Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Respostas fisiológicas de soja à aplicação de caulim e carbonato de cálcio

Natália Couto Salib

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2018

Natália Couto Salib
Bacharela em Agronomia

Respostas fisiológicas de soja à aplicação de caulim e carbonato de cálcio
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RICARDO FERRAZ DE OLIVEIRA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Salib, Natália Couto

Respostas fisiológicas de soja à aplicação de caulim e carbonato de cálcio / Natália Couto Salib. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

54 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Glycine max* (L) Merrill 2. Déficit hídrico 3. Temperatura 4. Fotossíntese 5. Fluorescência I. Título

AGRADECIMENTOS

À Deus, que iluminou o meu caminho e guiou os meus passos nesta caminhada.

À minha família, meu pai Antônio, minha mãe Elza e meus irmãos Gabriel e Guilherme, por serem a minha base e exemplos de retidão, honestidade e perseverança, e de quem sempre recebi amor incondicional.

Aos familiares, tios, tias, primos e primas que sempre me incentivaram e torceram pelo meu sucesso, em especial Ana Carolina, Andréia, Fernando e Marta, que mesmo de longe se fizeram presentes.

Ao meu orientador, professor Ricardo Ferraz de Oliveira, pela parceria, pelo apoio e por todos os ensinamentos, e por ter me convidado para fazer parte da família do Laboratório de Estudo de Plantas Sob Estresse (LEPSE).

Aos amigos do LEPSE Aécio Mendes Silva, Aldeir Ronaldo Silva, Diogo Capelin (e sua esposa Dayanne Fabrício Bressan), Gabriel Silva Daneluzzi, Fábila Barbosa da Silva e Francynês Macedo pelo convívio, pela compreensão, pelo apoio (e pelas caronas).

Aos funcionários do departamento Francisco Vitti, José Francisco Rodrigues e Karinna Trevisan, pela disponibilidade em ajudar.

Ao programa de Fisiologia e Bioquímica de Plantas e aos professores que me deram a oportunidade de aprender.

Ao coordenador do programa Ricardo Kluge, pelo apoio e pela compreensão.

À Maria Solizete Granziol Silva, pela competência e pela amizade.

À professora Sônia Maria de Stefano Piedade, pela ajuda com a estatística.

À Esalq, por fornecer condições para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao IF Goiano, que formou um alicerce que me permitiu galgar outras oportunidades.

Aos amigos, que de longe ou de perto contribuíram para a minha formação.

Aos demais aqui não citados, porém não menos importantes, que direta ou indiretamente me ajudaram e fizeram parte desta jornada.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	9
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	133
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	155
3. METODOLOGIA	199
3.1. MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO	199
3.2. IMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	21
3.3. AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS.....	22
3.3.1. Trocas gasosas.....	24
3.3.2. Fluorescência da clorofila <i>a</i>	25
3.3.3. Potencial da água	25
3.4. DESENHO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	26
4. RESULTADOS.....	27
5. DISCUSSÃO	43
6. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS.....	49

RESUMO

Respostas fisiológicas de soja à aplicação de caulim e carbonato de cálcio

Soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a oleaginosa mais amplamente cultivada em todo o mundo. E para que seja possível que se obtenha uma produção economicamente viável, além da adoção de técnicas para um manejo que otimize a produtividade, é necessário um ambiente que ofereça características adequadas para o bom crescimento e desenvolvimento da planta. Dentre as condições adversas que podem alterar negativamente o desenvolvimento, a escassez de água é a restrição ambiental que induz maiores perdas e diminui a produção em nível global. Neste âmbito, diversos produtos vêm sendo desenvolvidos e utilizados com o objetivo de diminuir os efeitos negativos ocasionados por alta intensidade luminosa, altas temperaturas e déficit hídrico na produtividade das plantas. Dentre estes, destacam-se certos produtos químicos que podem ser usados para mitigar o estresse da planta, como o caulim e o carbonato de cálcio. Embora haja um volume considerável de estudos do uso destes antitranspirantes como protetor, principalmente da aplicação do caulim, a maioria destes são com hortifrutis e plantas ornamentais, sendo incipiente os estudos sobre sua utilização em soja. Além disto, há a necessidade da elucidação dos resultados do uso conjunto de caulim e carbonato de cálcio. O experimento foi realizado na casa de vegetação do Laboratório de Estudo de Plantas Sob Estresse (LEPSE) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo (ESALQ - USP). Os tratamentos consistiram na pulverização de caulim e carbonato de cálcio nas seguintes doses: 0 L ha⁻¹ (controle), 10 L ha⁻¹ e 20 L ha⁻¹ e submetidas ao déficit hídrico pelo método gravimétrico mediante duas reposições hídricas no solo: com irrigação (100% da capacidade de campo, CC) e déficit hídrico (40% da capacidade de campo, CC). Neste experimento, os regimes hídricos não apresentaram diferenças estatísticas significantes nos primeiros dias, apesar disto, esta restrição na disponibilidade de água foi suficiente para alterar algumas variáveis analisadas, sugerindo um efeito no metabolismo das plantas. Foi avaliado que o déficit hídrico afetou a maquinaria fotossintética, afetando as características fisiológicas das plantas de soja, com diminuição da condutância estomática, assimilação de CO₂, taxa transpiratória, temperatura foliar, eficiência quântica de assimilação de CO₂, Coeficiente de extinção fotoquímica e Taxa aparente de transporte de elétrons, além de aumento do Coeficiente de extinção não fotoquímica. Estes resultados indicam que o agroquímico a base de caulim e carbonato de cálcio não altera o metabolismo em plantas de soja nas condições utilizadas neste experimento, sendo evidente apenas os resultados decorrentes da restrição hídrica.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; Déficit hídrico; Temperatura; Fluorescência; Fotossíntese

ABSTRACT

Physiological responses of soybean to the application of kaolin and calcium carbonate

Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] is the most widely grown oilseed in the world. And to be possible to obtain an economically viable production, besides the adoption of techniques for a management that optimizes productivity, an environment is needed that offers adequate characteristics for the good growth and development of the plant. Among adverse conditions that can negatively alter development, water deficit is the environmental constraint that induces greater losses and decreases production at the global level. In this context, several products have been developed and used with the objective of reducing the negative effects caused by high light intensity, high temperatures and water deficit in plant productivity. These include certain chemicals that can be used to mitigate plant stress, such as kaolin and calcium carbonate. Although there is a considerable amount of studies on the use of these antiperspirants as a protector, mainly of the application of kaolin, the majority of these are with vegetables and ornamental plants, being incipient the studies on their use in soy. In addition, there is a need to elucidate the results of the use a product consisting of kaolin and calcium carbonate. The experiment was conducted in the greenhouse of the Laboratory of Study of Under Stress Plants (LEPSE) of the "Luiz de Queiroz" School of Agriculture - University of São Paulo (ESALQ - USP). The treatments consisted of spraying kaolin and calcium carbonate in the following doses: 0 L ha⁻¹ (control), 10 L ha⁻¹ and 20 L ha⁻¹ and submitted to water deficit by gravimetric method (100% of the field capacity, CC) and water deficit (40% of the field capacity, CC). In this study, a water deficit that caused damage to the photosynthetic machinery of soybean plants was evaluated. The results presented allow us to propose that kaolin induces an improvement in the photosynthetic performance of the hydrated plants, whose responses may possibly increase the final yield of the plants. Under water deficit, high temperature and irradiance the product is not able to maintain the photosynthetic parameters, as observed in other studies. In this experiment, water deficit didn't present significant statistical differences in the first days, although, this restriction in water availability was enough to alter some variables analyzed, suggesting an effect on plant metabolism. It was evaluated that the water deficit affected the photosynthetic machinery, affecting the physiological characteristics of the soybean plants, with a decrease in stomatal conductance, CO₂ assimilation, transpiration rate, leaf temperature, quantum efficiency of CO₂ assimilation, photochemical extinction coefficient and apparent rate of electron transport, in addition to increasing the non-photochemical extinction coefficient. These results indicate that the agrochemical based on kaolin and calcium carbonate don't alter the metabolism in soybean plants under the conditions used in this experiment, being evident only the results of the water restriction.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill; Water deficit; Temperature; Fluorescence; Photosynthesis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vaso contendo apenas argila expandida.....	19
Figura 2. Vaso contendo substrato composto por argila laminada, argila expandida e vermiculita.....	20
Figura 3. Aplicador costal com pressurização por ar comprimido.....	21
Figura 4. Plantas de soja na casa de vegetação durante o experimento.....	22
Figura 5. Avaliação fisiológica sendo realizado com o auxílio do IRGA.....	23
Figura 6. IRGA com folha de soja pinçada.....	23
Figura 7. Tela mostrando alguns parâmetros fisiológicos durante avaliação com o IRGA.....	24
Figura 8. Câmara de pressão do tipo Scholander em dia de avaliação.....	25
Figura 9. Potencial Hídrico em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio, com 1 (I), 5 (II) e 9 (III e IV) dias após a aplicação, na antemãhã (I, II e III) e no período da tarde (IV). Significância: $p < 0,05$	27
Figura 10. Assimilação líquida de CO_2 em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	28
Figura 11. Taxa transpiratória em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	28
Figura 12. Condutância estomática em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	29
Figura 13. Eficiência quântica da assimilação de CO_2 em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	29
Figura 14. Temperatura foliar em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	30
Figura 15. Eficiência quântica potencial do fotossistema II em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	30
Figura 16. Eficiência quântica efetiva do fotossistema II em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	31

Figura 17. Coeficiente de extinção não fotoquímica em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	31
Figura 18. Coeficiente de extinção fotoquímica em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	32
Figura 19. Taxa aparente de transporte de elétrons em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$	32
Figura 20. Assimilação líquida de CO_2 em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à luz, aos 2 (I), 6 (II) e 10 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$	33
Figura 21. Taxa transpiratória em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à luz, aos 2 (I), 6 (II) e 10 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$	34
Figura 22. Condutância estomática em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à luz, aos 2 (I), 6 (II) e 10 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$	35
Figura 23. Temperatura foliar em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à luz, aos 2 (I), 6 (II) e 10 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$	36
Figura 24. Assimilação líquida de CO_2 em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$	37
Figura 25. Taxa transpiratória em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$	38
Figura 26. Condutância estomática de CO_2 em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$	39
Figura 27. Eficiência quântica da assimilação de CO_2 em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$	40

Figura 28. Temperatura na câmara de amostra em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$41

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
ΦCO_2	Eficiência quântica da assimilação de CO_2
A	Assimilação líquida de CO_2 [$\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$]
Adark	Assimilação líquida de CO_2 com a planta adaptada ao escuro [$\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$]
ATP	Trifosfato de adenosina
CaCO_3	Carbonato de cálcio
CC	Capacidade de campo
Cm	Centímetro
DAA	Dias após a aplicação
E	Taxa transpiratória [$\text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$]
EL	Excesso de luz
ETR	Taxa aparente de transporte de elétrons
Fm	Fluorescência máxima
Fo	Fluorescência inicial
Fv/Fm	Eficiência quântica máxima do fotossistema II
Fv'/Fm'	Eficiência quântica efetiva do fotossistema II
gs	Condutância estomática [$\text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$]
Ha	Hectare
IRGA	Analisador de gases por infravermelho
Kg	Quilograma
L	Litro
LHC	Complexo coletor de luz
mm	Milímetro
NADPH	Fosfato de dinucleotídeo de adenina e nicotinamida reduzido
nm	Nanômetro
NPQ	Coefficiente de extinção não fotoquímica
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa
PQ	Plastoquinona
PQH ₂	Plastoquinol
PSI	Fotossistema I
PSII	Fotossistema II
qE	Coefficiente de extinção dependente de alta energia
qI	Coefficiente de extinção relacionado a fotoinibição

qP	Coeficiente de extinção fotoquímica
UVA	Radiação ultravioleta A (315 nm – 400 nm)
UVB	Radiação ultravioleta B (280 nm – 315 nm)

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a oleaginosa mais amplamente cultivada em todo o mundo. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2018), a estimativa para a produção mundial é de 336,7 milhões de toneladas para a safra 2017/18. Os Estados Unidos mantêm a sua posição como maior produtor com 119,5 milhões de toneladas. O Brasil, segundo maior produtor mundial de soja, também apresenta um desenvolvimento extraordinário em relação aos anos anteriores, com uma estimativa de produção de soja para a safra 2017/18 entre 117,00 milhões de toneladas, 2,6% superior à safra passada. Sendo que, em relação à área plantada, houve um aumento da área semeada, que atualmente é de 35,1 milhões de hectares, o que corresponde a cerca de 57% da área total semeada com grãos no país, sendo a cultura com a maior área de cultivo (CONAB, 2018).

Para que seja possível que se obtenha uma produção economicamente viável, além da adoção de técnicas para um manejo que otimize a produtividade, é necessário um ambiente que ofereça características adequadas para o bom crescimento e desenvolvimento da planta (JIANG et al., 2004). Apesar destes bons indicativos já apresentados, a sustentabilidade da produção de soja está sendo ameaçada pelas mudanças climáticas, como a escassez de água em muitas partes do mundo (FOYER et al., 2016). Visto que, a produtividade está, muitas vezes, à mercê de estresses abióticos e flutuações ambientais aleatórias (ZINN et al., 2010). Desta forma, a agricultura contemporânea possui grandes desafios, considerando que, em um futuro breve será necessário que se enfrente um dos maiores impasses do século XXI, que é, concomitantemente, atender as crescentes necessidades alimentares da sociedade e reduzir os danos ambientais da agricultura (FOLEY et al., 2011). Assim, faz-se necessário entender as condições ambientais para melhor adequar as plantas e as técnicas de manejo à essa situação e atender as demandas.

Dentre as condições adversas que podem alterar negativamente o desenvolvimento, e consequentemente, a produtividade da planta, a escassez de água é a restrição ambiental que induz maiores perdas e diminui a produção em nível global (MANAVALAN et al., 2009; THAPA et al., 2011). Sabe-se que o estresse hídrico induz uma sequência de alterações morfológicas, bioquímicas e moleculares em todos os órgãos da planta, que afetam desfavoravelmente o crescimento e a produtividade das plantas. A dimensão destas alterações varia de acordo com vários fatores, como o estado anterior das plantas, e duração e severidade do estresse (WANG et al., 2001; FAROOQ et al., 2009; THAPA et al., 2011). A privação de água para a planta causará um fechamento estomático, consequentemente, uma diminuição da fotossíntese, além de diminuição no potencial de pressão e fluidez da membrana, mudanças nas concentrações de soluto e interações proteína-proteína e proteína-lipídio, podendo resultar em uma redução do tamanho das folhas, da extensão do caule e da proliferação de raízes, perturbação das relações hídricas das plantas, e redução da eficiência do uso da água (FAROOQ et al., 2009; VALLIYODAN; NGUYEN, 2006).

A radiação solar é um dos fatores de maior importância para a planta, por ser a energia necessária para a realização da fotossíntese. Contudo, em excesso pode causar uma saturação luminosa, culminando em uma diminuição da eficiência do uso da radiação; e a falta da mesma pode limitar os processos fotossintéticos (JIANG et al., 2004; TAIZ et al., 2017). Além disso, há outras características ambientais que são exigidas para a obtenção do máximo rendimento de grãos da soja. A temperatura ótima para o crescimento para esta varia entre 20°C e 30°C. Temperaturas fora deste intervalo podem causar um mau desenvolvimento e, consequentemente, uma produção menor do que o seu potencial máximo (EMBRAPA, 2013; SIEBERS et al., 2015). Temperaturas acima de 40°C podem alterar gravemente o crescimento, floração e a capacidade de retenção de vagens. Também é necessária uma precipitação ideal, entre 450 e 800 mm, bem distribuídos durante todo o ciclo. O requerimento de água deve ser

constante e crescente, com pontos críticos durante a floração e o enchimento de grãos (EMBRAPA, 2013; MECKEL et al., 1984).

Neste âmbito, diversos produtos vêm sendo desenvolvidos e utilizados com o objetivo de diminuir os efeitos negativos ocasionados por alta intensidade luminosa, altas temperaturas e déficit hídrico na produtividade das plantas. Dentre eles, destacam-se certos produtos químicos que podem ser usados para reduzir a taxa de transpiração e mitigar o estresse da planta, aumentando a resistência das folhas à difusão do vapor de água (AHMED, 2014).

Com base no mecanismo de ação, estes antitranspirantes são agrupados em três categorias, sendo elas: partículas de filme, materiais refletores e os que promovem o fechamento estomático. Os antitranspirantes com características de partículas de filme cobrem a superfície da folha com películas que diminuem a perda de vapor de água. Os materiais refletores induzem a reflexão de uma parte da radiação que incide sobre a superfície vegetal onde foi aplicado, podendo ser, por exemplo, um fruto ou uma folha. E, por último, os antitranspirantes que promovem o fechamento estomático, interferindo nos processos metabólicos nos tecidos foliares (AHMED, 2014).

Dentre os antitranspirantes, o mais estudado é o caulim, um mineral que pode ser utilizado puro ou adicionado à uma formulação. Apesar de ainda não haver consenso na comunidade científica sobre a sua eficiência, autores o classificam como uma partícula de filme que contribui no aumento da reflectância da folha (SOTETO-CULTIVA, 2011); diminui a temperatura da superfície foliar (JIFON; SYVERTSEN, 2003; STEIMAN et al., 2007; SOTELO-CUITIVA, 2011); melhora a taxa de assimilação de CO₂ e condutância estomática (JIFON; SYVERTSEN, 2003); melhora a eficiência do uso da água (JIFON; SYVERTSEN, 2003) e, conseqüentemente, melhora o desenvolvimento da planta e produção de frutos com maior qualidade (AHMED, 2014).

Também há registros na literatura do uso do carbonato de cálcio (CaCO₃) para proteger as plantas contra o excesso de irradiação solar, podendo também ser utilizado como fonte de micronutrientes ou como barreira para insetos (YEE, 2012). Embora haja um volume considerável de estudos do uso destes antitranspirantes como protetor, principalmente da aplicação do caulim, a maioria destes são com hortifrutis e plantas ornamentais, sendo incipiente os estudos sobre sua utilização em soja. Além disto, há a necessidade da elucidação dos resultados do uso do uso conjunto de caulim e carbonato de cálcio.

Diante do exposto, trabalhou-se neste estudo com as seguintes hipóteses a respeito do uso de caulim e carbonato de cálcio: 1) atenua os efeitos do estresse hídrico em plantas de soja; 2) induz melhor performance fotossintética em plantas de soja sob déficit hídrico; 3) auxilia na diminuição da temperatura foliar nas plantas de soja sob déficit hídrico. Assim, objetivou-se com este estudo validar se ocorre e como ocorre a influência da aplicação de diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio na fisiologia de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A radiação solar é um dos fatores de maior importância para a planta, por ser a energia necessária para a realização da fotossíntese, afetando diretamente o crescimento e o desenvolvimento da planta (JIANG et al., 2004; TAIZ et al., 2017). A percepção da luz ocorre através dos fotorreceptores, conjunto de uma proteína e um cromóforo, que convertem a energia dos fótons em sinais biológicos (TAIZ et al., 2017). Esta fotorresposta pode afetar a expressão gênica, foto-orientação, processos de desenvolvimento e relógio circadiano. De forma geral, os sinais luminosos são percebidos por cinco famílias: fitocromos (vermelho e vermelho distante), fototropinas (azul e UVA), criptocromos (azul e UVA), proteínas Zeitlupe (azul) e fotorreceptores de UVB (UVR8) (ALLORENT; PETROUTSOS, 2017; MAWPHLANG; KHARSHIING, 2017).

A energia luminosa é coletada pelos complexos pigmento-proteína coletores de luz (LHCs) e transferida para dois centros de reação, PSI e PSII, que operam em série dentro da cadeia de transporte de elétrons fotossintética. Seus sistemas de antena absorvem, preferencialmente, os comprimentos de onda de 650 e 700 nm de luz, respectivamente (ROCHAIX, 2007). A energia coletada por estes poderá desencadear um fluxo de elétrons, gerando ATP e NADPH. No entanto, esta não é a única rota de dissipação de energia, que pode também ser reemitida como fluorescência; ou ser dissipada através de processos não fotoquímicos (NPQ), como o calor; ou ainda redirecionada para a via do estado triplete (MÜLLER et al., 2001).

Ao longo das estações e até mesmo do dia, as plantas ficam expostas à diferentes intensidades e composição espectral de radiação solar. Assim sendo, pode ocorrer a falta da energia luminosa, limitando os processos fotossintéticos; ou até mesmo quantidades que excedem a sua capacidade fotossintética, que poderá causar uma saturação luminosa, culminando em uma diminuição da eficiência de uso desta (JIANG et al., 2004). Neste último caso, é atribuído o termo relativo “excesso de luz” (EL) (ORT, 2001; LI et al., 2009).

A delimitação do que constitui “excesso de luz” para uma folha pode variar em uma gama extremamente ampla de níveis de irradiação, além de depender das condições ambientais instantâneas e da condição da planta, visto que, estresses ambientais podem diminuir a capacidade fotossintética das plantas (DEMMIG-ADAMS; ADAMS III, 1992; ORT, 2001). Além de ser percebido pelos fotorreceptores, o EL também pode ser indiretamente sentindo através de sinais bioquímicos e metabólicos, que são transcritos em respostas de fotoproteção e de fotoaclimação (LI et al., 2009).

Sob intensidades de luz superior ao ótimo, a absorção da energia luminosa aumenta linearmente à medida que a intensidade aumenta. Porém, a assimilação do carbono torna-se saturada à altos níveis de radiação, denominada ponto de saturação de luz. Assim, em EL, a maior parte da energia luminosa absorvida não é utilizada nos processos fotossintéticos, levando à um aumento na produção de intermediários altamente reativos e subprodutos que podem causar danos às proteínas envolvidas na fotossíntese, processo este denominado fotoinibição (NIYOGI, 1999; BARBER; ANDERSSON, 1992).

Em função das alterações nos níveis de intensidade e qualidade de luz, as plantas evoluíram e desenvolveram mecanismos não apenas de percepção, mas também de regulação da absorção e utilização do EL, minimizando os potenciais danos fotooxidativos (TAKAHASHI; MURATA, 2008, MÜLLER et al., 2001). Outrossim, as plantas também possuem mecanismos capazes de eliminar o excesso de energia já absorvido (MÜLLER et al., 2001).

Devido às diferenças nos espectros de absorção de luz do PSI e PSII, pode haver uma excitação desigual dos dois sistemas fotossintéticos e, por trabalharem em série, pode haver uma diminuição do rendimento fotossintético. Para mitigar este resultado, as plantas podem equilibrar a energia luminosa absorvida entre os dois fotossistemas e regular as transições do estado fotossintético, ajustando a excitação dos dois fotossistemas durante a aclimação de qualidade da luz, através de estado redox da plastoquinona (PQ) (ROCHAIX, 2007; LI et al., 2009). Quando o PSII é superestimulado em relação ao PSI, o estado redox da PQ é alterado para um estado mais reduzido. Estas condições favorecem o acoplamento do plastoquinol (PQH_2) ao complexo Qo do complexo do citocromo b_6f , o que leva à ativação de uma proteína quinase que fosforila o complexo LHCII. Uma fração desse complexo, a parte móvel do LHCII, move-se subsequentemente de PSII para PSI, equilibrando assim a energia de excitação de luz entre os dois sistemas fotossintéticos (ROCHAIX, 2007).

Quenching não fotoquímico (NPQ) é a denominação de todos os mecanismos que diminuem a assimilação líquida de CO_2 , desconsiderando a fotoquímica, sendo dividido em qE (quenching dependente de alta energia) e qI (quenching relacionado a fotoinibição), em plantas. Estes processos ajudam a regular e proteger a fotossíntese em ambientes com EL (MÜLLER et al., 2001; MAXWELL; JOHNSON, 2000). Quando a absorção de luz excede a capacidade de sua utilização, em outras palavras, em situações de EL, há uma diminuição na condutância de prótons pela ATPase resultando em uma rápida diminuição do pH do lúmen do tilacóide (LI et al., 2009). Esta alteração no pH sinaliza para o acionamento de um processo regulatório de absorção de luz, chamado qE, que dissipa o EL, como calor, e protege o aparato fotossintético durante uma flutuação de intensidade luminosa de curta duração. Este processo, que é independente de expressão gênica, envolve a ativação do ciclo das xantofilas e a percepção do pH do lúmen por uma proteína do PSII (LI et al., 2009).

O chamado ciclo das xantofilas ocorre quando, em situação de EL, o pH do lúmen é alterado para valores inferiores à 5,8, ativando a violaxantina de-epoxidase (VDE), uma enzima que converte violaxantina em zeaxantina, com a anteraxantina como intermediária. (JAHNS et al., 2009). A ligação de prótons e moléculas de zeaxantina no complexo antena causa alterações conformacionais nos componentes desta, levando à dissipação de calor. Este estado dissipativo de luz consome NADPH e O_2 e é reversível. Quando a incidência luminosa diminui, e o pH é alterado para 7,5, e a zeaxantina epoxidase, enzima que se localiza no estroma do cloroplasto, faz a reação inversa (JAHNS et al., 2009; BAKER, 2008).

Sendo também um componente do NPQ, o qI é particularmente relevante em altos níveis de luz saturante, relacionado à fotoinibição da fotossíntese (MÜLLER et al., 2001). Este fenômeno é o resultado da exposição de organismos fotossintéticos ao EL, acarretando danos aos pigmentos fotossintéticos, e consequentemente, a inibição da atividade do fotossistema II (PSII) (POWLES, 1984; MURATA et al., 2007). No entanto, apesar de serem inevitáveis, os efeitos tóxicos da fotoinibição são reversíveis através do reparo do PSII (MURATA et al., 2007). Ao contrário do qE que é mais rápido, este componente do NPQ é mais lento, sendo também mais duradouro (MURCHIE; LAWSON, 2013).

O excesso de luz promove a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), que são subprodutos inevitáveis da fotossíntese, como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), superóxido (O_2^-), radical hidroxila (OH^-) e $^1O_2^*$ em cloroplastos, causando danos oxidativos progressivos e, finalmente, morte celular (ASADA, 2006). Apesar de sua atividade destrutiva, especialmente para as proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, eles também possuem funções fisiológicas, regulando o desenvolvimento das plantas e atuando como moléculas sinalizadoras, preparando a resposta à estímulos de estresse (APEL; HIRT, 2004; ALBORESI et al., 2011).

Outro mecanismo para mitigar os efeitos danosos do EL é observado ao nível anatômico. Nesta situação, os cloroplastos movem-se para as laterais da célula vegetal, ou seja, para uma região que recebe menos irradiância, de modo que estejam posicionados paralelamente à direção da luz incidente, para diminuir a absorção em excesso desta energia e, assim, minimizar os efeitos negativos (KASAHARA et al., 2002).

A alteração gênica também é um recurso de proteção utilizado pelas plantas para minimizar os danos devido ao EL. Para evitar e/ou diminuir a ocorrência de danos, após a percepção dessa irradiância, são enviadas informações para o núcleo, que inicia uma resposta genética. Dentre as alterações resultantes do EL, tem-se maiores taxas de saturação da fotossíntese, maiores quantidades de proteína Rubisco, menor proporção de clorofila *a:b*, diminuição do tamanho do complexo coletor de luz, além de folhas mais grossas (KLEINE et al., 2007; MURCHIE et al., 2005; MÜLLER et al., 2001).

Neste contexto, é evidente que o estresses abióticos podem promover perturbações nas características fisiológicas das plantas, modificando seu crescimento e desenvolvimento e, conseqüentemente afetar a produtividade. Sendo assim, é necessário buscar soluções que torne as plantas menos suscetíveis às alterações ambientais, como, a aquisição de estratégias que visam melhorar a produtividade de culturas de importância agrônômica, como a soja (BOARI et al., 2015). Desta forma, estudos com a utilização de antitranspirantes têm sido reportados. São conhecidos três tipos de antitranspirantes: partículas de filme, materiais refletores e os que promovem o fechamento estomático (AHMED, 2014). Destes, os agentes antitranspirantes formadores de película e refletor se destacam por não serem tóxicos e por terem um período de eficácia mais longo do que os do tipo metabólicos que promovem o fechamento estomático (AHMED, 2014).

Segundo Glenn e Puterka (2005), caulim, uma argila modificada cujo componente mineral principal é a caulinita, é um exemplo de antitranspirante com partículas de filme. É um composto multifuncional, não poluente, na cor branca, não poroso, pouco abrasivo, composto por partículas finas com formato plano. Ainda de acordo com estes autores, o caulim proporciona um controle eficaz dos insetos, atenuando o estresse térmico e contribuindo para a produção de frutas e legumes de alta qualidade, podendo também ser utilizado para a agricultura biológica. O uso do caulim na agricultura, principalmente para combater as pragas e o estresse térmico, pode ser uma oportunidade para explorar uma melhor eficiência no uso da água pela planta devido ao seu efeito antitranspirante (BOARI et al., 2015).

Uma das formulações que contém caulim e está disponível no mercado é o produto Surround WP®. Por ter partículas do tipo filme, ele protege a cultura formando uma película branca na superfície foliar, promovendo a reflexão da radiação solar e diminuindo o estresse térmico, reduzindo, assim, o risco de danos causados por altas temperaturas e irradiância em folhas e frutos (GLENN, 2012). Além disso, este produto promove a redução da queimadura solar em algumas frutas, como romã, maçã, noz e tomate (CANTORE et al., 2009; WEERAKKODYET et al., 2010; GLENN, 2012).

De acordo com Ahmed e colaboradores (2013), o carbonato de cálcio (CaCO_3), um mineral altamente reflexivo, também pode atuar como partícula barreira reflexiva para os efeitos danosos da radiação solar e do calor, contribuindo para a redução da queimadura solar, aumentando a produtividade e a qualidade dos frutos. Uma das formulações que está disponível para os produtores rurais que contém o CaCO_3 é o Purshade® (62.5% CaCO_3). Comercializado como um protetor solar para as plantas, com indicação para árvores frutíferas, alguns vegetais e cereais. Dentro os efeitos, tem-se a redução dos danos devido à alta irradiação, diminuindo o estresse, sem impedir a ocorrência da fotossíntese, promovendo, assim, a eficiência da fotossíntese e biomassa (BADRAN, 2015; NOVASOURCE, 2016).

Diante desta abordagem, evidencia-se que há informações sobre o uso de antitranspirantes, com resultados positivos, contribuindo para uma produtividade mais rentável e com uma qualidade superior. No entanto, não há estudos que validem a eficiência do uso deste produto composto principalmente por caulim e carbonato de cálcio. Além disso, ainda são escassos os estudos que demonstram a relação entre estes antitranspirantes e seus efeitos na performance fotossintética de plantas cultivadas.

3. METODOLOGIA

3.1. Material vegetal e condições de cultivo

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Laboratório de Estudo de Plantas Sob Estresse (LEPSE) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo (ESALQ - USP), entre os meses maio e agosto de 2017. Sementes de soja, cultivar Monsoy M7908RR foram germinadas em câmara de germinação (BOD) a 25°C, utilizando papel tipo Germitest, umedecidos com água o equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Plantas jovens de soja foram transplantadas para vasos de polietileno (5 L), contendo 3,83 Kg de substrato (± 1 g), composto por argila laminada (2,5 mm), argila expandida (6 a 15 mm) e vermiculita na proporção 1:1:1; acomodado sobre uma camada de aproximadamente 3 cm de argila expandida (22 a 32 mm) no fundo do vaso (Figuras 1 e 2).

Figura 1. Vaso contendo apenas argila expandida.

Figura 2. Vaso contendo substrato composto por argila laminada, argila expandida e vermiculita.

As plantas foram irrigadas diariamente com solução nutritiva de Hoagland preparada com a mistura de $0,46 \text{ g L}^{-1}$ do fertilizante Miracle-Gro® Water Soluble All Purpose Plant Food (Tabela 1), $0,1 \text{ g L}^{-1}$ KCl (cloreto de potássio), $0,26 \text{ g L}^{-1}$ CaCl_2 (cloreto de cálcio), $0,1 \text{ g L}^{-1}$ MgCl_2 (cloreto de magnésio) e 2 mL L^{-1} Fe-EDTA (EDTA de sódio férrico), com pH corrigido quando necessário. O volume variou de acordo com as necessidades das plantas, mantendo, assim, o substrato na capacidade de campo. Prática esta adotada até a imposição dos tratamentos.

Tabela 1. Composição química do fertilizante Miracle-Gro® Water Soluble All Purpose Plant Food

Nutriente	Quantidade (%)
Nitrogênio (N)	24
Fósforo (P)	8
Potássio (K)	16
Boro (B)	0,02
Cobre (Cu)	0,07
Ferro (Fe)	0,15
Manganês (Mn)	0,05
Molibidênio (Mo)	0,0005
Zinco (Zn)	0,06

Quando as plantas atingiram o estágio V3, 17 dias após o plantio, foi realizado um desbaste, deixando apenas uma planta por vaso. Durante todo o período experimental os tratos culturais foram realizados sempre que

necessário, como a remoção manual de plantas invasoras e tratamento fitossanitário, segundo recomendações técnicas.

3.2. Imposição dos tratamentos

Os tratamentos foram impostos no estágio de desenvolvimento V8, cinquenta e nove dias após o plantio, quando foi realizada a pulverização de caulim e carbonato de cálcio nas seguintes doses: 0 L ha⁻¹ (controle), 10 L ha⁻¹ e 20 L ha⁻¹ e submetidas ao déficit hídrico pelo método gravimétrico mediante duas reposições hídricas no solo: com irrigação (100% da capacidade de campo, CC) e déficit hídrico (60% da capacidade de campo, CC). A aplicação do produto ou da água pura (no caso da testemunha) foi realizada utilizando um pulverizador costal com pressurização por ar comprimido regulado para uma aplicação total de calda de 200 L ha⁻¹, sobre o dossel das plantas de forma a conseguir uma boa distribuição de gotas (Figura 3). As plantas foram submetidas aos tratamentos por um período de 13 dias (Figura 4).

Figura 3. Aplicador costal com pressurização por ar comprimido

Figura 4. Plantas de soja na casa de vegetação durante o experimento.

3.3. Avaliações fisiológicas

As avaliações de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* foram realizadas utilizando analisador de gases por infravermelho (IRGA) modelo LI-6400XT (Li-Cor, Nebraska, Estados Unidos) (Figuras 5, 6 e 7). Estas foram realizadas no primeiro trifólio totalmente expandido, entre as 8h00min e 15h00min, exceto avaliações com necessidade de folhas adaptadas ao escuro, que foram realizadas no período de 4h30min e 7h00min. As avaliações ocorreram nos seguintes tempos: 1, 5, 9 e 13 dias após a aplicação (DAA) para trocas gasosas; 1, 5 e 9 DAA para fluorescência da clorofila *a*; 2, 6 e 10 DAA para curva resposta à luz; 3, 7 e 11 DAA para curva de resposta à temperatura; e 1, 5 e 9 DAA para potencial da água.

Figura 5. Avaliação fisiológica sendo realizado com o auxílio do IRGA.

Figura 6. IRGA com folha de soja pinçada.

Figura 7. Tela mostrando alguns parâmetros fisiológicos durante avaliação com o IRGA.

3.3.1. Trocas gasosas

As avaliações de trocas gasosas em plantas de soja foram realizadas com registro de assimilação líquida de CO_2 [A , $\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], taxa transpiratória [E , $\text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], condutância estomática [g_s , $\text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$], temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$), e assimilação líquida de CO_2 com a planta adaptada ao escuro [A_{dark} , $\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]. A adaptação ao escuro das folhas foi feita por um período mínimo de 40 minutos com cliques (Li-Cor, Nebraska, Estados Unidos), além disto, a avaliação foi realizada no período da antemanhã (4h30min e 7h00min). A eficiência quântica da assimilação de CO_2 (ΦCO_2) também foi inferido a partir das avaliações das trocas gasosas. O PAR foi fixado em $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a umidade relativa foi controlada para que se mantivesse entre 60 e 65%.

Foram realizadas curvas de resposta à luz e à temperatura no intuito de simular os estresses luminoso e térmico. A curva de resposta à luz foi feita controlando o PAR, com a adoção de seis pontos (30, 500, 1000, 1500, 2000 e $2500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), com o tempo de estabilização variando entre 8 e 15 minutos, sendo utilizado como fator de estabilização a concentração de CO_2 e de água na câmara de amostra, assimilação líquida de CO_2 e condutância estomática. Outrossim, a temperatura da câmara da folha foi fixada em 25°C e a umidade relativa foi controlada para que se mantivesse entre 60 e 65% com o auxílio de um gerador de ponto de orvalho portátil modelo LI-610 (Li-Cor, Nebraska, Estados Unidos).

A curva de resposta à temperatura consistiu de três pontos de temperatura foliar (25, 30 e 35°C), sendo utilizado como fator de estabilização a concentração de água na câmara de amostra, assimilação líquida de CO_2 , condutância estomática e temperatura foliar. O tempo de estabilização variou entre 40 e 60 minutos. O PAR foi fixado em $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a umidade relativa foi controlada para que se mantivesse entre 60 e 65% com o auxílio de um gerador de ponto de orvalho portátil modelo LI-610 (Li-Cor, Nebraska, Estados Unidos).

3.3.2. Fluorescência da clorofila *a*

Inicialmente foram determinadas, em folhas adaptadas à pelo menos 40 minutos de escuro, a fluorescência inicial (F_o) e a fluorescência máxima (F_m), onde F_o é o rendimento da fluorescência mínima, obtido pela utilização de uma luz vermelha modulada de baixa intensidade, e F_m é a fluorescência máxima obtida pela aplicação de um pulso de 0.8 s de luz actínica saturante ($>6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nas folhas adaptadas à irradiância por um tempo mínimo de 40 minutos foram avaliados eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), eficiência quântica efetiva do fotossistema II (F_v'/F_m'), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), coeficiente de extinção fotoquímica [$qP = (F_m' - F)/F_m' - F_o$] e não fotoquímica [$NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$] (KRAUSE; WEIS, 1991).

3.3.3. Potencial da água

A medição do potencial da água (Ψ_w) foi realizada através de uma câmara de pressão do tipo Scholander (Scholander et al., 1965) no período da antemãhã (4:30 – 5:30 hs). No último dia de avaliação também foi realizada uma avaliação no período da tarde (13:00 – 14:00 hs) (Figura 8). Uma folha trifoliada totalmente expandida foi coletada em cada repetição de cada tratamento.

Figura 8. Câmara de pressão do tipo Scholander em dia de avaliação.

3.4. Desenho experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3, sendo dois regimes hídricos e três doses de um produto químico composto principalmente por caulim e carbonato de cálcio. Devido à medição do potencial de água ser uma avaliação destrutiva, foram utilizadas três repetições apenas para este fim. Outras cinco repetições foram utilizadas para as avaliações de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey, utilizando o software SAS® (Sistema de Análises Estatísticas, SAS® versão 9.3, 2011) com 5% de significância.

4. RESULTADOS

Não houve interação entre os fatores regime hídrico e doses de caulim e carbonato de cálcio. De acordo com o regime hídrico, dose e no decorrer do tempo os resultados das avaliações assumiram padrões diferentes. Os regimes hídricos não apresentaram diferenças estatísticas significantes nos primeiros dias (Figura 9). Houve diferença significativa nos valores do potencial hídrico para os diferentes regimes hídricos apenas no nono dia, sendo que esta diferença se tornou mais evidente quando a avaliação foi feita no período da tarde.

Figura 9. Potencial Hídrico em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio, com 1 (I), 5 (II) e 9 (III e IV) dias após a aplicação, na antemã (I, II e III) e no período da tarde (IV). Significância: $p < 0,05$.

Não houve diferença significativa nas variáveis de trocas gasosas analisadas entre as plantas com diferentes doses do agroquímico. Os resultados indicam que as plantas com o regime hídrico de 60% da capacidade de campo apresentaram uma limitação em seu metabolismo a partir do quinto dia (Figura 10).

Figura 10. Assimilação líquida de CO₂ em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Resultados similares foram obtidos na taxa transpiratória e na condutância estomática, em que, nas plantas que estão sob restrição hídrica, apresentam uma limitação nas trocas gasosas (Figuras 11 e 12).

Figura 11. Taxa transpiratória em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Figura 12. Condutância estomática em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Os resultados da eficiência quântica da assimilação de CO_2 (Φ_{CO_2}) corroboram com a tendência das demais variáveis de trocas gasosas, em que há uma diminuição dos valores quando há uma restrição hídrica, e não houve diferença estatística para as diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio (Figura 13).

Figura 13. Eficiência quântica da assimilação de CO_2 em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Em se tratando da temperatura da folha, houve um arrefecimento das folhas com capacidade de campo máxima a partir do quinto dia após a imposição dos tratamentos (Figura 14)

Figura 14. Temperatura foliar em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Observa-se que para os parâmetros avaliados da fluorescência de clorofila *a* não houve diferença estatística para as doses de caulim e carbonato de cálcio aplicadas. As plantas irrigadas com 60% da capacidade de campo apresentaram maior fluorescência da clorofila *a* a partir do quinto dia, indicando danos no aparato fotossintético. Houve uma menor eficiência quântica potencial e efetiva do do fotossistema II que pode ser constatada na avaliação 9 DAA (Figuras 15 e 16).

Figura 15. Eficiência quântica potencial do fotossistema II em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Figura 16. Eficiência quântica efetiva do fotossistema II em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Em análise ao gráfico abaixo (Figura 17), do comportamento da dissipação não fotoquímica (NPQ), pode-se afirmar que houve um redirecionamento da energia para rotas não fotoquímicas nas plantas com restrição hídrica, a partir do quinto DAA. Tendência esta que foi confirmada com uma menor dissipação fotoquímica destas plantas (Figura 18).

Figura 17. Coeficiente de extinção não fotoquímica em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Figura 18. Coeficiente de extinção fotoquímica em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

A taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) representa a taxa de fluxo de elétrons entre os fotossistemas (BAKER, 2008) e os seus resultados apontam uma concordância com o quenching fotoquímico (qP), com uma maior taxa para as plantas sem restrição hídrica, e dentre estas (Figura 19).

Figura 19. Taxa aparente de transporte de elétrons em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos e doses de caulim e carbonato de cálcio e à diferentes doses de caulim e carbonato de cálcio. Significância: $p < 0,05$.

Assim como nos resultados já apresentados, há uma diferença destacada entre os regimes hídricos para os resultados obtidos das curvas de resposta à luz. Os dados apresentados conforme o dia da avaliação demonstram que houve uma diferença crescente da assimilação líquida de CO_2 conforme aumentou os dias após a aplicação, se tornando bastante proeminente nas plantas com máxima irrigação. Esta diferença é de aproximadamente 50% em relação à A das plantas com 60% da CC, na máxima intensidade luminosa ($2500 \mu\text{mol s}^{-1}$) (Figura 20).

Figura 20. Assimilação líquida de CO₂ em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à luz, aos 2 (I), 6 (II) e 10 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

O mesmo padrão se repetiu na taxa transpiratória, em que, conforme a intensidade luminosa aumentava, também aumentou a diferença entre os dois regimes hídricos. Além disto, este efeito foi potencializado com o passar do tempo (Figura 21).

Figura 21. Taxa transpiratória em plantas de soja submetidas à diferentes regimes em curva de resposta à luz, aos 2 (I), 6 (II) e 10 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

Os resultados da condutância estomática corroboraram com os dados das trocas gasosas, representados aqui pela A e pela E (Figura 22).

Figura 22. Condutância estomática em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à luz, aos 2 (I), 6 (II) e 10 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

As plantas que obtiveram um maior valor de temperatura foliar são as que estavam sob restrição hídrica. Logo, as plantas com 100% da capacidade de campo apresentaram temperaturas inferiores em relação às plantas com restrição hídrica, sendo que, para a intensidade luminosa máxima, obteve-se diferenças de 1,6, 2,5 1,7° C na temperatura foliar aos 2, 6 e 10 DAA respectivamente (Figura 23).

Figura 23. Temperatura foliar em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à luz, aos 2 (I), 6 (II) e 10 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

Para as curvas de resposta à temperatura teve-se padrões que confirmam os resultados já apresentados. Em todos os dias de avaliação constatou-se uma $\mathcal{A}$ inferior para as plantas com restrição hídrica. Além disso, conforme a temperatura imposta na folha aumentou, aumentou também a diferença da $\mathcal{A}$ entre os dois regimes de irrigação (Figura 24).

Figura 24. Assimilação líquida de CO₂ em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

A taxa transpiratória das plantas com máxima disponibilidade hídrica aumentou conforme os valores da temperatura foliar aumentaram, em todos os dias avaliados. Já para as plantas com 60% da CC, essa taxa de aumento, que já era menor no primeiro dia de avaliação em relação ao outro tratamento, diminuiu com o passar do tempo, sendo quase constante para todos os valores de temperatura foliar no último dia de avaliação (Figura 25).

Figura 25. Taxa transpiratória em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

Apesar de não ter diferenças significativas na menor temperatura foliar em todos os dias, a condutância estomática também foi maior nas plantas com 100% da CC (Figura 26).

Figura 26. Condutância estomática de CO_2 em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

A eficiência quântica da assimilação de CO_2 apresentou resultados similares aos anteriormente apresentados, com valores mais elevados para as plantas sem restrição hídrica em todos os dias avaliados (Figura 27).

Figura 27. Eficiência quântica da assimilação de CO₂ em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

Para a avaliação da temperatura na câmara de amostra não houve significância para a menor temperatura em todos os dias avaliados, além disso, aos 3 DAA, também não houve significância para a maior temperatura também. Aos 11 DAA houve uma diferença de 2°C entre as plantas de disponibilidade hídrica diferentes (Figura 28).

Figura 28. Temperatura na câmara de amostra em plantas de soja submetidas à diferentes regimes hídricos em curva de resposta à temperatura, aos 3 (I), 7 (II) e 11 (III) dias após a aplicação. Significância: $p < 0,05$.

5. DISCUSSÃO

Há três fatores que podem ser limitantes para a fotossíntese na planta, que são: energia luminosa, água e dióxido de carbono. Assim sendo, mesmo que um destes fatores esteja em excesso, este adicional não poderá ser utilizado devido à restrição imposta pelo outro (TAIZ et al., 2017). Neste experimento, os regimes hídricos não apresentaram diferenças estatísticas significantes nos primeiros dias (Figura 9), apesar disto, esta restrição na disponibilidade de água foi suficiente para alterar algumas variáveis analisadas, sugerindo um efeito no metabolismo das plantas.

Este déficit hídrico diminui o potencial da água nas plantas, ocasionando o fechamento estomático, que evita a perda de água, buscando uma manutenção do status hídrico. Segundo Downton e colaboradores (1988) isto ocorre porque o déficit hídrico aumenta os níveis endógenos de ácido abscísico, causando um fechamento estomático. O controle da abertura estomática pelas células-guarda desempenha um papel crucial na regulação das trocas gasosas. Este movimento estomático controla a captação de CO_2 para a fotossíntese e a perda de água pela transpiração (LAWSON; VIALET-CHABRAND, 2018). Portanto, as mudanças na resistência estomática interferem na taxa de absorção do dióxido de carbono necessária à fixação continuada deste durante a fotossíntese (TAIZ et al., 2017).

Assim sendo, as plantas que estavam sob o regime hídrico de 60% fecharam os estômatos, como forma de diminuir a perda de água, este resultado foi evidenciado pela diminuição da condutância estomática (Figuras 12, 22 e 26). Isto resulta em uma redução na disponibilidade de CO_2 , consequentemente, impactando E e A (FIOREZE, 2013; OSAKABE et al., 2013; OSAKABE et al., 2014). Os resultados apresentados nas Figuras 10, 11, 20, 21, 24 e 25 corroboram com isto, onde apesar de se ter os outros fatores adequados, devido à restrição hídrica do tratamento com 60% da capacidade de campo, há uma diminuição na assimilação líquida de CO_2 e das taxas transpiratórias.

Resultado similar em plantas de soja foi obtido por Liu e colaboradores (2003), onde, como resultado da imposição do estresse hídrico, houve uma diminuição da condutância estomática e no turgor das folhas. Já nas plantas que estavam sob a capacidade de campo, por não terem esta limitação hídrica, mantiveram os estômatos abertos (Figuras 12, 22 e 26). Além disso, mesmo em situações de EL, como foi mimetizado na curva de resposta à luz (Figura 21) ou com temperaturas elevadas, como na curva de resposta à temperatura (Figura 25), houve um aumento na taxa de transpiração.

Como dito anteriormente, o fechamento estomático causa uma diminuição na entrada de CO_2 do mesófilo foliar. Ainda como efeito derivado disto, tem-se uma menor disponibilidade de CO_2 para o ciclo de Calvin, consequentemente, tem-se uma menor A (Figuras 10, 20 e 24) e uma queda na dissipação fotoquímica (Figura 18). Logo, é necessário o redirecionamento desta energia para rotas alternativas (BAKER, 2008). Ademais, a restrição hídrica ainda pode provocar um declínio na atividade enzimática das enzimas envolvidas no ciclo de Calvin, como na regeneração de RuBP (DIAS; BRÜGGEMANN, 2010).

Além disso, foi possível aferir através dos resultados aqui demonstrados que, como consequência desta diminuição da condutância estomática e da transpiração nas plantas com déficit hídrico, houve um aumento na temperatura foliar (Figuras 14 e 23) quando comparado com as plantas na máxima capacidade de campo (Figuras 14 e 23). Isto se deve ao fato de que a transpiração, além de exercer uma importante função nas trocas gasosas, também desempenha um arrefecimento da folha, ou seja, a transpiração controla a temperatura foliar (CRAWFORD et al., 2012).

Devido à restrição hídrica, a capacidade fotossintética da planta foi prejudicada, desta forma, uma grande fração da energia absorvida foi dissipada por rotas alternativas. Uma das rotas para esta dissipação de energia é através do calor, que é medida pela dissipação não fotoquímica (NPQ). A dissipação fotoquímica representa a fração da energia absorvida que de fato será redirecionada para a cadeia transportadora de elétrons. Esta medida é correlacionada com o NPQ, sendo ambas rotas para o quenching desta energia (BAKER, 2008). O NPQ está relacionado ao incremento da energia de excitação não-radiativa, envolvendo formação de calor ou transferência para o PSI não-fluorescente.

Assim, pelos valores de NPQ constatou-se que houve a necessidade de um ajustamento de mecanismos de dissipação da energia luminosa absorvida na forma de energia térmica, resultado este que fica explícito quando se compara com os dados da temperatura da folha, em que as plantas com regime hídrico de 60% apresentaram uma maior temperatura foliar (Figuras 14 e 23) e também um maior quenching não fotoquímico (Figura 17). Além disso, pode-se observar que em condições de déficit hídrico, as plantas dissiparam menos energia através da fotossíntese, e mais energia em rotas não fotoquímicas. Corroborando com estes dados tem-se o qP (Figura 18) e o ETR (Figura 19), indicando que menos elétrons foram enviados para a cadeia transportadora e utilizados na etapa fotoquímica, indicando um menor aproveitamento de elétrons e menor atividade fotoquímica nas plantas com restrição hídrica (SOUZA et al., 2013; ROHÁČEC, 2002).

A eficiência quântica do PSII mostra o rendimento do fotossistema II e pode ser feita utilizando diferentes variáveis. Ao contrário da eficiência quântica potencial e efetiva, a ΦCO_2 utiliza as medidas de trocas gasosas. A eficiência quântica da assimilação de CO_2 (ΦCO_2) é calculada a partir da taxa de assimilação de CO_2 subtraída pela taxa de assimilação de CO_2 com a folha adaptada ao escuro, dividido pela densidade de fluxo de fótons incidente multiplicado pela absorção de folhas (LI-COR, 2012). Como consequência da menor condutância estomática, da A e E , houve também uma diminuição da ΦCO_2 (Figuras 13 e 27).

A razão F_v/F_m representa eficiência quântica potencial do fotossistema II, e é calculada com base nos parâmetros avaliados após a adaptação da folha ao escuro. Valores normais podem variar de 0,75 a 0,85, de acordo com Ribeiro et al. (2004) e indicam o bom desempenho fotossintético das plantas. Neste experimento as plantas de ambos os tratamentos apresentaram F_v/F_m dentro deste intervalo, indicando que, apesar de haver um efeito negativo no metabolismo decorrente do déficit hídrico, este não causou danos no aparato fotossintético. Ademais, apenas houve significância na avaliação realizada com 9 DAA, isto demonstra que há um período maior para que, de fato, haja alterações no FSII (Figura 15).

Já a eficiência quântica efetiva do fotossistema II (F_v'/F_m') indica qual a proporção de luz que foi absorvida pela clorofila associada ao FSII foi utilizada em atividade fotoquímica, como tal, demonstra a ocorrência de fotossíntese através da quantidade de elétrons transportados (BAKER; ROSENQVST, 2004). Corroborando com os resultados de F_v/F_m , apenas houve alterações significativas na última avaliação, indicando que aos 9 dias a eficiência quântica efetiva do FSII para as plantas com restrição hídrica já havia diminuído (Figura 16).

A curva de resposta à luz inicia com uma radiação baixa (foi optado por $30 \mu\text{mol s}^{-1}$ para este experimento) e por isso, os primeiros fótons a serem absorvidos são utilizados com uma maior eficiência, e a medida que esta radiação se eleva, a eficiência diminui, chegando à uma intensidade luminosa em que o aumento desta não promove aumentos significativos no metabolismo da planta. Foi optado por uma curva lenta, de oito a quinze minutos entre os pontos, para que os estômatos tenham tempo de se equilibrar antes da medida ser feita (LI-COR, 2012). Os resultados obtidos nesta curva mostram que quando a planta está sem déficit hídrico, as plantas conseguem um melhor aproveitamento da radiação solar: ao passo que as plantas com regime hídrico de 100% ainda

não tinham atingido o ponto de compensação aos 2500 μmol , as plantas com regime hídrico de 60% atingiram o ponto de compensação com 1500 μmol .

Em experimento realizado em plantas de café Steiman e colaboradores (2007) obtiveram uma menor temperatura em folhas que foram pulverizadas com caulim comparando com as que não foram. Resultados análogos foram reportados por Sotelo-Cuitiva et al. (2011) em rosas, com a diferença de temperatura alcançando 2,5°C. Também há registrado na literatura a diminuição da temperatura de frutas, como descrito por Ahmed (2013) em trabalho realizado com uvas com aplicação de carbonato de cálcio. Estes dados apontam que a utilização destes minerais pode diminuir a temperatura foliar, consequentemente diminuindo o estresse causado por elevadas temperaturas. No entanto, neste experimento, a aplicação de caulim e carbonato de cálcio não obteve resultados estatisticamente diferentes.

Estes resultados indicam que o agroquímico a base de caulim e carbonato de cálcio não alterou o metabolismo em plantas de soja nas condições utilizadas neste experimento, sendo evidente apenas os resultados decorrentes da restrição hídrica.

6. CONCLUSÃO

Neste estudo, foi avaliado que o déficit hídrico afetou as características fisiológicas das plantas de soja, com diminuição da capacidade fotoquímica. Os resultados apresentados permitem propor que a aplicação de caulim e carbonato de cálcio em plantas de soja nas condições deste experimento não é capaz de alterar os parâmetros fotossintéticos, como observado em outros estudos.

REFERÊNCIAS

- AHMED, A. Y. M. Impact of Spraying Some Antitranspirants on Fruiting of Williams Bananas Grown Under Aswan Region Conditions. *Stem Cell*, v. 5, n. 4, p. 34-39, 2014.
- AHMED, F. F., AAL, A. M. K. A., SAYED, M. A. E., SAYED, H. R. Protecting Red Roomy Grapevines Growing Under Minia Region Conditions from Sunburn Damage. *Stem Cell*, v. 4, n. 2, 2013.
- ALBORESI, A., DALLOSTO, L., APRILE, A., CARILLO, P., RONCAGLIA, E., CATTIVELLI, L., BASSI, R. (2011). Reactive Oxygen Species and Transcript Analysis Upon Excess Light Treatment in Wild-Type Arabidopsis Thaliana vs a Photosensitive Mutant Lacking Zeaxanthin and Lutein. *BMC Plant Biology*, v. 11, p. 1-22, 2011.
- ALLORENT, G.; PETROUTSOS, D. Photoreceptor-Dependent Regulation of Photoprotection. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 37, p. 102–108, 2017.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.*, v. 55, p. 373-399, 2004.
- ASADA, K. Production and Scavenging of Reactive Oxygen Species in Chloroplasts and Their Functions. *Plant Physiol.*, v. 141, p. 391–396, 2006.
- BADRAN, M. A. Benefits of Calcium Carbonate Sprays on Yield and Fruit Quality of Samany and Zaghloul Date Palm under New Reclaimed Soils. *Assiut. Journal of Agricultural Sciences*, v. 46, n. 5, p. 48-57, 2015.
- BAKER, N. R. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, n. 1, p. 89-113, 2008.
- BAKER, N.R.; ROSENQVST, E. Applications of Chlorophyll Fluorescence Can Improve Crop Production Strategies: An Examination of Future Possibilities. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 55, p. 1607-1621, 2004.
- BARBER J., ANDERSSON, B. Too Much of a Good Thing: Light Can Be Bad for Photosynthesis. *Trends Biochem. Sci.*, v. 17 n. 2, p. 61–66, 1992.
- BOARI, F., DONADIO, A., SCHIATTONE, M. I., CANTORE, V. Particle Film Technology: A Supplemental Tool to Save Water. *Agricultural Water Management*, v. 147, p. 154–162, 2015.
- CANTORE, V., PACE, B., ALBRIZIO, R. Kaolin-Based Particle Film Technology Affects Tomato Physiology, Yield and Quality. *Environ. Exp. Bot.*, v. 66, p. 279–288, 2009.

- CEREZINI, P., KUWANO, B. H., SANTOS, M. B., TERASSI, F., HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A. Strategies to Promote Early Nodulation in Soybean Under Drought. *Field Crops Research*, v. 196, p. 160–167, 2016.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, 201. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos. Safra 2017/18, v. 5, n. 8. Oitavo Levantamento, maio 2018.
- CRAWFORD, A. J.; MCLACHLAN, D. H.; HETHERINGTON, A. M.; FRANKLIN, K. A. High Temperature Exposure Increases Plant Cooling Capacity. *Current Biology*, v. 2, n. 10, p. 396-397, 2012.
- DIAS, M.C.; BRÜGGEMANN, W. Limitations of Photosynthesis in Phaseolus Vulgaris Under Drought Stress: Gas Exchange, Chlorophyll Fluorescence and Calvin Cycle Enzymes. *Photosynthetica*, v. 48, n. 1, p. 96-97, 2010.
- DEMMIG-ADAMS, B. ADAMS III, W.W. Photoprotection and Other Responses of Plants to High Light Stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, v. 43, p. 599–626, 1992.
- DOWNTON, W. J.; LOVEYS, B. R.; GRANT, W. J. Non-Uniform Stomatal Closure Induced by Water Stress Causes Putative Non-Stomatal Inhibition of Photosynthesis. *New Phytologist*, v. 110, n. 4, p. 503-509, 1988.
- EMBRAPA, Sistemas de Produção 16: Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil. *Embrapa Soja*, Londrina, PR, p.11-13. 2013.
- FAROOQ, M., A. WAHID, N. KOBAYASHI, D. FUJITA, AND S. M. A. BASRA. Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. *Agronomy for Sustainable Agriculture*, v. 29, p. 185-212, 2009.
- FIGUEIRE, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e Produção da Soja Tratada com Cinetina e Cálcio sob Deficit Hídrico e Sombreamento. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 48, n.11, p.1432-1439, 2013.
- FOLEY, JONATHAN A., NAVIN RAMANKUTTY, KATE A. BRAUMAN, EMILY S. CASSIDY, JAMES S. GERBER, MATT JOHNSTON, NATHANIEL D. MUELLER, CHRISTINE O'CONNELL, DEEPAK K. RAY, PAUL C. WEST, CHRISTIAN BALZER, ELENA M. BENNETT, STEPHEN R. CARPENTER, JASON HILL, CHAD MONFREDA, STEPHEN POLASKY, JOHAN ROCKSTRÖM, JOHN SHEEHAN, STEFAN SIEBERT, DAVID TILMAN, AND DAVID P. M. ZAKS. Solutions for a Cultivated Planet. *Nature*, v. 478, n. 7369, p. 337-342, 2011.
- FOYER, C. H., LAM, H.-M., NGUYEN, H. T., SIDDIQUE, K. H. M., VARSHNEY, R. K., COLMER, T. D., COWLING, W., BRAMLEY, H., MORI, T. A., HODGSON, J. M., COOPER, J. W., MILLER, A. J., KUNERT, K., VORSTER, J., CULLIS, C., OZGA, J. A., WAHLQVIST, M. L., LIANG, Y., SHOU, H., SHI, K., YU, J., FODOR, N., KAISER, B. N., WONG, F.-L., VALLIYODAN, B., CONSIDINE, M. Neglecting Legumes has Compromised Human Health and Sustainable Food Production. *Nature Plants*, v. 2, 8. ed., n. 16112, 2016.

- GLENN, D.M. The Mechanisms of Plant Stress Mitigation by Kaolin-Based Particle Films and Applications in Horticultural and Agricultural Crops. *Hort. Science*, v. 47, n. 6, p. 710–711, 2012.
- GLENN, D. M., PUTERKA, G. J. Particle films: a new technology for agriculture. *Hortic. Rev.*, v. 31, p. 1–44, 2005.
- JAHNS, P.; LATOWSKI, D.; STRZALKA, K. Mechanism and Regulation of the Violaxanthin Cycle: The Role of Antenna Proteins and Membrane Lipids. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1787, n. 1, p. 3-14, 2009.
- JIANG, A.C.D.; GAOB, H.Y.; ZOUB, Q.; JIANGA, G.M.; LIA, L. H. Leaf Orientation, Photorespiration and Xanthophyll Cycle Protect Young Soybean Leaves Against High Irradiance in Field. *Environmental and Experimental Botany*, p. 1-10, 2004.
- JIFON, J. L., SYVERTSEN, J. P. Kaolin Particle Film Applications Can Increase Photosynthesis and Water Use Efficiency of ‘Ruby Red’ Grapefruit Leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 128, n. 1, p. 104-112, 2003.
- KASAHARA, M.; KAGAWA, T.; OIKAWA, K.; SUETSUGU, N.; MIYAO, M.; WADA, M. Chloroplast Avoidance Movement Reduces Photodamage in Plants. *Nature*, v. 420, p. 829 – 832, 2002.
- KLEINE, T.; KINDGREN, P.; BENEDICT, C.; HENDRICKSON, L.; STRAND, A. Genome-Wide Gene Expression: Analysis Reveals a Critical Role for CRYPTOCHROME1 in the Response of *Arabidopsis* to High Irradiance. *Plant Physiol.*, v. 144, p. 1391 - 1406, 2007.
- KRAUSE, H.; WEIS, W. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 42, p. 313-349, 1991.
- LAWSON, T.; VIALET-CHABRAND, S. Speedy Stomata, Photosynthesis and Plant Water Use Efficiency. *New Phytologist*, p. 1-6, 2018.
- LI, Z.; WAKAO, S.; FISCHER, B. B.; NIYOGI, K. K. Sensing and Responding to Excess Light. *Annual Review of Plant Biology*, v. 60, n. 1, p. 239-260, 2009.
- LI-COR Biosciences, Inc. Using the LI-6400 / LI-6400XT, Portable Photosynthesis System, version 6, 2012.
- LIU, F.; ANDERSEN, M. N.; JENSEN, C. R. Loss of Pod Set Caused by Drought Stress is Associated with Water Status and Aba Content of Reproductive Structures in Soybean. *Funct. Plant Biol.*, v. 30, p. 271–280, 2003.
- MANAVALAN, L.P.; GUTTIKONDA, S.K.; TRAN, L.S.P.; NGUYEN, H.T. Physiological and Molecular Approaches to Improve Drought Resistance in Soybean. *Plant Cell Physiol.* v. 50, p. 260-1276, 2009.

- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. Chlorophyll Fluorescence – A Practical Guide. *Journal of Experimental Botany*, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.
- MAWPHLANG, O. I. L., KHARSHIING, E. V. Photoreceptor Mediated Plant Growth Responses: Implications for Photoreceptor Engineering toward Improved Performance in Crops. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, n. 1181, 2017.
- MECKEL, L.; EGLI, D.B.; PHILLIPS, R.E.; RADCLIFFE, D.; LEGGETT, J.E. Effect of Moisture Stress on Seed Growth in Soybeans. *Agron. J.* v. 75, p. 1027–1031, 1984.
- MÜLLER, P.; LI, X.; NIYOGI, K. K. Non-Photochemical Quenching. A Response to Excess Light Energy. *Plant Physiology*, v. 125, n. 4, p. 1558-1566, 2001.
- MURATA, N.; TAKAHASHI, S.; NISHIYAMA, Y.; ALLAKHVERDIEV, S. I. Photoinhibition of Photosystem II under Environmental Stress. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1767, p. 414–421, 2007.
- MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll Fluorescence Analysis: A Guide to Good Practice and Understanding Some New Applications. *Journal of Experimental Botany*, v. 64, n. 13, p. 3983-3998, 2013.
- MURCHIE, E. H.; HUBBART, S.; PENG, S.; HORTON, P. Acclimation of Photosynthesis to High Irradiance in Rice: Gene Expression and Interactions with Leaf Development. *J. Exp. Bot.*, v. 56, p. 449 – 460, 2005.
- NIYOGI, K. K. Photoprotection Revisited: Genetic and Molecular Approaches. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, v.50, :333–59, 1999.
- NOVASOURCE. Purshade®. Disponível em: <<http://novasource.com/home/products/purshade/>>. Acesso em: 8 set. 2016.
- ORT, D. R., When There Is Too Much Light. *Plant Physiology*, v. 125, p. 29–32, 2001.
- OSAKABE, Y.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. P. Sensing the Environment: Key Roles of Membrane-Localized Kinases in Plant Perception and Response to Abiotic Stress. *Journal of Experimental Botany*, 2 ed., v. 64, p. 445-458, 2013.
- OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. P. Response of Plants to Water Stress. *Frontiers in Plant Science*, v. 5, n. 86, p. 1-8, 2014.
- POWLES, S. B. Photoinhibition of Photosynthesis Induced by Visible Light. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, v. 35, 1984.

- RIBEIRO, R.V.; SANTOS, M.G.; SOUZA, G.M.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F.; ANGELOCCI, L.R.; PIMENTEL, C. Environmental Effects on Photosynthetic Capacity of Bean Genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 615-623, 2004.
- ROCHAIX, J. Role of Thylakoid Protein Kinases in Photosynthetic Acclimation. *Federation of European Biochemical Societies Letters*, v. 581, p. 2768-2775, 2007.
- ROHÁČEK, K. Chlorophyll Fluorescence Parameters: The Definitions, Photosynthetic Meaning, and Mutual Relationships. *Photosynthetica*, v. 40, n. 1, p. 13-29, 2002.
- SCHOLANDER, P. F., BRADSTREET, E. D., HEMMINGSEN, E. A., HAMMEL, H. T. Sap Pressure in Vascular Plants: Negative Hydrostatic Pressure can be Measured in Plants. *Science*, v. 148, n. 3668, p. 339-46, 1965.
- SIEBERS, MATTHEW H., CRAIG R. YENDREK, DAVID DRAG, ANNA M. LOCKE, LORENA RIOS ACOSTA, ANDREW D. B. LEAKEY, ELIZABETH A. AINSWORTH, CARL J. BERNACCHI, AND DONALD R. ORT. Heat Waves Imposed During Early Pod Development in Soybean (*Glycine Max*) Cause Significant Yield Loss Despite a Rapid Recovery from Oxidative Stress. *Global Change Biology*, v. 21, n. 8, p. 3114-3125, 2015.
- SOTELO-CUITIVA, Y. M., RESTREPO-DÍAZ, H., GARCÍA-CASTRO, A., RAMÍREZ-GODOY, A., FLÓREZ-RONCANCIO, V. J. Effect of Kaolin Film Particle Applications (Surround WP®) and Water Deficit on Physiological Characteristics in Rose Cut Plants (*Rose spp* L.). *American Journal of Plant Sciences*, v. 2, p. 354-358, 2011.
- SOUZA, T.C., MAGALHÃES, P.C., CASTRO, E.M., ALBUQUERQUE, P.E.P., MARABESI, M.A. The Influence of ABA on Water Relation, Photosynthesis Parameters, and Chlorophyll Fluorescence Under Drought Conditions in Two Maize Hybrids with Contrasting Drought Resistance. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 35, p. 515-527, 2013.
- STEIMAN, S. R., BITTENBENDER, H. C., IDOL, T. W. Analysis of Kaolin Particle Film Use and Its Application on Coffee. *Hort. Science*, v. 42, n. 7, p. 1605-1608, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TAKAHASHI, S., MURATA, N. How do Environmental Stresses Accelerate Photoinhibition? *Trends Plant. Sci.*, v. 13, n. 4, p. 178-182, 2008.
- THAPA, G.; DEY, M.; SAHOO, L.; PANDA, S. K. An Insight into the Drought Stress Induced Alterations in Plants. *Biologia Plantarum*, v. 55, n. 4, p. 603-613, 2011.

USDA – United States Department of Agriculture. World Agricultural Supply and Demand Estimates, WASDE - 577, p. 1-51, May 2018. Disponível em: < <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf> >. Acesso em: 15 maio 2018.

VALLIYODAN, B.; NGUYEN, H.T. Understanding Regulatory Networks and Engineering for Enhanced Drought Tolerance in Plants. *Curr. Opin. Plant Biol.* v. 9, p. 189-195, 2006.

WANG, W.X.; VINOCUR, B.; SHOSEYOV, O.; ALTMAN, A. Biotechnology of Plant Osmotic Stress Tolerance: Physiological and Molecular Consideration. *Acta Hort.*, v. 560, p. 285-292, 2001.

WEERAKKODY, P., JOBLING, J., INFANTE, M.M.V., ROGERS, G. The Effect of Maturity, Sunburn and The Application of Sunscreens on The Internal and External Qualities of Pomegranate Fruit Grown in Australia. *Sci. Hortic.*, v. 124, p. 57–61, 2010.

YEE, W. L. Behavioural Responses by *Rhagoletis Indifferens* (Dipt., Tephritidae) to Sweet Cherry Treated with Kaolin- and Limestone-Based Products. *Journal of Applied Entomology*, v. 136, p. 124-132, 2012.

ZINN, K. E., TUNC-OZDEMIR, M., HARPER, J. F. Temperature Stress and Plant Sexual Reproduction: Uncovering the Weakest Links. *Journal of Experimental Botany*, v. 61, n. 7, p. 1959–1968, 2010.