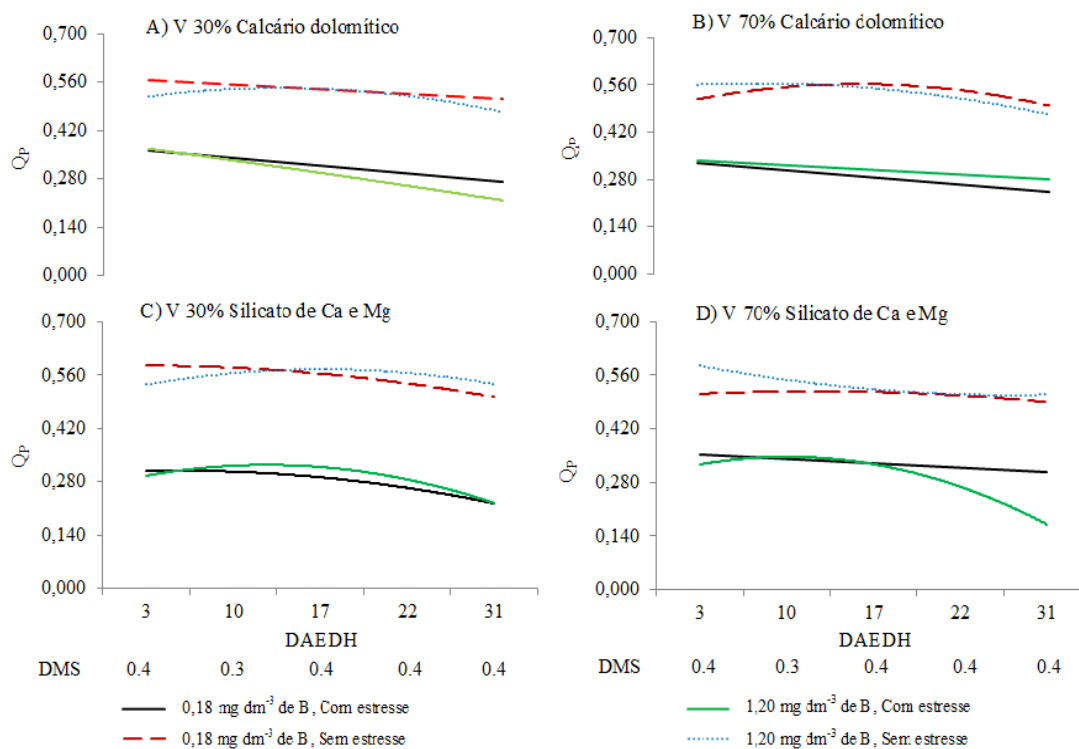


A comparação das médias da condutância estomática de cada época após a aplicação do déficit hídrico foi feita pela diferença mínima significativa (DMS).

Figura 4 – Condutância estomática (g_s) durante 30 dias após o emprego do déficit hídrico (DAEDH).

No trabalho de Zanão Júnior (2011), verificou-se que aplicações de doses de silicato de potássio levaram à redução da taxa de transpiração e elevação de A e g_s , com o aumento das doses de Si aplicada. Esse mesmo estudo revelou ainda a capacidade da planta de girassol em acumular Si nos tricomas e células da epiderme, através do estudo anatômico foliar, que podem auxiliá-lo a tolerar estresses abióticos.

Os menores valores de Q_p foram nas plantas que sofreram o déficit hídrico (Figura 5). Pode-se destacar que na fase de enchimento de aquênios (83 DAS) a saturação por bases em 30% alcançou maior eficiência Q_p pela interação do corretivo silicatado em plantas conduzidas no potencial hídrico de -10 kPa. A interação do corretivo dolomítico x potencial hídrico de -10 kPa alcançou maior Q_p na saturação por bases 70%. Assim, silicato de Ca e Mg em condições de irrigação plena melhorou o desempenho da fluorescência da clorofila, com o menor nível de saturação de bases.



A comparação das médias do coeficiente de extinção fotoquímica de cada época após a aplicação do déficit hídrico foi feita pela diferença mínima significativa (DMS).

Figura 5 – Dissipação fotoquímica (Q_p) durante 31 DAEDH.

Houve redução do potencial hídrico foliar aos 22 dias de déficit hídrico (Tabela 4). Carneiro (2011) também encontrou valores semelhantes de potencial hídrico (-0,6 MPa) nas plantas sob irrigação controle. Os cultivares M735 e MG2 apresentaram potencial de -1,20 e -1,72 MPa, respectivamente, após 12 dias de estresse.

Para alguns cultivares de girassol, o potencial hídrico crítico para taxa fotossintética foi aproximadamente de -2,1 MPa (MOJAYAD; PLANCHON, 1994). A redução do potencial hídrico foliar levou à diminuição da condutância estomática, que representou a causa primária da redução na taxa fotossintética e na taxa de transpiração em condições de deficiência hídrica. Essa redução é explicada pela diminuição na disponibilidade de CO_2 nas câmaras subestomáticas das folhas, causada pelo menor ângulo de abertura dos estômatos (GONÇALVES et al., 2009).

Tabela 4 – Potencial hídrico foliar de girassol determinado na fase de desenvolvimento de aquênios após 22 dias de déficit hídrico

RH	Potencial hídrico foliar (MPa)	
I	-0,61 A	
E	-2,08 B	
CV (%)	15.66	
SB	C ₁	C ₂
V _{30%}	-1,40 a A	-1,30 a B
V _{70%}	-1,45 a A	-1,10 b A
CV (%)	11.6	

SB = saturação por bases; V_{30%} = saturação por bases a 30% ; V_{70%} = saturação por bases a 70%; B = boro; B₀ = 0,18 mg dm⁻³; B₁ = 1,2 mg dm⁻³; C = corretivo; C₁= corretivo dolomítico; C₂ = corretivo silicato; RH = tipo de regime hídrico; I = regime hídrico (potencial de água de -10 kPa); e E = regime hídrico (potencial de água de - 60 kPa). Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

A saturação por bases a 70% foi favorável a atenuar a redução do potencial hídrico foliar quando interagido com o silicato de Ca e Mg. Essa diferença significativa pode ser induzida pelo aumento da disponibilidade do teor de prolina em razão da menor acidez do solo (CARLIM; SANTOS, 2008). Plantas de girassol, por terem a capacidade de aumentar o teor de prolina em condições de déficit hídrico, o Si aumenta a produção desse soluto no girassol (GUNES et al., 2008). O aumento da prolina está relacionado ao ajustamento osmótico foliar com a redução do potencial hídrico. A prolina acumula-se como soluto compatível para estabilizar membranas e manter a conformação de proteínas, o que impede a desidratação do citosol (KISHOR et al., 2005).

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o suprimento de Si e B podem reduzir os danos causados ao girassol pela deficiência hídrica.

5. REFERÊNCIAS

ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinações e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira Ciência Solo**, v. 25, p. 27-33, 2000.

BERGER, K. C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 11, p. 540-545, 1939.

BOGIANI, J. C. **Absorção e mobilidade do boro em cultivares de algodão**. 2011. 96 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2010.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R. et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514, 1989.

CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. de. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, p. 117-123, 1997.

CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1106-1113, 2009.

CARNEIRO, M. M. L. C. **Trocas gasosas e metabolismo antioxidativo em plantas de girassol em resposta ao déficit hídrico**. 2011. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2011.

CASSANA, F. F.; BRAGA, E. J. B.; BACARIN, M. A.; FALQUETO, A. R.; PETERS, J. A. Atividade fotoquímica máxima do fotossistema II em plantas de batata-doce cultivadas *in vitro* e aclimatizadas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, RS, v. 14, n. 4-4, p. 46-51, 2008.

CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; CASTRO, C.; SILVEIRA, J. M. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina, PR: EMBRAPA-CNPSO, 1997. 24 p. (EMBRAPA-CNPSO – Documentos, 59).

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R. F.; DECHEN, A. R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Revista Ciência Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 214-220, 2006.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2005. p. 163-218.

CHATTERJEE, C.; NAUTIYAL, N. Developmental aberrations in seeds of boron deficient sunflower and recovery. **Journal of plant nutrition**, v. 23, n. 6, p. 835-841, 2000.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 55-76, 1991.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS/UFV, 2007. p. 92-132.

DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química de solo**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17 p. (Boletim de Extensão).

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten**. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta). Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings National of Academy Science**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

FOLINI, J. S. S.; GARCIA, R. A.; CARDOSO, C. L.; TEIXEIRA, J. P.; GRASSI FILHO, H. Desenvolvimento de grãos e produção de fitomassa do girassol em função de adubações boratadas. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, p. 273-280, 2010.

GENUCHTEN, M.; VAN, T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 8-14, 2009.

GUNES, A.; KADIOGLU, Y. K.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S.; NAKSU, A. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, n. 13-14, p. 1885-1903, 2008.

HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plant roots. **Plant and Soil**, v. 193, p. 49-58, 1997.

JUNEAU, P.; GREEN, B. R.; HARRISON, P. J. Simulation of Pulse-Amplitude-Modulated (PAM) fluorescence: limitations of some PAM-parameters in studying environmental stress effects. **Photosynthetica**, v. 43, n. 1, p. 75-83, 2005.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plants. **Plant Cell Environ**, 25, p. 275-294, 2002.

LEITE, V. M. **Absorção e translocação de B em cafeeiro**. 2002. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2002.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2005. 641 p.

KISHOR, P. B. K.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; LAXMI, P. S.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v. 88, p. 424-438, 2005.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, p. 342-397, 2006.

MOREIRA, A. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 413-423, 2010.

MOJAYAD, F.; PLANCHON, C. Stomatal and photosynthetic adjustment to water deficit as the expression of heterosis in sunflower. **Crop Science**, v. 34, p. 103-107, 1994.

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. (Ed.). **Métodos de Pesquisa em Fertilidade do Solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-255.

PANKOVIC, D.; SAKAC, Z.; KEVRESAN, S.; PLESNICAR, M. Acclimation to longterm water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 127-138, 1999.

ROZA, F. A. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas à deficiência hídrica**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2010.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 29, p. 297-300, 2005.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução da disponibilidade de água do solo**. 2007. 71 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SILVA, M. L. O.; FARIA, M. A.; MORAIS, A. R.; LIMA, A. E. M. C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 482-488, 2007.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; FILHO, V. P. F.; FREITAS, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciências Agrônômicas**, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.

STEDUTO, P.; ALBRIZIO, R.; GIORGIO, P.; SORRENTINO, G. Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilations of sunflower under salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 44, p. 243-255, 2000.

TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E.; MARTÍNEZ, D.; HERRERA, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica**, Prague, v. 43, p. 37-45, 2005.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R. S.; NASCIMENTO, A. K. S.; DIAS, N. S. Produção de aquênio de girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 371-376, 2011.

TURNER, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v. 58, p. 339-366, 1981.

UNGARO, M. R. G. **Cultura do girassol**. Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 2000. 36 p.

ZANANDREA, L.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 157-161, 2006.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. **Produção de girassol ornamental e rosas em vasos por influência da fertilização silicatada**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

ZHAO, D.; OSTERHUIS, D. M. Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. **Field Crops Research**, v. 78, p. 75-87, 2002.

CAPÍTULO II

SILÍCIO E BORO INFLUENCIAM O TEOR DE ÓLEO E A QUALIDADE DAS SEMENTES DE GIRASSOL SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar as qualidades física e fisiológica e o teor de óleo das sementes de girassol do cv. Embrapa 122-V2000 cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura muito argilosa com doses contrastantes de silicato Ca e Mg e do B e submetido à deficiência hídrica. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, num arranjo fatorial 2^4 com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de dois materiais corretivos de acidez (silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico), dois níveis de saturação por bases (30% e 70%), dois níveis de B ($0,18 \text{ mgdm}^{-3}$ valor disponível no solo e $1,20 \text{ mgdm}^{-3}$) e dois regimes hídricos (sem e com deficiência hídrica a partir do início do florescimento). A colheita das sementes foi realizada aos 102 dias após a semeadura. A maior dose de B proporcionou melhorias na qualidade física e fisiológica das sementes de girassol em condições de déficit hídrico. O Si aumentou a produção de aquênios e reduziu a porcentagem de sementes classificadas como malformadas e vazias. O Si não alterou a qualidade fisiológica e o teor de óleo das sementes.

Palavras-chave: *Helianthus annuus*; Raios X; Qualidade física; Qualidade fisiológica.

CHAPTER II

INFLUENCE OF SILICON AND BORON OVER THE CONTENT OF OIL AND THE QUALITY OF SUNFLOWER SEEDS UNDER WATER DEFICIT

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the physical and physiological qualities and the oil content of sunflower seeds of the cv. Embrapa122-V2000 cultivated in Brazilian Oxisol of clayey texture with contrasting doses of silicate of Ca and Mg and Band submitted to water deficit. The experimental design was randomized blocks in a factorial arrangement 2^4 with five replications. The treatments consisted of the combination of two acidity corrective agents (silicate of calcium and magnesium and dolomitic lime), two saturation levels by bases (30% and 70%), two levels of B (0.18 mgdm⁻³ value available in the soil and 1.20 mgdm⁻³) and two water regimes (with and without water deficit from the beginning of flowering). Seed harvest was performed 102 days after sowing. The highest dose of B improved the physical and physiological quality of sunflower seeds in water deficit conditions. The Si increased the production of achines and reduced the percentage of seeds classified as malformed and empty. The Si did not alter the physiological quality and the oil content of the seeds.

Keywords: *Helianthus annuus*; X-rays; Physical quality; Physiological quality.

1. INTRODUÇÃO

Os cultivos do girassol em diversos países ocorrem, principalmente, em razão do alto teor de óleo dos aquênios, em áreas de solos marginais para a agricultura, com deficiências hídricas e de nutrientes (ŠKORIC, 2009). Entre os principais fatores abióticos que podem limitar a produtividade da cultura do girassol, a deficiência hídrica é considerada um dos fatores que podem diminuir o rendimento e qualidade das sementes de girassol (CONNOR; HALL, 1997).

Diante disso, busca-se o conhecimento para minimização de perdas de produção e qualidades das sementes dessa oleaginosa, ocasionadas pelo déficit hídrico. Uma tecnologia que pode ser promissora para a cultura do girassol é a utilização de adubação silicatada, que no Brasil é pouco estudada em comparação com outros países produtores (VIEIRA et al., 2011).

O silício é elemento benéfico na nutrição de plantas, e seu efeito está associado à alta capacidade de acúmulo de sílica nos tecidos (FENG, 2004). No caso das plantas de girassol, o silício é absorvido ativa ou passivamente, a depender da concentração do produto aplicado na planta (LIANG et al., 2006). Com isso, pode haver o acúmulo de sílica nos órgãos de transpiração e, conseqüentemente, a formação de dupla camada de sílica cuticular que, pela redução da transpiração, faz que a exigência da água pelas plantas seja menor (MA; YAMAJI, 2006; MOREIRA et al., 2010).

Outro aspecto importante relacionado ao déficit hídrico é o fato de que entre os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da cultura do girassol é destacada a

importância da exigência e atividade do B no seu metabolismo. Esse elemento é necessário durante o processo de florescimento e formação da semente (HANSON, 1991; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000), cujo requerimento é vital para se alcançarem altas produtividades. Considerando que o boro tem como principal mecanismo de transporte no solo o fluxo de massa, a deficiência hídrica pode reduzir a translocação do nutriente para a planta e, assim, a sua produtividade (HU; BROWN, 1997).

Estudos sobre os efeitos da adubação com B e, ou, silicato geralmente se limitam à avaliação das respostas de produção e fisiologia das plantas, sem a avaliação da qualidade das sementes (BONACIN et al., 2009). Dessa forma, avaliar o suprimento de B e a aplicação do silício como estratégia de reduzir a transpiração pode ser importante para que o girassol tenha sua produtividade menos prejudicada pelo déficit hídrico no solo e, conseqüentemente, influenciar as qualidades física e fisiológica e o teor de óleo das suas sementes.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar as qualidades física e fisiológica e o teor de óleo das sementes de girassol do cv. Embrapa 122-V2000 cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo com níveis contrastantes de silicato Ca, Mg e B e submetido à deficiência hídrica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG (20°45'S, 42°52'W e altitude de 651 m), em vasos de polietileno de 30 dm³ e sem furos na base.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, num arranjo fatorial 2⁴ com cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de dois materiais corretivos de acidez (silicato de cálcio e magnésio e calcário dolomítico), dois níveis de saturação por bases (30% e 70%.), dois níveis de B (0,18 mg dm⁻³ valor disponível no solo e 1,20 mg dm⁻³) e dois regimes hídricos (sem e com deficiência hídrica a partir do início do florescimento).

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), coletado da camada de 30 a 70 cm, nas proximidades da cidade de Viçosa, MG. As características químicas e granulométricas desse solo foram determinadas antes da instalação do experimento (Tabela 1).

Foi determinada a relação entre retenção de água no solo e tensão. Para isso, foram coletadas três amostras indeformadas do solo no local, em cilindros metálicos com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Essas amostras foram saturadas e submetidas aos potenciais mátricos de -10, -30, -60, -100, -500 e -1.500 kPa em câmara de pressão de Richards. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105 °C durante 48 h, para determinação do conteúdo de água relacionado à tensão aplicada (Tabela 2).

Tabela 1 – Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no cultivo do girassol

Características químicas do solo ⁽¹⁾								
pH	Ca	Mg	Al	H + Al	t	T	P	K
CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----		
4,2	0,30	0,10	0,80	6,50	1,21	6,94	1,90	3,91
Cu	Zn	Fe	Mn	B	V	m	M.O	Prem
-----mg dm ⁻³ -----		-----%-----		dag kg ⁻¹		mg L ⁻¹		
0,18	0,30	99,00	2,50	0,18	6,00	64,52	0,01	0,89
Granulometria do solo ⁽²⁾								
Argila	Silte		Areia fina		Areia Grossa			
-----dag kg ⁻¹ -----								
75	3		13		9			

⁽¹⁾ Determinações: pH com CaCl₂; solo:solução 1:2,5; Ca, Mg e Al, extrator KCl 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); Ca(OAc)² 0,5 mol L⁻¹ pH7 - H+Al; P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, extrator Mehlich-1 (DEFELIPO; RIBEIRO, 1981); B, água quente (BERGER; TRUOG, 1939); V, índice de saturação por bases; m, índice de saturação por alumínio; M.O., matéria orgânica; Prem, P remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000). ⁽²⁾ Ruiz (2005).

Tabela 2 – Umidade do solo (kg kg⁻¹) relacionada com os potenciais mátricos (kPa) do Latossolo Vermelho-Amarelo

Potenciais	-10	-30	-60	-100	-500	-1500
Umidade	0,410	0,286	0,273	0,261	0,254	0,238

Com os valores da curva de retenção de água do solo, foram estimados os parâmetros α , n e m e os valores de θ_r e θ_s , para ajustar os dados ao modelo proposto por van Genuchten (1980), utilizando o programa computacional Soil Water Retention Curve (SWRC) versão 3.0 beta (DOURADO NETO et al., 2001). Os coeficientes θ_r , θ_s , α , n e m , estimados pelo SWRC, foram utilizados para ajustar os dados ao modelo de van Genuchten (1980): $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \Psi)^n]^m$, em que: θ = umidade do solo (kg kg⁻¹); θ_r = umidade residual do solo (na tensão de 1,5 MPa); θ_s = umidade do solo saturado (kg kg⁻¹); Ψ = potencial da água no solo (kPa); e α , n e m = parâmetros empíricos da equação obtidos pelo ajuste do modelo. Estabeleceu-se que a umidade no potencial de -60 kPa, ajustado pelo modelo proposto por van Genuchten (1980), corresponde à condição de déficit hídrico.

A necessidade de calagem foi calculada pelo método de saturação por bases, para sua elevação a 30% e 70%, com os corretivos silicato de Ca e Mg e calcário dolomítico (Tabela 3). O solo corrigido foi incubado em casa de vegetação por 80 dias, com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo.

Tabela 3 – Composição química do silicato de Ca e Mg (agrossilício) e do calcário

Corretivos	PN	RE	PRNT	CaO	MgO
	%			dag kg ⁻¹	
Silicato	85,0	68,0	57,8	37,9	9,3
Dolomítico	102,5	97,0	99,4	39,8	13,1

PN = poder neutralizante; RE = reatividade; e PRNT = poder relativo de neutralização total.

Após o período de incubação e um dia antes da sementeira, foi feita correção da deficiência de K no solo, na forma de KCl, e de P, na forma de fosfato monoamônio (MAP). O P foi aplicado em 10% do volume total, na parte superior de cada vaso. O N, na forma de ureia e sulfato de amônio, e os micronutrientes foram parcelados em quatro aplicações: 12, 19, 26 e 33 dias após a emergência. As doses de nutrientes, exceto o B, foram aplicados conforme Novais et al. (1991). A fonte de B utilizada foi o ácido bórico P.A.

Em cada vaso foram colocadas 12 sementes, na profundidade de 2 cm. Uma semana após a emergência, realizou-se o desbaste, permanecendo as três plantas mais vigorosas. As plantas foram tutoradas para serem mantidas eretas durante o cultivo. Foram realizadas aplicações de inseticidas para controle da mosca-branca, com tiametoxam e imidacloprido. Para controle das doenças, foram feitas duas aplicações de tebuconazole, de forma preventiva.

O solo de cultivo foi mantido na capacidade de campo, estimada em potencial mátrico de -10 kPa desde a sementeira até o final do estágio R3 (caracterizado como a segunda fase de alongamento do broto floral, encontrando-se a uma distância maior de 2,0 cm acima da última folha), que ocorreu aos 52 DAS (dia após a sementeira). Os tratamentos com os potenciais matriciais de -10 kPa e -60 kPa foram estabelecidos a partir do 52º DAS (dias após a sementeira) – no intervalo da fase final do estágio R3 para R4 (início do florescimento, caracterizando-se por

apresentar as primeiras flores liguladas visíveis, de coloração amarela) e mantidos até o estágio R8, referente à segunda fase de desenvolvimento de aquênios, apresentando visualmente o dorso do capítulo amarelo-escuro e as brácteas ainda verdes (CASTIGLIONI et al., 1997). Para o monitoramento do potencial de água no solo, foi utilizado o minitensiômetro digital modelo T5 (UMS-MUC), e o ajuste da umidade no vaso foi feito por acréscimo de água.

Devido ao fato de o experimento ser conduzido em casa de vegetação, o que impossibilitou a polinização natural, foi necessário realizar a polinização artificial cruzada, que consistiu em utilizar a passagem da ponta do cotonete de algodão com pólen proveniente de diversas flores produzidas por plantas diferentes para, em seguida, se realizar rápido toque com a ponta desse cotonete em direção à base da flor, procurando atingir todos os estigmas (TRAVASSOS et al., 2011).

A colheita foi realizada 102 DAS, quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica (R9). Os capítulos foram cortados, colocados em sacos de papel, etiquetados e transportados para o Laboratório de Análise de Semente da UFV. Após a separação das sementes do capítulo, elas foram submetidas às avaliações das qualidades física e fisiológica e do teor de óleo das sementes. Os procedimentos para a condução de cada teste estão descritos a seguir:

Teor de água: determinado pelo método de estufa a 105 ± 3 °C durante 24 h, com duas subamostras de 4 g para cada tratamento. As amostras foram pesadas e os resultados, expressos em porcentagem com base na massa úmida (BRASIL, 2009).

As sementes foram beneficiadas através do processo de limpeza manual e classificadas, por tamanho, em peneiras de furos redondos, obtendo-se, assim, aquelas que foram retidas nas peneiras de diâmetros de 3, 5 e 7 mm.

Retenção em peneiras: duas subamostras de 200 g foram classificadas nas peneiras de 3 a 7 mm. As subamostras foram colocadas sobre a peneira superior e o conjunto, agitado por 1 min. Em seguida, as sementes retidas em cada peneira foram separadas e pesadas para a realização do cálculo da porcentagem de retenção. Para realização dos demais testes a seguir, adotou-se a padronização da utilização de sementes classificadas com o tamanho igual ou superior ao da peneira de 5 mm; as sementes retidas em peneiras inferiores foram descartadas.

Massa de 1.000 sementes: por meio da contagem de oito subamostras de 100 sementes de cada tratamento (BRASIL, 2009), a massa foi corrigida para o teor de água de 10%.

Morfologia interna das sementes: quatro subamostras de 50 sementes foram dispostas em placas acrílicas e submetidas à análise radiográfica, utilizando o equipamento Faxitron HP MX-20 digital, com intensidade de 22 kv e tempo de exposição aproximado de 11 seg, conforme calibração automática do equipamento. As sementes foram classificadas de acordo com as imagens radiografadas em seis categorias (LUZ et al., 2010), conforme a visualização de suas estruturas internas (Figura 1).

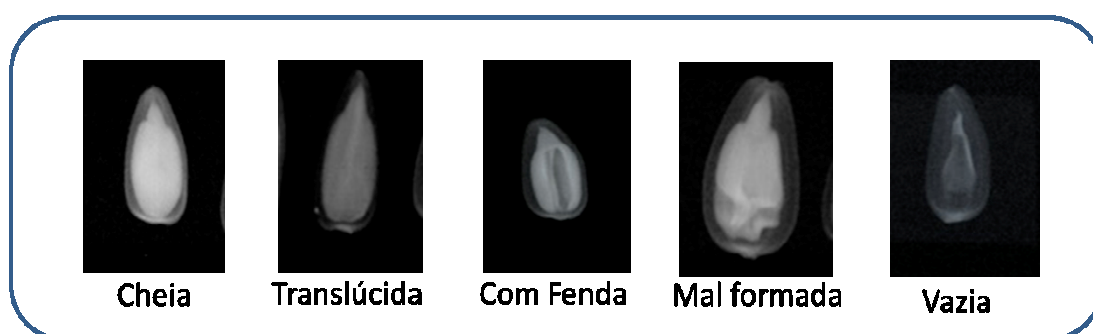


Figura 1 – Imagens radiográficas de sementes de girassol classificadas, quanto à morfologia interna, em cinco categorias.

Germinação: realizada com quatro repetições de 50 sementes em papel-toalha umedecido na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco, as quais foram colocadas para germinar na temperatura de 25 °C. As avaliações foram realizadas após o quarto dia (primeira contagem) e no décimo dia do início do teste, para a germinação. Computaram-se as plântulas normais, sendo os dados expressos em porcentagem (BRASIL, 2009).

Condutividade Elétrica de massa (CE): realizada com quatro subamostras de 50 sementes, que foram pesadas e colocadas para embeber em copos plásticos de 200 mL contendo 75 mL de água deionizada, mantidas em BOD a uma temperatura de 25 °C, por um período de 24 h (BRANDÃO JÚNIOR et al., 1997). Em seguida, foram realizadas as leituras da condutividade em um condutivímetro DIGIMED CD-21 e os resultados, expressos em $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ de sementes.

Envelhecimento acelerado: quatro subamostras de 50 sementes de cada tratamento foram colocadas em caixas plásticas tipo “gerbox” sobre uma tela

metálica no interior, cobrindo toda a sua superfície com uma camada única de sementes. As caixas tampadas e contendo 40 mL de água ficaram mantidas em câmara de germinação do tipo BOD, a 42 °C, durante 48 h (ADAMO et al., 1984). Posteriormente, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme métodos descritos, avaliando-se a porcentagem de plântulas normais no quarto dia após a semeadura.

Teste de emergência: utilizaram-se quatro subamostras de 50 sementes de cada tratamento, semeadas em bandejas plásticas com dimensões de 60 cm x 40 cm x 10 cm contendo areia como substrato. As bandejas com as sementes foram mantidas em casa de vegetação, com irrigação diária. Após 15 dias da semeadura, foi computado o número de plântulas normais emersas (BRASIL, 2009). Conjuntamente com o teste de emergência, foi realizado o índice de velocidade de emergência (IVE), em que diariamente foi computado o número de plântulas emergidas (cotilédones completamente acima da superfície do solo), calculado pela fórmula proposta por Maguire (1962).

Teor de óleo dos aquênios: quatro subamostras de 5 g de sementes de cada tratamento foram macerados, pesadas e encaminhadas para um extrator do tipo Soxhlet, onde permaneceram em refluxo com n-hexano por de 4 h; após a extração, as amostras foram acondicionadas em estufa a 65 °C por 24 h e, em seguida, levadas para um dessecador por mais 30 min e, novamente, pesadas.

Análise estatística

Os resultados do teor de água, a morfologia interna e o teor de óleo nas sementes foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os dados do teste de 1.000 sementes, das peneiras e dos testes da qualidade fisiológica das sementes foram submetidos à análise de variância e as médias da interação do regime hídrico x nível de B, comparadas pelo teste t a 1% de probabilidade. No contraste entre médias do regime hídrico $C_1 = I$ (potencial hídrico -10 kPa) – E (potencial hídrico -60 kPa) e do segundo contraste entre as médias da saturação por bases $C_2 = V70 - V30$, foram comparadas pelo teste t a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água nas sementes de girassol (dados não apresentados), depois de colhidas e realizada a secagem natural, independentemente dos fatores em estudo, ficou abaixo de 11%. Esse percentual está dentro da faixa recomendada para o armazenamento das sementes de girassol (LEITE et al., 2005).

As sementes originadas das plantas de girassol submetidas ao potencial hídrico de -10 kPa e saturação por base de 70% possuem teor de água maior do que àquelas submetidas ao regime hídrico de -60 kPa e saturação por bases de 30% (Tabela 4). Provavelmente, esses fatores foram responsáveis por retardar o processo de senescência das plantas de girassol devido às melhores condições de disponibilidade hídrica e de nutrientes.

Tabela 4 – Efeito da saturação de bases (SB) e regime hídrico (RH) no teor de água de sementes de girassol

SB	%	RH	%
V ₃₀	9.9 B	E	9.7 B
V ₇₀	10.6 A	I	10.7 A
CV%		8,4	

I = regime hídrico (potencial de água -10 kPa); E = regime hídrico (potencial de água - 60 kPa); Saturação de bases; V_{30%} = saturação por bases a 30% ; e V_{70%} = saturação por bases a 70%. As médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5%.

O regime hídrico influenciou a proporção de sementes retidas nas diferentes peneiras utilizadas (Tabela 5). De maneira geral, as maiores proporções das sementes ficaram retidas na peneira de 5 mm, independentemente do regime hídrico, das doses de silício e do B. Observou-se efeito positivo do contraste entre médias para a maior porcentagem das sementes retidas na peneira de 5 mm quando foi utilizado o regime hídrico no potencial de -10 kPa e saturação por bases a 70%.

Tabela 5 – Valores médios da massa de 1.000 sementes e teste de peneira das sementes de girassol do cv. Embrapa 122

Variável	Nível de boro/ Regime hídrico	Saturação 30%		Saturação 70%	
		Calcário	Silicato	Calcário	Silicato
Peneira 7 mm	B ₀ I	30 a A	24 b A	16 a A	18 a A
	B ₁ I	19 a B	12 b B	11 a B	9 a B
	B ₀ E	1 a B	1 a B	2 a B	2 a B
	B ₁ E	5 a A	5 a A	9 a A	10 a A
	CV(%)	14,5	C₁ = 17,6**	C₂ = -2,5**	
Peneira 5 mm	B ₀ I	69 b B	74 a B	83 a B	81 a B
	B ₁ I	76 b A	83 a A	87 a A	88 a A
	B ₀ E	63 a B	64 a B	81 a A	81 a A
	B ₁ E	81 a A	74 b A	79 a A	75 b B
	CV(%)	2,6	C₁ = 5,4**	C₂ = 8,8**	
Peneira 3 mm	B ₀ I	1 a B	2 a B	1 a A	1 a A
	B ₁ I	5 a A	5 a A	2 a A	3 a A
	B ₀ E	36 a A	35 a A	17 a A	17 a B
	B ₁ E	14 b B	21 a B	12 b B	24 a A
	CV(%)	16,8	C₁ = -19,5**	C₂ = -5,5**	
Massa de 1.000 sementes	B ₀ I	59,6 a A	63,9 a A	56,9 a A	60,5 a A
	B ₁ I	50,3 a B	54,2 a B	58,3 a A	54,4 a A
	B ₀ E	38,4 a B	40,0 a A	40,0 a A	43,3 a A
	B ₁ E	45,3 a A	44,4 a A	40,0 a A	41,8 a A
	CV(%)	7,1	C₁ = 15,6**	C₂ = -0,1^{ns}	

I = regime hídrico (potencial de água -10 kPa); E = regime hídrico (potencial de água - 60 kPa); B₀ = 0,18 mg dm⁻³; e B₁ = 1,2 mg dm⁻³. Contraste entre médias do regime hídrico C₁ = I – E e C₂ = V₇₀ – V₃₀ foram comparadas pelo teste t a 1% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas comparam os materiais corretivos, e as maiúsculas nas colunas comparam o regime de água, diferindo, assim, estatisticamente entre si, pelo teste t a 1% de probabilidade.

Com o uso do calcário como corretivo e o regime hídrico de -10 kPa no menor nível de B, quando submetidos à saturação de 30%, observou-se maior proporção de sementes retidas na peneira de 7 mm. Sementes classificadas na peneira de 3 mm, consideradas de menor tamanho, por sua vez obtiveram os menores valores, sendo esse resultado influenciado em razão da menor disponibilidade hídrica (-60 kPa) e da saturação por bases (30%). Sementes de girassol com menor tamanho provavelmente podem influenciar a menor qualidade das sementes em razão da maior porcentagem de sementes malformadas e a menor quantidade de reservas (BARBOSA et al., 2010).

O maior nível de boro favoreceu a produção de sementes de maior tamanho para as condições de déficit hídrico. Reduziu drasticamente a quantidade de sementes afetadas pelo déficit hídrico (-60 kPa) e que seriam usadas como descarte (peneira de 3 mm).

O déficit hídrico no potencial de -60 kPa reduziu a massa de 1.000 sementes. Os níveis de saturação por bases não influenciaram a massa de 1.000 sementes (Tabela 5). A maior massa de aquênios é o resultado da capacidade da planta de mobilizar os fotoassimilados em razão, conseqüentemente, das maiores taxas fotossintéticas devidas aos maiores rendimentos proporcionados pelos nutrientes até limite do potencial estabelecido para cada cultivar (ZAGONEL; MUNDSTOCK, 1991).

As sementes que foram analisadas por meio das imagens radiográficas, obtidas pelos raios X, apresentaram-se, em média, 82% cheias e 18% classificadas com fendas, malformadas, translúcidas e vazias (Tabela 6), o que pode causar prejuízos ao potencial fisiológico delas (ROCHA, 2012).

No que se refere à morfologia interna das sementes de girassol, as interações entre a saturação por bases a 70% e as condições hídricas de -10 kPa e a interação entre o Si e o menor nível de B favoreceram a maior porcentagem de sementes cheias.

As sementes classificadas como cheias e com fendas apresentam maiores porcentagens de germinação e alto vigor, de acordo com os estudos de Luz et al. (2010). Esses autores relataram que o dano causado com fendilhamento ao longo dos cotilédones não afeta a germinação das sementes de girassol. Neste trabalho, observou-se que o maior nível de B e sementes conduzidas com potencial hídrico -60 kPa reduziram a porcentagem de sementes classificadas com fendas.

Tabela 6 – Porcentagem de sementes de girassol agrupadas nas categorias, por meio da análise radiográfica da morfologia interna das sementes

-----Sementes cheias-----						----Sementes com fenda----			
-----%-----						-----%-----			
Interação SB x RH			Interação C x B			B		RH	
	E	I		B ₀	B ₁	B ₀	E	I	
V ₃₀	77,0 a B	79,0 a A	C ₁	79,0 a B	80,0 a A	B ₀	7,9 A		5,1 A
V ₇₀	81,0 a A	87,0 bA	C ₂	85,0 a A	80,0 b A	B ₁	5,5 B		8,2 B
CV%	7,5					66,4			
-----Sementes malformadas-----									
-----%-----									
Interação SB x RH			Interação C x B			B		RH	
SB	E	I		B ₀	B ₁	B ₀	E	I	
V ₃₀	4,6 a A	2,6 b A	C ₁	3,5 a A	2,5 a A	B ₀	3,5 a A		2,5 a A
V ₇₀	2,0 a B	1,6 a B	C ₂	1,8 a B	3,2 a A	B ₁	1,8 a B		3,2 a A
CV%	66,5								
-----Sementes vazias-----									
-----%-----									
SB	Interação B x RH			B	Interação B x RH				
	E	I		B ₀	B ₁	B ₀	E	I	
V ₃₀	4,1 A		C ₁	3,7 A	B ₀	B ₀	2,0 b B		3,9 a A
V ₇₀	1,7 B		C ₂	2,1 B	B ₁	B ₁	4,2 a A		1,6 b B
CV%	8,9								

Saturação por bases; V 30% = saturação por bases a 30% e V70% = saturação de bases a 70; B = boro; B₀ = 0,18 mg dm⁻³; B₁ = 1,2 mg dm⁻³; C = corretivo; C₁ = corretivo dolomítico; C₂ = corretivo silicatado; RH = tipo de regime hídrico; I = regime hídrico (potencial de água -10 kPa); e E = regime hídrico (Potencial de água - 60 kPa).

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A saturação por bases a 30% foi o principal fator que aumentou a porcentagem de sementes classificadas como malformadas e translúcidas. Para as sementes de girassol, essa classificação está associada a sementes com qualidade intermediária de germinação e vigor (LUZ et al., 2010).

A maior saturação por bases, o corretivo silicato de Ca e Mg e a interação com o maior nível de B em condições de hídricas de -10 kPa favoreceram a redução das sementes classificadas como vazias. Segundo Carvalho et al. (2009), as sementes classificadas como vazias pelo teste de raios X não apresentam germinação.

O teste de envelhecimento acelerado apresentou diferença positiva para o contraste nas condições de potencial hídrico -10 kPa, indicando que futuramente o progresso do processo de deterioração seja maior em sementes que foram submetidas ao déficit hídrico (Tabela 7). Por isso, Santos et al. (2011) ressaltaram a importância de se utilizar mais de um teste para determinar o vigor de sementes, em função da

variação da eficiência dos procedimentos disponíveis. Porém, na primeira contagem da germinação foi verificado que o maior nível de B na saturação por bases a 30% proporcionou aumento da porcentagem média de plântulas normais das sementes de girassol, independentemente do tipo de corretivo utilizado. Na comparação entre os corretivos, independente dos demais fatores, quando houve a diferença estatística, o corretivo silicato de Ca e Mg apresentou maior desempenho do IVE.

O maior nível de B influenciou a menor condutividade elétrica em condições hídricas de -60 kPa, na saturação por bases a 30% (Tabela 7). Provavelmente, o maior nível de B proporciona semente bem-formada no aspecto morfológico, conforme se pode observar no teste de raios X, maior massa da semente e retenção em peneiras maiores em condição hídrica adversa. Assim, o B influenciou a redução da quantidade de lixiviados da solução liberadas das sementes para o meio externo (TEXEIRA et al., 2005), sendo eficiente em proporcionar maior vigor das sementes no referido teste.

O nível de boro B₁ influenciou positivamente o vigor das sementes de girassol, que foram obtidas de plantas que foram submetidas ao déficit hídrico e à baixa correção da saturação do solo, conforme os dados dos testes fisiológicos anteriormente apresentados. Por sua vez, Bonacin et al. (2009) afirmaram que as doses de B não exercem efeito sobre o vigor de sementes de girassol, ressaltando que já existia um teor médio do micronutriente no solo.

O teor de óleo das sementes de girassol das plantas irrigadas foi maior, independentemente da saturação por bases (Tabela 8). Quando se observam o efeito da adubação com B, o regime hídrico, o potencial -10 kPa e a presença do B, há incremento no teor de óleo das sementes. Portanto, o aumento do teor de óleo nas sementes de girassol depende da disponibilidade de água no solo. Thomas et al. (2012) também verificaram alta correlação entre disponibilidade hídrica no solo durante a floração e enchimento de aquênios com a produção de aquênios e o teor de óleo.

Tabela 7 – Valores médios de porcentagem da primeira contagem da germinação (PC), germinação (G), índice de velocidade de emergência (IVE), condutividade elétrica (CE) e envelhecimento acelerado (EA) das sementes de girassol

Variável	Nível de boro/ Regime hídrico	Saturação 30%		Saturação 70%	
		Calcário	Silicato	Calcário	Silicato
		c		-----%-----	
PC	B ₀ I	46,0 b B	66,0 a B	55,6 a A	60,6 a A
	B ₁ I	78,6 a A	84,0 a A	66,6 a A	70,6 a A
	B ₀ E	47,6 b B	65,0 a A	69,6 a A	76,0 a A
	B ₁ E	66,6 a A	71,6 a A	77,0 a A	82,0 a A
	CV(%) 9,0	C₁ = -3,4*		C₂ = 4,0**	
		-----%-----		-----%-----	
G	B ₀ I	85,0 b B	91,5 a A	85,5 b A	92,5 a A
	B ₁ I	95,5 a A	95,0 a A	89,0 a A	90,0 a A
	B ₀ E	89,5 a A	93,0 a A	91,0 b A	97,5 a A
	B ₁ E	90,0 b A	94,0 a A	94,5 a A	92,0 a B
	CV (%) 9,4	C₁ = -2,1^{ns}		C₂ = -0,2^{ns}	
		-----%-----		-----%-----	
IVE	B ₀ I	10,7 a B	12,0 a A	10,2 b B	12,9 a A
	B ₁ I	12,7 a A	12,8 a A	13,2 a A	14,0 a A
	B ₀ E	12,9 a A	11,6 a A	10,9 b A	14,0 a A
	B ₁ E	11,3 b A	13,0 a A	11,4 b A	13,8 a A
	CV (%) 8,9	C₁ = 3,1^{ns}		C₂ = 0,4**	
		-----μS cm ⁻¹ g ⁻¹ -----		-----μS cm ⁻¹ g ⁻¹ -----	
CE	B ₀ I	59,5 a A	56,0 a A	47,0 a A	47,5 a A
	B ₁ I	64,5 a A	48,0 b A	48,2 a A	56,7 a A
	B ₀ E	64,0 a A	65,3 a A	51,7 a A	54,5 a A
	B ₁ E	50,0 a B	49,5 a B	43,5 b A	58,0 a A
	CV (%) 17,7	C₁ = 11,5^{ns}		C₂ = -6,2 *	
		-----%-----		-----%-----	
E. A	B ₀ I	70,0 a B	84,6 a A	79,0 a B	84,0 a A
	B ₁ I	84,6 a A	74,6 a A	86,0 a A	84,0 a A
	B ₀ E	76,6 a A	79,0 a A	76,6 a A	81,0 a A
	B ₁ E	68,6 b A	77,0 a A	70,0 a A	79,0 a A
	CV(%) 8,2	C₁ = 4,8*		C₂ = 3,0 *	

I = regime hídrico (potencial de água -10 kPa); E = regime hídrico (potencial de água - 60 kPa); B₀ = 0,18 mg dm⁻³; e B₁ = 1,2 mg dm⁻³. Em contraste, médias do regime hídrico C₁ = I - E e C₂ = V₇₀ - V₃₀ foram comparadas pelo teste t a 1% de probabilidade. –

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas comparam os materiais corretivos, e as maiúsculas nas colunas comparam o regime de água diferindo, assim, estatisticamente entre si, pelo teste t a 1% ou 5% de probabilidade.

Tabela 8 – Valores médios do teor de óleo das sementes de girassol em função das interações em estudos

Teor de óleo					
SB	Interação SB x RH		B	Interação B x RH	
	E	I		E	I
V ₃₀	31.2 b B	40.0 a A	B ₀	34.1 b A	39.1 a B
V ₇₀	36.5 b A	40.5 a A	B ₁	33.7 b A	41.4 a A
CV%	5,7				

RH = tipo de regime hídrico; I = regime hídrico (potencial de água -10 kPa); E = regime hídrico (potencial de água -60 kPa); saturação por bases; V_{30%} = saturação por bases a 30% e V_{70%} = saturação de bases a 70; B = boro; B₀ = 0,18 mg dm⁻³; e B₁ = 1,2 mg dm⁻³.

As médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

4. CONCLUSÕES

A maior dose de B proporcionou melhorias nas qualidades física e fisiológica das sementes de girassol em condições de déficit hídrico.

O Si aumentou a produção de aquênios e reduziu a porcentagem de sementes classificadas como malformadas e vazias. O Si não alterou a qualidade fisiológica e o teor de óleo das sementes.

5. REFERÊNCIAS

ADAMO, P. E.; SADER, R.; BANZATTO, D. A. Influência do tamanho na produção e qualidade de sementes de girassol. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 6, n. 3, p. 9-14, 1984.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinações e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira Ciência Solo**, v. 25, p. 27-33, 2000.

BARBOSA, C. Z. R.; SMIDERLE, O. J.; ALVES, J. M. A.; VILARINHO, A. A.; SEDIYAMA, T. Qualidade de sementes de soja BRS Tracajá, colhidas em Roraima em função do tamanho no armazenamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 73-80, 2010.

BERGER, K. C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 11, p. 540-545, 1939.

BONACIN, G. A.; RODRIGUES, T. J. D.; CRUZ, M. C. P.; BANZATTO, D. A. Características morfofisiológicas de sementes e produção de girassol em função de boro no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 111-116, 2009.

BRANDÃO JÚNIOR, D. S.; RIBEIRO, D. C. A.; BERNADINO FILHO, J. R.; VIEIRA, M. G. C. C. Adequação do teste de condutividade elétrica para determinar a qualidade fisiológica de sementes. **Informativo ABRATES**, Curitiba, v. 7, n. 1/2, p. 184, 1997.

BRASIL. Instrução Normativa n.25, de 16 de dezembro de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 16 Dez. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária/ MAPA/ACS, 2009. 399 p.

CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; CASTRO, C.; SILVEIRA, J. M. Fases de desenvolvimento da planta de girassol. Londrina, PR: EMBRAPA-CNPSO, 1997. 24 p. (EMBRAPA-CNPSO – Documentos, 59).

CARVALHO, M. L. M.; SILVA, C. D.; OLIVEIRA, L. M.; SILVA, D. G.; CALDEIRA, C. M. Testes de raios X na avaliação da qualidade de sementes de abóbora. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, PR, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2009.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal, SP: Funep, 2000. 588 p.

CONNOR, D. J.; HALL, A. J. Sunflower physiology. In: SCHNEITER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: ASA, CSSA & SSSA, 1997. cap. 3, p. 113, 182. (Monograph, 35).

DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química de solo**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17 p. (Boletim de Extensão).

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten**. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta). Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.
FENG, M. J. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.

GENUCHTEN, M.; VAN, T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

HANSON, E. How much boron do flowers need? In: Better Crops. **Atlanta**, v. 75, n. 4. p. 10-11, 1991.

HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plant roots. **Plant and Soil**, v. 193, p. 49-58, 1997.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisa de Soja/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Embrapa Soja, 2005.

LIANG, Y.; HUA, H.; ZHU, Y.; CHENG, C.; ROMHELD, V. Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport. **New Phytologist**, v. 172, n. 1, p. 63-72, 2006.

LUZ, R. P.; CARVALHO, B. O.; CARVALHO, M. L. M.; FERREIRA, V. F.; BARBARA, C. N. V. Análise de imagens radiográficas na avaliação da qualidade de sementes de girassol. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 20., 2010, Lavras, MG. **Anais...** Lavras, MG: UFLA, 2010. 1 CD-ROM.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, p. 342-397, 2006.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination and in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MOREIRA, A. R.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SOUZA, C. H. E. Resposta da cultura de soja a aplicação de silício foliar. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, p. 413-423, 2010.

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. (Ed.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, Brasília, 1991. p. 189-255.

ROCHA, C. R. M. **Avaliação da qualidade de sementes de girassol por meio de análise de imagens**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2012.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 29, p. 297-300, 2005.

SANTOS, J. F.; ALVARENGA, R. O.; TIMOTEO, T. S.; CONFORTO, E. C.; MARCOS FILHO, J.; VIEIRA, R. D. Avaliação do potencial fisiológico de lotes de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 743-751, 2011.

ŠKORIC, D. Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. **Helia**, v. 32, n. 50, p. 1-16, 2009.

TEIXEIRA, I. R.; BOREM, A.; ARAUJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 83-88, 2005.

THOMAZ, G. L.; ZAGONEL, J.; COLASANTE, L. O.; NOGUEIRA, R. R. Produção do girassol e teor de óleo nas sementes em diferentes épocas de semeadura no Centro-Sul do Paraná. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 203-208, 2012.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R. S.; NASCIMENTO, A. K. S.; DIAS, N. S. Produção de aquênio de girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 371-376, 2011.

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; CARVALHO, M. L. M.; PEREIRA, E. M.; CARVALHO, B. O. Qualidade de sementes de arroz irrigado produzidas com diferentes doses de silício. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3, p. 490-500, 2011.

ZAGONEL, J.; MUNDSTOCK, C. M. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em duas cultivares de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1487-1492, 1991.

CAPÍTULO III

RESPOSTA DO GIRASSOL À APLICAÇÃO DE DOSES DE SILICATO E BORONA TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

Objetivou-se verificar as respostas fitotécnicas e fisiológicas e o teor de óleo das sementes de girassol cultivado sob déficit hídrico, com a aplicação de doses de silicato de Ca e Mg e de B. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Utilizou-se a matriz experimental Plan Puebla III, modificada por Leite (1984), para composição dos tratamentos, constituídos da combinação de dois fatores: doses de silicato de Ca e Mg e de B em razão do regime hídrico (sem e com deficiência hídrica a partir do início do florescimento). Silício e B aumentam a tolerância do girassol ao déficit hídrico. Pesquisas futuras realizadas com plantas cultivadas no campo em condições contrastantes de umidade do solo devem ser conduzidas para determinar o benefício do Si e do B sobre a produtividade da cultura submetida ao déficit hídrico.

Palavras-chave: *Helianthus annuus*; Fluorescência da clorofila; Potencial hídrico foliar; Trocas gasosas; Teor de óleo.

CHAPTER III

SUNFLOWER RESPONSE TO THE APPLICATION OF SILICATE AND BORON DOSES IN TOLERANCE TO WATER DEFICIT

ABSTRACT

This study assessed the phytotechnical and physiological responses and the oil content of sunflower seeds cultivated under water deficit, with the application of silicate of Ca, and Mg and B. The experimental design was a randomized block design with four repetitions. The experimental matrix Plan Puebla III, modified by Leite (1984), was used for the treatment composition, consisting of the combination of two factors: doses of silicate of Ca and Mg and B due to the water regime (with and without water deficit from the beginning of flowering). Silicon and B increase sunflower tolerance to water deficit. Future research carried out with plants cultivated in the field in contrasting conditions of soil moisture should be conducted to determine the benefit of Si and B on the crop yield submitted to water deficit.

Keywords: *Helianthus annuus*; Chlorophyll fluorescence; Leaf water potential; Gas exchange; Oil content.

1. INTRODUÇÃO

O girassol ocupa posição de destaque entre as espécies oleaginosas: é a quarta cultura em produção de óleo, e cerca de 90% da sua produção é destinada à extração de óleo e farelo (USDA, 2013). Além de ser matéria-prima de outros alimentos, medicamentos, cosméticos e corantes, o girassol é fonte proteica para a produção de silagem (BONACIN et al., 2009). As demandas agroindustriais nos ramos de agroenergia e alimentício vêm impulsionando o complexo do girassol, principalmente nas regiões do centro-sul do Brasil – na maior parte dessas áreas é plantada como cultura safrinha (CONAB, 2014).

Apesar do cenário favorável para a cultura do girassol no Brasil, a ocorrência de adversidades climáticas ainda é fator de risco e de insucesso na sua produção. Esse fato se deve à principal época de seu cultivo (safrinha), período em que as plantas estão sujeitas ao estresse hídrico (LEITE et al., 2005). Assim, o déficit hídrico tem sido apontado como um dos principais fatores que ocasionam redução da produção de aquênios de girassol (CASTRO; FARIAS, 2005).

O período mais sensível ao estresse hídrico para a cultura do girassol é a partir do início da fase de florescimento e, ou, enchimento dos aquênios (CASTRO et al., 2006). As pesquisas têm demonstrado que a porcentagem média de água usada na cultura do girassol nesses estádios fenológicos é de aproximadamente 55% durante o florescimento e 25% na fase de enchimento de aquênios (DUTRA et al., 2012). Portanto, é necessário realizar estudos que contribuam para amenizar o efeito do déficit hídrico ocasionado nos estádios fenológicos de maior demanda hídrica,

minimizando, assim, as perdas de rendimento e a depreciação da qualidade dos aquênios e do óleo.

Uma tecnologia promissora para a cultura do girassol é a adubação silicatada. Os efeitos benéficos da aplicação de silicato de Ca e Mg são: redução da acidez do solo, devido à presença de agente neutralizante da acidez, como o SiO_3^{2-} (ALCARDE, 1992); aumento da disponibilidade de Ca e Mg (RAMOS et al., 2006); e o fato de ser fonte de Si (CAMARGO et al., 2007; PULZ et al., 2008).

O Si não é considerado essencial para o desenvolvimento das plantas, mas seus efeitos benéficos no aumento da tolerância das plantas ao estresse biótico e abiótico têm sido descritos para várias culturas (MA, 2004); no caso específico do girassol, foi verificada maior resistência ao estresse hídrico (GUNES et al., 2008). Plantas fertilizadas com Si são mais eficientes na utilização da água, por ter sua transpiração reduzida e aumento na taxa fotossintética (ZANÃO JUNIOR, 2011). A maior resistência ao déficit hídrico é atribuída ao acúmulo de Si nos órgãos de transpiração, o que provoca a formação de dupla camada de sílica cuticular que, pelo aumento da espessura, reduz a transpiração, diminuindo a abertura dos estômatos e limitando a perda de água das plantas (FARIA, 2000; MA; YAMAJI, 2006).

Entre os elementos essenciais ao desenvolvimento do girassol, destacam-se a exigência e a atividade do B no metabolismo da planta, cujo requerimento é vital para obtenção de altas produtividades. Entretanto, é preciso levar em consideração o fato de a maior parte da absorção do B ocorrer por fluxo de massa (HU; BROWN, 1997).

A baixa eficiência da adubação com B pode estar associada ao período de baixa disponibilidade de água no sistema solo-planta. A falta de água diminui a aquisição de B pelas raízes das plantas, devido à redução do seu transporte no solo. A transpiração é fator-chave para a absorção e concentração de B no tecido vegetal (RAVEN, 1980; HU; BROWN, 1997). Em regiões de solo com altas concentrações de B, o Si aumenta a tolerância do efeito da toxicidade desse elemento, impedindo danos oxidativos da membrana e também a translocação controlada das raízes para as folhas (GUNES et al., 2008).

Constatou-se influência positiva do silicato de Ca e Mg (primeiro experimento), em comparação com o corretivo tradicional, e o maior nível de B e, ou, silicato Ca e Mg foi eficiente para atenuar os efeitos do déficit hídrico na tensão de água estudada. Para otimizar o potencial da aplicação das doses e verificar as

possíveis interações desses nutrientes para amenizar o déficit hídrico, objetivou-se observar as respostas fitotécnicas e fisiológicas e o teor de óleo das sementes de girassol cultivado sob déficit hídrico com a aplicação de doses de silicato de Ca e Mg e de B.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG (20°45'S, 42°52'W e altitude de 651 m), em vasos de 30 dm⁻³, sem furos na base.

A pesquisa foi desenvolvida entre os meses de março e agosto de 2013. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), coletado na camada de 30 a 70 cm, nas proximidades da cidade de Viçosa, MG. As características químicas e granulométricas desse solo foram determinadas antes da instalação do experimento (Tabela 1).

Determinou-se a relação entre retenção de água no solo e tensão. Para isso, três amostras indeformadas do solo foram coletadas em cilindros metálicos com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Essas amostras foram saturadas e submetidas aos potenciais mátricos de -10, -30, -60, -100, -500 e -1.500 kPa, em câmara de pressão de Richards. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105°C, durante 48 h, para determinação do conteúdo de água relacionado à tensão aplicada (Tabela 2).

Tabela 1 – Características químicas e físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no cultivo do girassol

Características químicas do solo ⁽¹⁾								
pH	Ca	Mg	Al	H + Al	t	T	P	K
	-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----	
4,2	0,30	0,10	0,80	6,50	1,21	6,94	1,90	3,91
Cu	Zn	Fe	Mn	B	V	m	M.O	Prem
-----mg dm ⁻³ -----					-----%-----		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹
0,18	0,30	99,00	2,50	0,18	6,00	64,52	0,01	0,89
Granulometria do solo ⁽²⁾								
Argila	Silte		Areia fina		Areia Grossa			
-----dag kg ⁻¹ -----								
75	3		13		9			

⁽¹⁾ Determinações: pH com CaCl₂; solo:solução 1:2,5; Ca, Mg e Al, extrator KCl 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); Ca(OAc)² 0,5 mol L⁻¹ pH7 - H+Al; P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, extrator Mehlich-1 (DEFELIPO; RIBEIRO, 1981); B, água quente (BERGER; TRUOG, 1939); V, índice de saturação por bases; m, índice de saturação por alumínio; M.O., matéria orgânica; Prem, P remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000). ⁽²⁾ Ruiz (2005).

Tabela 2 – Umidade do solo (kg kg⁻¹) relacionada com os potenciais mátricos (kPa) do Latossolo Vermelho-Amarelo

Potenciais	-10	-30	-60	-100	-500	-1500
Umidade	0,410	0,286	0,273	0,261	0,254	0,238

Com os valores da curva de retenção de água do solo, foram estimados os parâmetros α , n e m e os valores de θ_r e θ_s para ajustar os dados ao modelo proposto por van Genuchten (1980), utilizando o programa computacional Soil Water Retention Curve (SWRC), versão 3.0 beta (DOURADO NETO et al., 2001). Os coeficientes θ_r , θ_s , α , n e m , estimados pelo SWRC, foram utilizados para ajustar os dados ao modelo de van Genuchten (1980): $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \Psi)^n]^m$, em que: θ = umidade do solo (kg kg⁻¹); θ_r = umidade residual do solo (na tensão de 1,5 MPa); θ_s = umidade do solo saturado (kg kg⁻¹); Ψ = potencial da água no solo (kPa); α , m e n = parâmetros empíricos da equação obtidos pelo ajuste do modelo. Estabeleceu-se que a umidade no potencial de -60 kPa, ajustado pelo modelo proposto por van Genuchten (1980), corresponde à condição de déficit hídrico.

Foram utilizadas cinco doses de silicato de Ca e Mg combinadas com cinco doses de B (10 tratamentos). As diferentes doses foram geradas a partir dos níveis propostos pelo modelo da matriz experimental Plan Puebla III, modificado por Leite (1984), correspondendo ao fatorial $2^k + 2k + 1 + 1$ (Tabela 3). O espaço experimental (limite inferior e superior) para as doses dos nutrientes foi de 0,29 a 2,28 mg dm⁻³ de B e de 0,19 a 3,63 g dm⁻³ de silicato de cálcio e magnésio, o suficiente para elevar a saturação de bases original do solo de 9,2 para 66,8%, respectivamente, pelo método de saturação por bases (Tabela 4). O solo corrigido foi incubado em casa de vegetação por 15 dias, com umidade equivalente a 80% da capacidade de campo.

Tabela 3 – Níveis da matriz e doses de B e silicato de Ca e Mg calculados de acordo com a matriz experimental Plan Puebla III, modificada por Leite (1984)

Tratamentos	Níveis		Boro	Silicato
	B	Silicato	mg dm ⁻³	g dm ⁻³
T1	-0,4	-0,4	0,85	1,15
T2	-0,4	0,4	0,85	2,70
T3	0,4	-0,4	1,74	1,15
T4	0,4	0,4	1,74	2,70
T5	-0,9	-0,4	0,29	34,2
T6	0,9	0,4	2,28	1,15
T7	-0,4	-0,9	0,85	0,19
T8	0,4	0,9	1,74	3,63
T9	0	0	1,3	1,91
T10	-0,9	-0,9	0,29	0,19

Tabela 4 – Composição química do silicato de Ca e Mg (agrossilício) e do calcário

Corretivos	PN	RE	PRNT	CaO	MgO
	-----%-----			-----dag kg ⁻¹ -----	
Silicato	85,0	68,0	57,8	37,9	9,3
Dolomítico	102,5	97,0	99,4	39,8	13,1

PN = poder neutralizante; RE = reatividade; e PRNT = poder relativo de neutralização total.

Após o período de incubação e um dia antes da semeadura, foi feita a correção da deficiência de K no solo, na forma de KCl, e de P, na forma de fosfato monoamônio (MAP). O P foi aplicado em 10% do volume total, na parte superior de cada vaso. O N, na forma de ureia e sulfato de amônio e os micronutrientes foram parcelados em quatro aplicações: 12, 19, 26 e 33 dias após a emergência. As doses de nutrientes, exceto o B, foram aplicadas conforme Novais et al. (1991). A fonte de B utilizada foi o ácido bórico P.A.

Foram semeadas 12 sementes por vaso, na profundidade de 2 cm. Uma semana após a emergência realizou-se o desbaste, permanecendo as três plantas mais vigorosas. As plantas foram tutoradas, para serem mantidas eretas durante todo o cultivo. Foram feitas aplicações dos inseticidas Tiametoxam e Imidacloprido, para o controle da mosca-branca. Para o controle das doenças, foram realizadas duas aplicações de Tebuconazole, de forma preventiva. Em todos os tratamentos, a umidade foi mantida na capacidade de campo (-10 kPa), desde a semeadura até o final do estágio R3, que caracteriza a segunda fase de alongamento do broto floral, encontrando-se a uma distância maior de 2,0 cm acima da última folha. Os tratamentos com os potenciais de -10 kPa e -60 kPa de água no solo foram estabelecidos a partir do 43º DAS (dias após a semeadura), no intervalo da fase final do estágio R3 para R4. Esse é o início da primeira fase do florescimento, e caracteriza-se por apresentar as primeiras flores liguladas visíveis, de coloração amarela – mantida até o estágio R8 (80 DAS), que se refere à segunda fase de desenvolvimento de aquênios e apresenta visualmente o dorso do capítulo amarelo-escuro e as brácteas ainda verdes (CASTIGLIONI et al., 1997). Para o monitoramento do potencial de água no solo, foi utilizado um minitensiômetro digital modelo T5 (UMS-MUC), e o ajuste da umidade no vaso foi feito por acréscimo de água.

Pelo fato de o experimento ser conduzido em casa de vegetação, o que impossibilitou a polinização natural, foi necessário fazer a polinização artificial cruzada, que consistiu em utilizar a passagem da ponta do cotonete de algodão com pólen proveniente de diversas flores produzidas por plantas diferentes para, em seguida, realizar um rápido toque com a ponta desse cotonete em direção à base da flor, procurando atingir todos os estigmas (TRAVASSOS et al., 2011).

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 10 tratamentos, totalizando 80 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos da combinação de doses de silicato de Ca e Mg e doses de B e de dois regimes hídricos (sem e com deficiência hídrica a partir do início do florescimento).

Avaliações

A colheita foi realizada aos 105 DAS, quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica (R9). Os capítulos foram cortados, colocados em sacos de papel, etiquetados e transportados ao Laboratório de Análise de Sementes da UFV. As sementes foram separadas do capítulo, para determinação da produção de aquênios.

Para obtenção da produção de massa da matéria seca total (MST) (estruturas vegetativa + reprodutivas), cada parte das plantas (folhas, caule e capítulo) foi seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante. Em seguida, foi realizada a determinação da fitomassa. Por fim, determinou-se a produção de MST. A dose de silicato de Ca e Mg e a de B recomendada para obter 90% da máxima eficiência econômica da MST foram utilizadas para calcular os níveis críticos da área foliar, trocas gasosas e variáveis da clorofila *a*, conforme metodologia descrita nos parágrafos subsequentes.

A área foliar (AF) foi avaliada aos 4, 14 e 25 dias após o emprego do déficit hídrico (DAEDH). A AF foi calculada com base no comprimento x largura, sendo estimada pela fórmula $\hat{Y} = 0,5405X^{1,0212}$ (AQUINO et al., 2011). Para essa avaliação, escolheu-se uma planta representativa por unidade experimental, utilizando como critério de seleção aquela que apresentou desenvolvimento intermediário entre as demais.

As variáveis das trocas gasosas foram avaliadas aos 22 dias após a aplicação do emprego do déficit hídrico; um dia após a data citada, avaliaram-se as variáveis da fluorescência da clorofila. O potencial hídrico foliar foi medido aos 24 DAEDH.

As trocas gasosas foram determinadas na terceira ou quarta folha completamente expandida, abaixo do capítulo. Em seguida, foram determinadas a taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a

taxa de transpiração foliar (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), com o auxílio de um analisador de gases infravermelho portátil (IRGA, Li-Cor, modelo LI-6400), em quatro plantas de cada tratamento. Essas variáveis foram analisadas em plantas expostas à radiação solar, em temperatura do ar de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, radiação fotossinteticamente ativa de $1.200\text{ }\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concentração de CO_2 e umidade relativa do ar natural, entre 8 h e 10h30. As avaliações foram realizadas em dias com ausência de nebulosidade.

A eficiência da fluorescência da clorofila foi avaliada por meio de um fluorômetro portátil (Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5P) entre 8 e 11 h, nas mesmas folhas em que foram feitas as avaliações das trocas gasosas. Para determinar as variáveis do estado adaptado ao escuro, a fluorescência inicial (F_o), a fluorescência máxima (F_m) e as relações F_v/F_m (rendimento quântico máximo), foi feito o acondicionamento das folhas com ajuda de cliques foliares por um período de 30 min, para simular uma condição de escuro.

Determinados os parâmetros no estado adaptado ao escuro, as folhas foram submetidas a um pulso de luz saturante, com intensidade de $1.400\text{ }\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e duração de 15 seg, para determinar os parâmetros do estado adaptado à luz, que permitiram a obtenção das relações: fluorescência inicial (F_s'), fluorescência máxima (F_m'), Y (produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado à luz), ETR (taxa de transporte de elétrons no fotossistema II) e Q_p (coeficiente de extinção fotoquímico).

A determinação do potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi avaliada entre 3 e 5 h da manhã, utilizando câmara de pressão (bomba de Scholander modelo 600 Spec), em folhas completamente expandidas, em quatro repetições de cada tratamento. Durante as medições, cada folha foi cortada na base do pecíolo, com o auxílio de um bisturi e imediatamente inserida na câmara de pressão. Em seguida, aplicou-se pressão até ocorrer a exsudação pelo corte feito na base do pecíolo da folha, e anotou-se o valor da leitura da pressão aplicada (TURNER, 1981).

Para determinação do teor de óleo dos aquênios, quatro subamostras de 5 g de sementes de cada tratamento foram maceradas, pesadas e encaminhadas para um extrator do tipo Soxhlet, em que permaneceram em refluxo com n-hexano pelo tempo de 4 h; após a extração, as amostras foram acondicionadas em estufa a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 h, e em seguida levadas para um dessecador por mais 30 min e novamente pesadas.

Análises estatísticas dos dados

A análise estatística dos dados foi feita por regressão. A significância das equações foi testada pelo teste F ($P < 0,05$ e $P < 0,01$). As equações foram estimadas com o auxílio do programa Statistica (Statsoft 7,0).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matéria seca total da planta de girassol ajustou-se ao modelo quadrático em função das doses de silicato e de B, em condições de potencial hídrico de -60 kPa. Foram obtidos 41,2 g de MST, conforme o cálculo da dose de silicato e de B para alcançar 90% da máxima produção física (PM 90%), correspondente a 2,91 g dm⁻³ e 1,50 mg dm⁻³, respectivamente. Em condições de -10 kPa, houve resposta linear para as doses de silicato e quadrático para as doses de B para a MST. A produção correspondente a 90% da máxima física da MST (151,8 g) de foi estimada com a dose de 3,27 g dm⁻³ de silicato e 1,0 mg dm⁻³ de B.

Tabela 5 – Produção de matéria seca total, após a maturação fisiológica da planta de girassol, em função da aplicação de doses de silicato e B sob duas condições de regime hídrico

Variável	Equação de regressão	R ²
	-60 kPa	
MST	$\hat{y} = 4,34748 + 17,42360*ST + 10,40695 B - 2,09154*ST^2 - 5,18911*B^2$	0,94
	-10 kPa	
MST	$\hat{y} = -5,2071 + 39,1063**ST + 55,4185*B - 26,3706**B^2$	0,96

ST = doses de silicato de Ca e Mg; MST = matéria seca total da planta (caule + folha + capítulo e aquênios); * e **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Carpentieri-Pipolo et al. (1999) e Marchetti et al. (2001) verificaram maior rendimento da massa seca da parte aérea do girassol com a adição de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ B. Para Castro et al. (2006), a dose de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de B proporcionou maior produção de matéria seca total.

Carvalho et al. (2009) verificaram que as doses de silicato aplicadas no substrato aumentaram a produção de matéria seca dos capítulos, das raízes e da parte aérea de girassol ornamental. Esses autores destacaram ainda o aumento do diâmetro das inflorescências com o aumento das doses de silicato e relataram que todos esses benefícios foram possíveis, porque o girassol absorveu o Si que se acumulou nos tecidos foliares. Além disso, houve aumento de aproximadamente 10 g kg^{-1} de Si nas folhas que receberam adubação silicatada em relação àquelas que não receberam, o que confirma que o girassol absorve esse elemento. Gunes et al. (2008) também verificaram aumento de produção de matéria seca da parte aérea e de raízes com o fornecimento de Si em girassol.

As épocas de avaliação da área foliar do girassol ajustaram-se aos modelos linear e quadrático em razão das doses de silicato e de B, em condições de potencial hídrico de -10 kPa . Em condições de deficiência hídrica, a área foliar não sofreu influência das doses de B, quando avaliado nas épocas 4 e 25 DAEDH (Tabela 6). Porém, aos 14 DAEDH, correspondentes à fase de pleno florescimento (R5), podem-se destacar as interações entre o silicato e o B (Tabela 6). Nessa fase fenológica, em condições de déficit hídrico, constatou-se área foliar de $1.070 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, estimada com a dose de $2,91 \text{ g dm}^{-3}$ de silicato e $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de B. Ao comparar os menores valores das doses desses nutrientes utilizados no espaço experimental, constatou-se que a área foliar representou incrementos de 66,1% daquela obtida para alcançar 90% da produção máxima da MST.

Após o florescimento, quando as folhas atingem a área foliar máxima, a ocorrência de deficiência hídrica reduziu severamente a área foliar. Nesse período ocorrem mudanças morfológicas e fisiológicas, culminando na sua senescência precoce, pois são as folhas que mais contribuem para a redistribuição de assimilados, para a produção de aquênios (CASTRO; FARIAS, 2005; OLIVEIRA, 2013).

Tabela 6 – Área foliar (cm² planta⁻¹) de plantas de girassol em função das doses de silicato de Ca e Mg e de B, em duas condições de regime hídrico e três épocas de avaliações

Épocas	Equação de regressão	R ²
	-60 kPa	
04 DAEDH	$\hat{y} = 160,0797 + 480,4079^{**}ST - 68,355 ST^2$	0,95
14 DAEDH	$\hat{y} = 248,8 + 340,113^{*}ST + 213,4 B - 168,790^{**}ST^2 - 365,2^{*}B^2 + 403,841^{*}STB$	0,86
25 DAEDH	$\hat{y} = 145,9528 + 440,8219^{**}ST - 62,8433^{*}ST^2$	0,91
	-10 kPa	
04 DAEDH	$\hat{y} = -385,16 + 1082,63^{**}ST + 1269,757^{*}B - 168,757^{**}ST^2 - 587,308^{**}B^2$	0,97
14 DAEDH	$\hat{y} = -280,666 + 721,254^{**}ST + 1766,604^{*}B - 772,081^{**}B^2$	0,98
25 DAEDH	$\hat{y} = -701,722 + 1446,809^{**}ST + 2147,8 B - 160,964^{*}ST^2 - 945,3^{**}B^2$	0,97

ST = doses de silicato de Ca e Mg; DAEDH = dias após o emprego do déficit hídrico; * e **: significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

O estresse hídrico associado à carência nutricional é um dos principais fatores que podem ocasionar a redução do aparato fotossintético, o que reduz fortemente a translocação de fotoassimilados para os aquênios, com influência sobre a massa da matéria seca, produtividade e teor de óleo (CASTRO; FARIAS, 2005). O déficit hídrico propicia ainda a incidência e severidade da deficiência de B, mais do que em qualquer outro micronutriente (CASTRO; FARIAS, 2005). Asad (2002) relatou que o girassol é sensível à deficiência de B, principalmente na fase reprodutiva, o que justifica a demanda de altas doses durante o estágio fenológico R5, pois esse elemento desempenha papel importante no florescimento, no crescimento do tubo polínico e nos processos de frutificação (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

A interação de B com silicato de Ca e Mg, cujo corretivo tem a função de reduzir a acidez do solo, aumenta o pH do solo, favorece a disponibilidade de B e também age como fonte de Ca, Mg e Si. Na cultura do trigo, o silicato combinado com B aumentou significativamente a área foliar sob condições de estresse hídrico. As plantas de girassol podem acumular Si na folha (GUNNES et al., 2008; CARVALHO et al., 2009), o que reduz a transpiração e faz que a exigência de água pela planta seja menor, devido à formação de dupla camada sílica. Essa camada reduz a transpiração, por diminuir a abertura dos estômatos, limitando, assim, a perda de água (ZANÃO JÚNIOR, 2011).

Não houve efeito da interação ($P > 0,05$) entre as doses de silicato e de B e o regime hídrico nas variáveis da A e E; foram constatados apenas os efeitos isolados

desses fatores (Tabela 7). Houve aumento na *A* e *E* das plantas de girassol supridas com doses de silicato e B, tendo ambos se ajustado melhor ao modelo quadrático, alcançando a maior taxa fotossintética e transpiratória de 38,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 4,9 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com as doses 2,90 e 2,65 g dm^{-3} do corretivo silicatado e 1,20 e 1,15 mg dm^{-3} de B, respectivamente, aos 24 DAEDH (Tabela 7). Em média, as plantas cultivadas nas doses máximas de silicato e de B apresentaram valores de *A*, 2,3 vezes maiores que os obtidos com as menores doses de silicato e de B explorados neste estudo, independentemente do regime hídrico.

Tabela 7 – Taxa de fotossíntese líquida (*A* $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e transpiração (*E* $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de folhas de girassol da cv. Embrapa 122, em função da aplicação de doses de silicato de Ca e Mg e de B aos 22 DAEDH

	Equação de regressão	R²
<i>A</i>	$\hat{y} = 9,87003 + 14,59208^{**}\text{ST} + 12,75353^{**}\text{B} - 2,51941^{**}\text{ST}^2 - 5,27283^{**}\text{B}^2$	0,98
<i>E</i>	$\hat{y} = 2,323535 + 1,420441^{**}\text{ST} + 1,211923\text{B} - 0,267670^{**}\text{ST}^2 - 0,528629^{**}\text{B}^2$	0,97

ST = doses de silicato de Ca e Mg; * e **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

A g_s avaliada aos 22 DAEDH sofreu efeito significativo das doses de silicato e B, sem que fossem verificadas interações entre elas, independentemente do regime hídrico. Em condições de potencial hídrico -60 kPa e -10 kPa, constatou-se que o valor da g_s foi de 0,55 e 1,14 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, estimado com a dose de 2,91 e 3,27 g dm^{-3} de silicato e 1,50 e 1,0 mg dm^{-3} de B (Tabela 8).

Tabela 8 – Condutância estomática (g_s $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de folhas de girassol, em função da aplicação de doses de silicato de Ca e Mg e de B aos 22 DAEDH, sob duas condições de regime hídrico

	Equação de regressão	R²
-60 kPa	$\hat{y} = 0,023461 + 0,246506^{**}\text{ST} + 0,31334^{**}\text{B} - 0,034420^{**}\text{ST}^2 - 0,166334^{**}\text{B}^2$	0,93
-10 kPa	$\hat{y} = 0,011328 + 0,688153^{**}\text{ST} + 0,600973^{**}\text{B} - 0,130837^{**}\text{ST}^2 - 0,338716^{**}\text{B}^2$	0,92

ST = doses de silicato de Ca e Mg; * e **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

A redução da g_s , devido ao déficit hídrico, foi amenizada pela adubação silicatada e de B. O incremento da g_s em relação a doses desses nutrientes foi de aproximadamente 99,8% e 85,0%, nas condições de potencial hídrico de -60 kPa e -10 kPa, comparadas com os valores obtidos com as menores doses de silicato e de B explorados neste estudo.

Essa resposta fisiológica indica que a redução da abertura estomática das plantas de girassol supridas com doses ideais de silicato e de B foi eficiente em restringir a perda de água da planta para a atmosfera, evitando maior desidratação dos tecidos foliares, conforme Ribeiro et al. (2009). A manutenção da abertura estomática em condições de déficit hídrico propiciado pela adubação silicatada e de B pode ser estratégia efetiva para manter a atividade fotossintética e o suprimento de fotoassimilados (MACHADO et al., 2009).

Estudos comprovam que em condições de estresse ligadas à deficiência de B, na folha de girassol, ocorre redução de g_s e A, ocasionada por danos estruturais e funcionais, uma vez que o B está diretamente envolvido na proteção e função de minimizar ou limitar a produção de radicais livres de oxigênio nos tilacoides (MUKHOPADHYAY et al., 2012).

Efeitos benéficos da aplicação de silicato na g_s e A foram estudados na cultura do algodoeiro por Ferraz et al. (2014). Esses autores constataram aumento de até 35,6 e 49,0%, respectivamente, em relação às plantas com ausência do elemento. Em girassol ornamental, a adição de silicato de potássio resultou em aumento da A e da g_s em função da dose aplicada (ZANÃO JUNIOR, 2011).

As plantas de girassol na condição de potencial mátrico de -10 kPa obtiveram o potencial hídrico foliar em torno de -0,233 MPa, estimados com a dose de 3,27 g dm^{-3} de silicato e 1,0 mg dm^{-3} de B (Tabela 9). Carvalho (2011) constatou que, em plantas de girassol das cultivares MG2 e M735, sob irrigação diária, o potencial hídrico foliar se manteve próximo a -0,5 MPa. No entanto, no tratamento sob restrição hídrica, observou-se queda acentuada na cv MG2, que apresentou potencial de -1,72 MPa.

A adubação com silicato e B em condições de -60 kPa foi fundamental para atenuar o efeito do déficit hídrico, pois o maior valor do potencial hídrico foliar foi estimado com as doses de 3,10 g dm^{-3} de silicato e de 1,0 mg dm^{-3} de B, variando entre -0,47 e -1,50 MPa, passando de deficiência moderada a severamente estressada, de acordo com os critérios estabelecidos por Pankovic et al. (1999), conforme a redução das doses desses nutrientes.

Tabela 9 – Potencial hídrico foliar de girassol, em função da aplicação de doses de silicato de Ca e Mg e de B aos 24 DAEDH, sob duas condições de regime hídrico

	Equação de regressão	R²
-60 kPa	$\hat{y} = -1,727497 + 0,66394**ST + 0,45151*B - 0,10812**ST^2 - 0,21635**B^2$	0,92
-10 kPa	$\hat{y} = -1,192004 + 0,34726**ST + 0,679196**B - 0,051725*ST^2 - 0,302814**B^2$	0,91

ST = doses de silicato Ca e Mg; * e **: significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Em condições de estresse hídrico, as plantas podem utilizar mecanismos de tolerância, como o ajuste osmótico, para que a célula absorva água e mantenha o potencial de pressão em níveis adequados. A diminuição do potencial osmótico, em resposta ao déficit hídrico, pode resultar de uma concentração passiva de solutos, consequência da desidratação da célula ou da acumulação ativa de solutos, mas só esta última pode ser considerada como ajuste osmótico (PATAKAS et al., 2002), pelo fato de alguns cultivares de girassol terem a capacidade de aumentar o teor de prolina em condições de déficit hídrico (UNYAYAR, 2004; GUNNES et al., 2008), em função de a menor acidez do solo e de o silicato de Ca e Mg serem fontes de Si.

Na cultura da batata, a adubação silicatada foi eficiente para elevar o teor de prolina, que tem a maior participação no ajustamento osmótico, consequentemente reduzindo os efeitos do déficit hídrico (PULS, 2008). Isso pode ser de extrema importância para as plantas que crescem em solos de regiões com clima tropical, onde estão sujeitas a veranicos. Os estômatos são sensíveis ao estado hídrico da folha, tendendo a fechar com o decréscimo do potencial de água na folha. Da mesma forma, o aumento do potencial de água foliar desencadeia o processo de sua abertura estomática (MARQUES, 2013).

A eficiência fotoquímica do FSII, avaliada pela razão Fv/Fm, não foi influenciada pelo déficit hídrico, ou seja, não foi observada diferença significativa entre as plantas-controle e as que foram submetidas ao déficit hídrico. No entanto, houve efeito significativo das doses de silicato e de B, independentemente do regime hídrico. Assim, pode-se estimar o aumento de 9,5% na Fv/Fm, comparado aos valores das doses mínimas em relação ao de máxima eficiência técnica (Tabela 10). De acordo com Ferraz et al. (2014), o aumento da eficiência quântica do FSII indica melhor aproveitamento e conversão da energia luminosa.

Nas demais variáveis fotoquímicas em estado adaptado à luz, constatou-se interação entre os tratamentos e os regimes hídricos (Tabela 10). Verificou-se que, sob o potencial hídrico de -60 kPa, as variáveis Y e ETR aumentam em razão dos incrementos lineares das doses do corretivo silicato e quadrático das doses de B, em que foi possível estimar o máximo Y e ETR com 1,37 mg dm⁻³ de B durante a fase de desenvolvimento dos aquênios. O coeficiente de extinção fotoquímico (Q_p) não sofreu influência das doses de silicato, no entanto apresentou variação em relação às doses de B. Sob o potencial hídrico de -60 kPa, o maior valor estimado de Q_p (0,33) foi obtido com a dose de 1,10 mg dm⁻³ (Tabela 10). O coeficiente de extinção fotoquímico representa a proporção de energia dos fótons capturados pelos centros de reação do FSII abertos e dissipada via transporte de elétrons (ZANANDREA et al., 2007), o que provavelmente indica maior extinção da fluorescência por processos relacionados ao transporte de elétrons nos cloroplastos e, conseqüentemente, geração de ATP e NADPH (AZEVEDO NETO et al., 2011).

Tabela 10 – Parâmetros da fluorescência, em função da aplicação de doses de silicato e de B aos 22 DAEDH

Variável	Equação de regressão	R ²
Fv/Fm	$\hat{y} = 0,742133 + 0,0365^{**}ST + 0,090832^{**}B - 0,007030^{*}ST^2 - 0,03171^{**}B^2$ -60 kPa	0,80
Y	$\hat{y} = 0,076358 + 0,029508^{**}ST + 0,129844^{*}B - 0,047091^{*}B^2$	0,76
ETR	$\hat{y} = 44,8119 + 17,3510^{**}ST + 76,4105^{*}B - 27,7111^{*}B^2$	0,76
QP	$\hat{y} = 0,111183 + 0,262843^{**}B - 0,076869^{*}B^2$ -10 kPa	0,73
Y	$\hat{y} = 0,061905 + 0,16386^{**}ST + 0,14830^{**}B - 0,018035^{*}ST^2 - 0,07166^{**}B^2$	0,96
ETR	$\hat{y} = 36,4234 + 96,2317^{**}ST + 86,9097^{**}B - 10,5628^{*}ST^2 - 42,0048^{**}B^2$	0,96
QP	$\hat{y} = 0,106743 + 0,222436^{**}ST + 0,191543^{**}B - 0,028115^{*}ST^2 - 0,08608^{**}B^2$	0,94

Eficiência quântica fotoquímica do FSII (Fv/Fm), produção quântica fotoquímica efetiva do FSII (Y), taxa de transporte de elétrons no fotossistema II (ETR) e coeficiente de extinção fotoquímico (Q_p); ST = doses de silicato Ca e Mg; * e **: significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Os resultados das variáveis Y, ETR e Q_p ajustaram-se a um modelo quadrático, sem que fosse verificada interação entre as doses de silicato e de B em condições hídricas -10 kPa. Para os pontos de máximo das equações para cada uma dessas variáveis, pode-se verificar aumento da ordem de 73,2% de Y e ETR e 69,7% de Q_p, em relação aos menores valores das doses de silicato e B explorados neste estudo.

O resultado do teor de óleo das sementes de girassol evidencia que a disponibilidade hídrica foi fundamental para o efeito da interação das doses de silicato e B (Tabela 11). Em condições de potencial hídrico -60 kPa e -10 kPa, constatou-se que as doses de 2,91 e 3,27 g dm⁻³ de silicato e 1,5 e 1,8 mg dm⁻³ de B resultaram em teores de óleo estimados de 36,4 e 42,0%, respectivamente. O aumento do teor de óleo dessas doses foi de 49,0% para as plantas cultivadas em condições de estresse hídrico e de 38,0% em condições sem estresse hídrico, em relação aos menores valores das doses de silicato e de B (Tabela 11). Pois, de acordo com Chatterjee e Nautiyal (2000) e Dube et al. (2000), o baixo teor de B no solo ocasiona deformação e menor massa de sementes de girassol e proporciona redução no teor de óleo. De acordo com Castro et al. (1997), o teor de óleo nos aquênios pode variar de 10 a 60%.

Tabela 11 – Teor de óleo das sementes de girassol, em função da aplicação de doses de silicato e de B, em duas condições de regime hídrico

Equação de regressão	R²
-60 kPa $\hat{y} = 14,44818 + 11,09625**ST + 8,28150**B - 1,94312**ST^2 - 2,66937**B^2$	0,92
-10 kPa $\hat{y} = 23,04689 + 7,47137**ST + 6,92516**B - 2,45850*ST^2 - 6,34498*B^2 + 4,90532*STB$	0,91

ST = doses de silicato Ca e Mg; * e **: significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Esses resultados corroboram com os estudos de Castro et al. (2006), pois o teor de óleo nos aquênios variou de 41% para plantas em condições sem déficit hídrico e até 35% na presença de déficit hídrico, em função das doses de B aplicado. Bonacin et al. (2009) não encontraram diferenças significativas entre as doses de B sobre o teor de óleo nas sementes de girassol.

A aplicação da adubação silicatada como fonte de Si aumentou significativamente o teor de óleo de sementes de girassol do híbrido Hysun-33, obtido por Tahiret et al. (2013), em que o teor de óleo máximo encontrado nas sementes foi de 48,0% com a aplicação de 46 kg ha⁻¹ de silicato de sódio, o que representa um incremento de 14,5% em relação à testemunha.

4. CONCLUSÕES

Silício e B aumentam a tolerância do girassol ao déficit hídrico.

Pesquisas futuras conduzidas com plantas cultivadas no campo, em condições contrastantes de umidade do solo, devem ser realizadas para determinar o benefício do Si e do B sobre a produtividade da cultura submetida ao déficit hídrico.

5. REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 62 p. (Boletim técnico, 6).

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinações e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira Ciência Solo**, v. 25, p. 27-33, 2000.

AQUINO, L. A.; SANTOS JUNIOR, V. C.; GUERRA, J. V. S.; COSTA, M. M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 832-836, 2011.

ASAD, A. Boron requirement for sunflower and wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p. 885-899, 2002.

AZEVEDO NETO, A. D.; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. C. C. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta para seleção de tolerância ao estresse salino em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 893-897, 2011.

BERGER, K. C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 11, p. 540-545, 1939.

BONACIN, G. A.; RODRIGUES, T. J. D.; CRUZ, M. C. P.; BANZATTO, D. A. Características morfofisiológicas de sementes e produção de girassol em função de boro no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 111-116, 2009.

CAMARGO, M. S.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; QUEIROZ, A. A.; REIS, C. B. Soil reaction and absorption of silicon by rice. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 176-180, 2007.

CARPENTIERI-PIPOLO, V.; SASSIS, J.; GARCIA, I. P. Efeito de doses de calcário e boro no crescimento do girassol (*Helianthus annuus* L.). **Semina; Ciência Agronômica**, v. 20, n. 1, p. 64-66, 1999.

CARVALHO, M. P.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciências Rural**, v. 39, n. 8, p. 2394-2399, 2009.

CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; CASTRO, C. de; SILVEIRA, J. M. Fases de desenvolvimento da planta de girassol. **Circular Técnica**, Londrina, PR, n. 58, EMBRAPA-CNPSO, 1997. 24 p.

CASTRO, C. DE; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. C.; KARAM, D.; MELLO, H. C.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, F. R. B. **A cultura do girassol: tecnologia de produção**. Londrina, PR: EMBRAPA-CNPSO, 1997. 36 p. (Circular Técnica, 67).

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R. F.; DECHEN, A. R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Revista Ciência Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 214-220, 2006.

CASTRO, C. de; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2005. p. 163-210.

CHATTERJEE, C.; NAUTIYAL, N. Developmental aberrations in seeds of boron deficient sunflower and recovery. **Journal of plant nutrition**, v. 23, n. 6, p. 835-841, 2000.

CONAB – COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. **Conjuntura mensal abril 2014**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_05_15_16_52_53_girassolabril2014.pdf>.

DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química de solo**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17 p. (Boletim de Extensão).

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Cap. 13, p. 253-280.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten**. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta). Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo, 2001.

DUBE, B. K.; SINHA, P.; CHATTERJEE, C. Boron stress affects metabolism and seed quality of sunflower. **Tropical Agriculture**, v. 77, n. 2, 2000.

DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F.; PAIM, L. R.; SCALON, S. P. Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2657-2668, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2000.

FERRAZ, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; MELO, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; FERNANDES, P. D.; ROCHA, M. S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 35, n. 2, p. 735-748, Mar./Abr. 2014.

GENUCHTEN, M.; VAN, T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plants. **Plant Soil**, v. 193, p. 49-58, 1997.

GUNES, A.; KADIOGLU, Y. K.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S.; AKSU, A. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, II: Essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive X-ray fluorescence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 13-14, p. 1904-1927, 2008.

LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2005. 641 p.

LEITE, R. A. **Uso de matrizes experimentais e de modelos estatísticos no estudo de equilíbrio fósforo-enxofre na cultura da soja em amostras de dois latossolos de Minas Gerais**. 1984. 87 f. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1984.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. de A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1575-1582, 2009.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, p. 11-18, 2004.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, p. 342-397, 2006.

MARCHETTI, M. E.; MOTOMYA, W. R.; FABRÍCIO, A. C.; NOVELINO, J. O. Resposta do girassol, *Helianthus annuus*, a fontes e níveis de boro. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 23, n. 5, p. 1107-1110, 2001.

MARQUES, D. J. **Proporções de silicato e carbonato de cálcio no crescimento, nutrição mineral e eficiência do uso da água por plantas de milho sob estresse hídrico**. 2013. 185 f. Tese (Doutorado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.

MUKHOPADHYAY, M.; GHOSH, P. D.; MONDAL, T. K. Effect of Boron Deficiency on Photosynthesis and Antioxidant Responses of Young Tea Plantlets. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 60, n. 5, p. 633-639, 2013.

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. (Ed.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-255.

OLIVEIRA, A. C. V. **Cultivo de girassol em sistema agroflorestal na região sul do Brasil**. 2013. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PANKOVIČ, D.; SAKAC, Z.; KEVRES, S.; PLESNICAR, M. Acclimation to long-term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 127-138, 1999.

PATAKAS, A.; NIKOLAOU, N.; ZIOZIOU, E.; RADOGLU, K.; NOITSAKIS, B. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. **Plant Science**, v. 163, p. 361-367, 2002.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1651-1659, 2008.

RAVEN, J. A. Short- and long-distance transport of boric acid in plants. **New Phytol**, v. 84, p. 231-249, 1980.

RAMOS, L. A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, p. 849-857, 2006.

RIBEIRO, R. V.; RAMOS, R. A.; SILVA, L.; PEREIRA, S. P.; ZAMBROSI, F. C. B.; ANDRADE, C. A. **A adubação silicatada ameniza os efeitos do déficit hídrico nas trocas gasosas de cafeeiros jovens**. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/hane/10820/3782/396.pdf?sequence=2>>. Acesso em: 20 Jan. 2014.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

TAHIR, M.; AHMAD, S.; AYUB, M.; NAEEM, M.; REHMAN, H.; SARWAR, M. A. Impact of planting time and silicon levels on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Pakistan Journal of Life and Social Sciences**, v. 11, n. 1, p. 60-64, 2013.

TRAVASSOS, K. D.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; SILVA, D. R. S.; NASCIMENTO, A. K. S.; DIAS, N. S. Produção de aquênio de girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 371-376, 2011.

TURNER, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v. 58, p. 339-366, 1981.

UNYAYAR, S.; KELEG, Y.; UNAL, E. Proline and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3-4, p. 34-47, 2004.

USDA – United States Department of Agriculture. **Oilseeds: world markets and trade**. 2013. Disponível em: <<http://www.nass.usda.gov>>. Acesso em: 12 Abr. 2014.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. **Produção de girassol ornamental e rosas em vasos por influência da fertilização silicatada**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

ZANANDREA, L.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 157-161, 2006.