

THIAMETHOXAM ALTERA O CONTEÚDO DE PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES E BIOMASSA DE MILHO: ANÁLISES EM CASA-DE-VEGETAÇÃO E NO CAMPO

Willian Rodrigues Macedo¹, Paulo Roberto de Camargo e Castro².

¹**Professor**, Instituto de Ciências Agrárias (IAP), Universidade Federal de Viçosa (UFV), *Campus* Rio Paranaíba, Rod. MG 203, Km 08, Zona Rural, Rio Paranaíba, MG. CEP 38.810-000

²**Professor**, Departamento de Ciências Biológicas, Escola Superior de Agricultura (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Avenida Pádua Dias, 11 - Agronomia, Piracicaba - SP, 13418-900

***Autor para correspondência**: Willian Rodrigues Macedo, wrmacedo@ufv.br

RESUMO: O tratamento de sementes com agroquímicos é uma prática que confere maior proteção à plântulas contra pragas e doenças, no entanto poucas pesquisas são conduzidas para avaliar o efeito fisiológico desses produtos sobre a cultura do milho. Nosso estudo objetivou determinar o efeito de doses crescentes: 0; 17,5; 35; 52,5 e 70 g ingrediente ativo i.a. de thiamethoxam, via tratamento de sementes, em ambiente controlado e em campo de produção. Observamos que doses crescentes do thiamethoxam alteram o conteúdo de pigmentos foliares fotossinteticamente ativos, nas duas condições experimentais, bem como promoveu o ganho na massa seca da parte aérea das plantas crescidas em casa-de-vegetação, porém não foram observadas diferenças nos índices produtivos em campo de produção. Estes resultados indicam que o produto em questão altera o metabolismo vegetal, porém é necessário confirmar o efeito bioativador na cultura do milho.

PALAVRAS-CHAVE: Inseticida; bioativador; crescimento vegetal; pigmentos.

THIAMETHOXAM ALTER CORN PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT AND PLANT BIOMASS: GREENHOUSE AND FIELD ANALYSIS

Abstract: Treating seeds with pesticides is a practice that confers seedlings protection against pests and diseases, however little research has been carried out on the physiological effects generated by these products on corn crop. Our study aimed to determine the effects of doses 0; 17.5, 35.0, 52.5 and 70.0 g a.i. of thiamethoxam as seed treatment, in a controlled environment and in the field. We observed that the growing doses of thiamethoxam altered leaf photosynthetic pigments in both growth conditions, as well as promoted increases in shoot dry weight of plants grown in a greenhouse, but did not influence the production indices in field. These results indicate that the product in question alters the plant metabolism, but it is necessary to confirm its bioactivator activity in corn crop.

KEYWORDS: Insecticide; bioactivator; plant growth; pigments.

INTRODUÇÃO

A demanda pela espécie *Zea mays* ssp. *mexicana* (Schrader) Litis, mudou nos últimos anos, além de ser amplamente consumido como alimento humano, seu uso na alimentação animal e, recentemente, na produção de bioetanol ampliaram a necessidade de seu suprimento (Shiferaw et al, 2011). Essa espécie apresenta como entrave produtivo a elevada susceptibilidade aos estresses bióticos e abióticos na fase inicial de crescimento, o que exige, comumente, a aplicação de agroquímicos como mecanismo de controle de pragas e doenças, para consequentemente incrementar o crescimento inicial da cultura (Elbert et al., 2008).

Além de combater as pragas, a utilização de agroquímicos no tratamento de sementes traz como vantagens a redução dos impactos ambientais, bem como a diminuição do período de exposição do operador aos produtos (Sirchio; Sutton, 2007). E com o advento de novas moléculas e modernas tecnologias de aplicação o controle de pragas e doenças têm se aprimorado. De acordo com Jeschke et al. (2010) em um hectare de cultivo de milho era utilizados 1.350 g do ingrediente ativo (i.a.) do inseticida lindane, via pulverização foliar, atualmente é possível realizar o tratamento de mesma área com 100 e 40 g do i.a. de imidaclopride

e clothianidin, respectivamente, via tratamento de sementes.

Recentemente têm se reportado sobre potenciais efeitos fisiológicos de alguns inseticidas em diversos cultivos, sendo que essas moléculas modificam o metabolismo e influenciam o desenvolvimento e rendimento, quando o agroquímico apresenta essa atividade pode ser classificado como bioativador (Macedo; Castro, 2011; Macedo et al., 2013a; Macedo et al., 2013b), com destaque para o thiamethoxam (TMX), um inseticida sistêmico do grupo dos neonicotinoides.

O objetivo desse trabalho foi identificar os possíveis efeitos de doses crescentes do TMX sobre parâmetros biométricos, metabólicos e produtivos na cultura do milho, sob condição de casa-de-vegetação e em campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Nos dois experimentos foram utilizadas sementes de milho cultivar Pioneer P1630H, tratadas com as doses: 0; 17.5; 35.0; 52.5 e 70.0 g de i.a. por 100 kg⁻¹ de sementes, sendo diluídas em 800 mL de água, e posteriormente agitadas em sacos plásticos para homogeneização do produto.

O experimento em casa-de-vegetação foi conduzido no departamento de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR, Brasil (25° 22' S e 51° 29' W). A semeadura, de 10 sementes, ocorreu no dia 09/09/2011 em vasos plásticos (5 dm³) preenchidos com solo sub-superficial, com as características químicas: pH (CaCl₂): 4,7; Matéria Orgânica: 36,2 g dm⁻³; P: 0,7 mg dm⁻³; K: 0,9 mmol dm⁻³; Ca: 7,0 mmol dm⁻³ e Mg: 11,0 mmol dm⁻³. Este solo apresentava saturação de base igual a 35,3%, tendo sua correção e adubação de acordo com as recomendações para a cultura (Oliveira, 2003). O delineamento experimental foi em blocos aleatorizados, constituído por cinco tratamentos e 8 blocos.

Já o ensaio de campo foi conduzido na Fazenda Três Capões (Grupo Santa Maria) em Guarapuava, PR, Brasil (25° 25' S e 51° 39' W), em um solo Latossolo Bruno Distroférico típico, com as seguintes características químicas: pH (CaCl₂): 5.9; O.M.: 45,0 g dm⁻³; P: 5,3 mg dm⁻³; K: 2,5 mmol dm⁻³; Ca: 46,4 mmol dm⁻³ e Mg: 19,6 mmol dm⁻³. O solo apresentava saturação de base igual a 59,45,3%,

sendo previamente corrigido e adubado segundo a recomendação da cultura (Oliveira, 2003). A semeadura ocorreu no dia 08/10/2011, em profundidade de 4 cm e espaçamento de 0,45 m entre linhas, e distribuição de 16 sementes por 5 metros lineares, perfazendo uma densidade de 70.000 plantas por hectare. O delineamento foi em blocos aleatorizados, constituído por cinco tratamentos e 4 blocos, constituindo uma área experimental de 350 m².

Na casa-de-vegetação 14 dias após o plantio (DAP) foram determinados o índice de emergência (%) e o diâmetro do colmo (cm), com auxílio de paquímetro; e a partir de 21 DAP foram mensuradas semanalmente as alturas das plantas (cm), através de trena milimetrada, até 42 DAP, e nesse estágio de desenvolvimento se determinaram a massa seca da parte aérea (g) e a massa seca de raiz (g), com auxílio de balança de precisão. No campo aos 21 DAP foi realizada análise de índice de emergência (%), pela relação entre as plântulas emergidas e as sementes cultivadas e a partir de 25 DAP, semanalmente, até os 60 DAP foram mensuradas as alturas das plantas (cm), com auxílio de trena milimetrada. Aos 51 DAP procedeu-se a análise dos pigmentos fotossintetizantes foliares

O conteúdo dos pigmentos fotossintetizantes: clorofila a, clorofila b, clorofila total e carotenoides, foi quantificado aos 42 DAP, com auxílio de espectrofotômetro SP-2000 UV Spectrum, pela metodologia de extração por solvente (80% acetona) com leitura em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 645, 652 e 663 nm para as clorofilas a, b e total e de 470 nm para os carotenoides (Witham et al., 1971; Lichtenthaler; Wellburn, 1983), sem o processo de maceração dos discos foliares, sendo estes mantidos em condição protegida de luz. Com os valores obtidos nessas leituras, aplicaram-se as seguintes fórmulas:

$$\text{Clorofila a} = [(12,7 * A_{663} - 2,69 * A_{645}) * \frac{V}{(1000 * P)}]$$

$$\text{Clorofila b} = [(22,9 * A_{645} - 4,68 * A_{663}) * \frac{V}{(1000 * P)}]$$

$$\text{Clorofila total} = [(20,2 * A_{645} - 8,02 * A_{663}) * \frac{V}{(1000 * P)}]$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{((100 * A_{470} - 3,27 * \text{Cl a} - 104 * \text{Cl b})/229)}{(1000 * P)}$$

Onde: A = absorvância em determinado comprimento de onda; V = volume; P = peso da amostra. Os resultados são expressos em miligrama do pigmento por grama de peso fresco de tecido foliar (mg g^{-1}).

A colheita foi realizada manualmente na área útil da parcela e ocorreu no dia 07/03/2012, aos 151 DAP, no momento da colheita a umidade relativa estava próxima dos 60% e a temperatura se encontrava em 19 °C, com a coleta de 20 espigas em cada unidade experimental e em seguida secas em estufa até atingir a umidade de 13%, para posterior serem realizadas as mensurações de análise dos parâmetros produtivos: comprimento (cm) e circunferência de espiga (cm), com auxílio de fita métrica; massa fresca da espiga (g) e massa seca dos grãos de 20 espigas (g), através de balança de precisão; além da produtividade estimada (kg ha^{-1}).

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias analisadas por regressão, através da programação PROC REG (SAS, 2009). Elegendo o modelo matemático melhor ajustado quando análise do teste *F* da regressão foi significativa ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o experimento conduzido em casa-de-vegetação, não constatamos efeito do TMX sobre os parâmetros índice de emergência, diâmetro de colmo, altura da planta e massa seca radicular das plantas de milho submetidas a doses crescentes do TMX (Tabela 1). No entanto, a matéria seca da parte aérea apresentou reposta cúbica (Figura 1), o incremento de matéria seca da parte aérea também foi observado por Macedo & Castro (2001) para a cultura do trigo, quando se utilizaram doses crescentes de TMX.

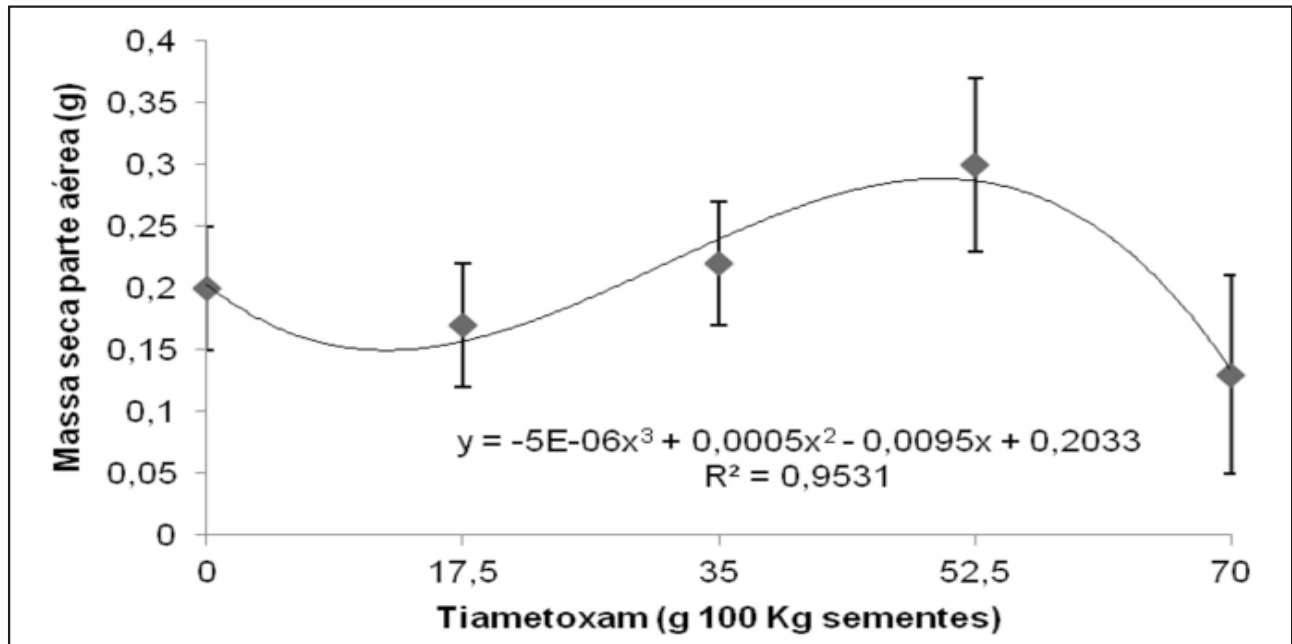
Tabela 1. Análise da variância e da regressão para parâmetros biométricos de plantas de *Zea mays* L. cultivadas em casa-de-vegetação e submetidas a doses crescentes de thiamethoxam. Guarapuava (2011).

Cruiser 350FS (g i.a.100 kg ⁻¹ sementes)	Emergência 14 DAP (%)	Diâmetro do colmo (mm)	Altura 21DAP (cm)	Altura 28 DAP (cm)	Altura 35 DAP (cm)	Altura 42 DAP (cm)	Massa seca raiz (g)	Massa seca parte aérea [#] (g)
0	87,50 (± 4,53)	3.55 (± 0.26)	10,60 (±0,91)	20,40 (±1,02)	41,61 (±1,28)	46,55 (±1,67)	4,26 (± 0,43)	0,20 (± 0,05)
17.5	97,50 (± 2,50)	3.60 (± 0.19)	13,65 (±0,87)	23,78 (±1,32)	41,13 (±1,91)	46,05 (±2,58)	2,35 (± 0,49)	0,17 (±0,05)
35	86,25 (± 4,19)	3.66 (± 0.23)	12,83 (±1,02)	24,11 (±1,45)	44,75 (±2,06)	49,41 (±1,38)	3,84 (± 0,61)	0,22 (±0,05)
52.5	85,00 (± 5,97)	3.65 (± 0.16)	12,31 (±1,38)	22,81 (±1,47)	41,95 (±1,78)	45,58 (±2,28)	3,47 (± 1,22)	0,30 (±0,07)
70	91,25 (± 3,50)	3.40 (± 0.15)	12,67 (±1,34)	22,41 (±1,56)	38,37 (±1,92)	44,48 (±2,20)	3,10 (± 0,48)	0,13 (±0,08)
C. V. (%)	12,35	11,35	22,66	15,62	12,51	12,80	50,31	50,18
Valor de F	1,67	4,26	1,28	1,36	1,53	0,77	1,47	2,33
Regressão	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	C
Coefficiente de determinação	-	-	-	-	-	-	-	0,9531

ns: não significativo, C: regressão cúbica. Média (± erro padrão), n = 8.

#Dados transformados em log 10.

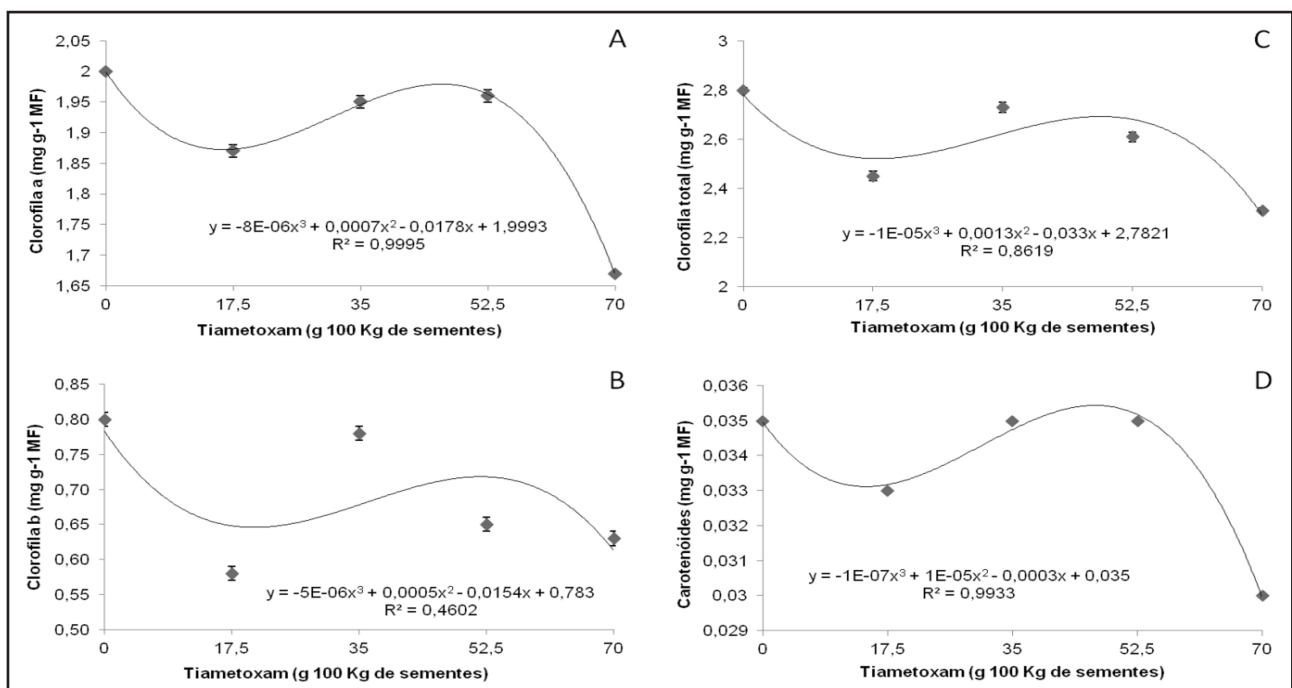
Figura 1. Massa seca da parte aérea de plantas de milho, submetidas a doses crescentes de thiamethoxam, via tratamento de sementes. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n=8$, $*P<0,05$).



Na análise de pigmentos foliares verificamos uma resposta cúbica (Figura 2), esse comportamento, em folhas de milho, mostrou-se similar ao de massa seca da parte aérea (Figura 1), observa-se que a concentração dos pigmentos foi estável entre as doses de 0 a 52,5 g i.a., porém a dose de 70 g de i.a., mostrou-se fitotóxica, reduzindo drasticamente o conteúdo de clorofila a, total e carotenoides (Figuras

2A, 2C e 2D). Ponderamos que os pigmentos analisados neste trabalho são componentes essenciais dos complexos antenas, e sua presença beneficiam a interceptação de fótons (Taiz; Zeiger, 2009), ou apresentam ação fotoprotetora, como no caso dos carotenoides, que dissipam o excesso de energia luminosa por meio do quenching não-fotoquímico (McElroy; Kopsell, 2009).

Figura 2. Conteúdo de clorofila a (mg g^{-1}) (A), clorofila b (mg g^{-1}) (B), clorofila total (mg g^{-1}) (C), carotenoides (mg g^{-1}) (D) em plantas de milho, submetidas a doses crescentes de thiamethoxam, via tratamento de sementes. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n=3$, $*P<0,05$).



Ao integralizar os resultados obtidos em casa-de-vegetação é possível notar que o modelo de ajuste da regressão para matéria seca da parte aérea (Figura 1) é similar ao modelo observado para os pigmentos fotossintetizantes (Figura 2), consideramos que a fitototoxicidade da dose de 70 g de i.a., reduziu a concentração dos pigmentos e consequentemente a capacidade de biossintetizar fotoassimilados. Resposta fisiológica já reportada para diversos cultivos de interesse agrônomico (Brougham, 1960).

Nas condições de cultivo do milho a campo foi observado que o uso do TMX não influenciou as variáveis de emergência (21 DAP), altura de plantas entre 25 e 60 DAP, conteúdo de carotenoides e razão clorofila a/b (Tabela 2), também não foi verificado efeito dessa molécula sobre as variáveis de produção: comprimento e circunferência de espiga, massa fresca de espiga, massa seca de grãos e produtividade (Tabela 3).

Tabela 2. Análise da variância e da regressão para parâmetros biométricos de plantas de *Zea mays* L. cultivadas à campo e submetidas a doses crescentes de thiamethoxam. Guarapuava (2011-2012).

Cruiser 350FS (g i.a. 100 kg ⁻¹ sementes)	Emergência 7 DAP (%)	Altura 25 DAP (cm)	Altura 32 DAP (cm)	Altura 39 DAP (cm)	Altura 46 DAP (cm)	Altura 53 DAP (cm)	Altura 60 DAP (cm)
0	88,28 (± 1,96)	22,35 (± 1,07)	26,57 (± 1,15)	33,65 (± 2,66)	50,90 (± 3,03)	67,05 (± 4,70)	91,75 (± 5,97)
17.5	86,72 (± 5,00)	21,62 (± 0,43)	26,82 (± 0,19)	34,67 (± 1,23)	52,85 (± 2,37)	69,57 (± 2,48)	99,42 (± 2,95)
35	92,97 (± 2,34)	22,07 (± 0,39)	28,20 (± 0,62)	36,25 (± 1,30)	55,90 (± 2,98)	75,37 (± 2,88)	102,12 (± 3,86)
52.5	85,94 (± 1,56)	22,57 (± 0,99)	27,57 (± 0,72)	34,62 (± 1,31)	51,75 (± 1,55)	70,02 (± 1,25)	94,92 (± 1,35)
70	90,62 (± 4,59)	22,55 (± 0,39)	28,67 (± 0,13)	37,30 (± 0,91)	58,05 (± 0,99)	76,67 (± 1,31)	101,37 (± 3,69)
C. V. (%)	7,67	6,21	5,07	9,40	8,48	8,13	8,01
Valor de F	0,72	0,33	1,65	0,77	1,72	1,97	1,29
Regressão	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	Ns

ns: não-significante. Média (± erro padrão), n = 20.

Tabela 3. Análise da variância e da regressão para conteúdo de carotenoides, razão clorofilas a/b; parâmetros produtivos de plantas de *Zea mays* L., cultivadas à campo e submetidas a doses crescentes de thiamethoxam. Guarapuava (2011-2012).

Cruiser 350FS (g i.a. 100 kg ⁻¹ sementes)	Carotenoides	Razão Clorofila a/b	Comprimento de espiga (cm)	Circunferência de espiga (cm)	Massa espiga (g)	Massa seca dos grãos de 20 espigas (kg)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
0	(mg g ⁻¹ MF)	3,07 (±0,21)	19,98 (± 0,27)	16,48 (± 0,11)	275,43 (±18,87)	4,25 (±0,26)	14875,00 (±917,26)
17.5	0,04 (±0,0003)	2,82 (±0,15)	19,71 (± 0,22)	16,59 (± 0,11)	283,75 (±19,67)	4,43 (±0,25)	15513,75 (±904,64)
35	0,03 (±0,0003)	2,72 (±0,14)	19,81 (± 0,22)	16,20 (± 0,09)	266,50 (±17,59)	4,17 (±0,22)	14621,25 (±786,70)
52.5	0,04 (±0,0003)	2,92 (±0,17)	20,06 (± 0,25)	16,58 (± 0,10)	288,06 (±22,59)	4,30 (±0,52)	15058,75 (±1822,71)
70	0,04 (±0,0003)	2,64 (±0,15)	20,10 (± 0,22)	16,65 (± 0,10)	282,56 (±10,11)	4,42 (±0,14)	15478,75 (±523,51)
C. V. (%)	0,16 (±0,1256)	6,08	4,62	2,42	10,57	11,89	11,89
F value	143,24	2,79	0,13	0,77	0,33	0,18	0,18
Regression	1,10	ns	ns	ns	ns	ns	Ns

ns: não-significante. Média (± erro padrão), n = 20.

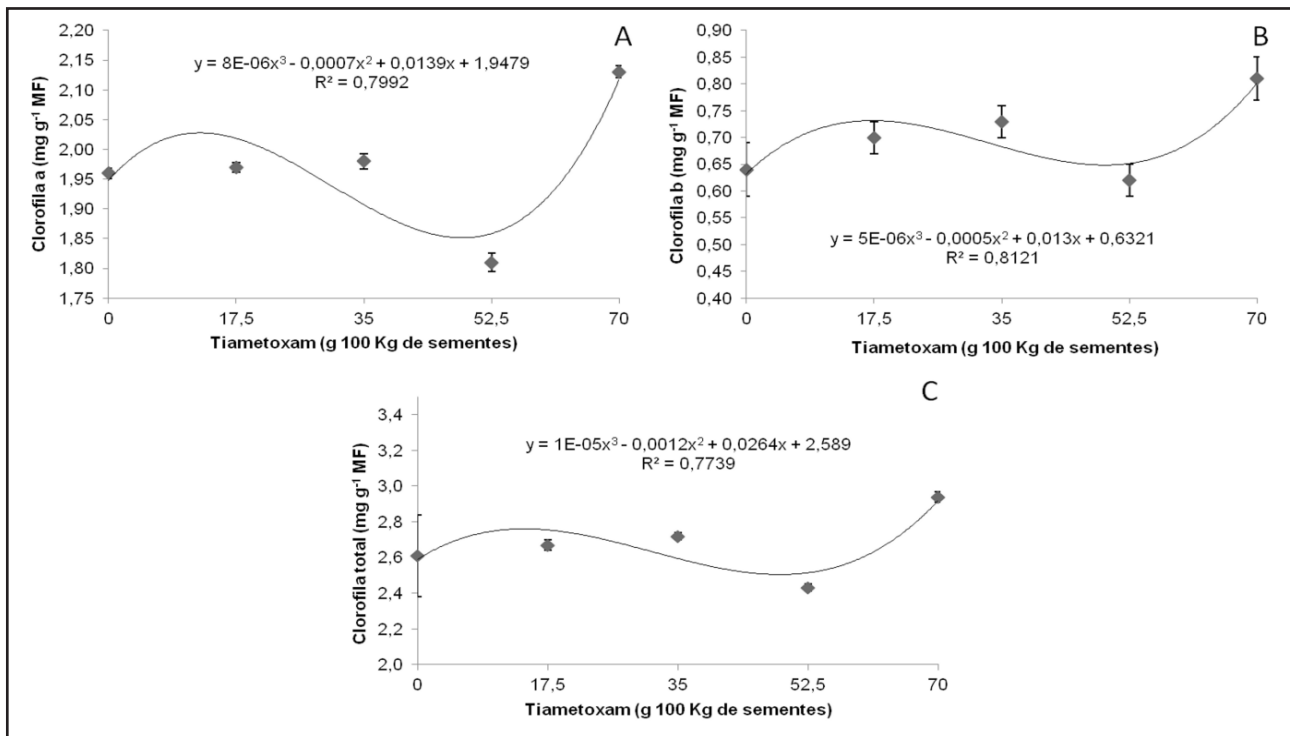
Porém, o TMX expressou ação bioativadora na síntese de pigmentos foliares, aos 51 DAP, conforme a figura 3, apresentando uma resposta

cúbica, com a dose de 70 g i.a. incrementando o conteúdo de pigmentos (Figura 3). Essa resposta foi inversa ao milho cultivado em casa-de-vegetação, o

qual teve na dose de 70 g i.a. um efeito fitotóxico à síntese dos pigmentos. Consideramos que o fator ambiental influenciou as potenciais respostas bioativadoras do TMX, tendo em vista que em casa-

de vegetação o filme agrícola presente na cobertura da estrutura ambiente reduz a transmitância da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA), se comparada ao campo.

Figura 3. Conteúdo de clorofila a (mg g^{-1}) (A), clorofila b (mg g^{-1}) (B) e clorofila total (mg g^{-1}) (C) em plantas de milho, submetidas a doses crescentes de thiamethoxam, via tratamento de sementes. Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n=3$, $*P<0,05$).



Essa capacidade de agroquímicos alterarem o metabolismo de síntese dos pigmentos fotossintetizantes já foram reportadas para as culturas do feijão mungo (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), onde se observou incrementos de 10 e 7% no conteúdo de clorofila a e clorofila b, respectivamente, quando utilizaram o inseticida dimetoato (Mishra et al., 2008), e para a cultura do arroz, com incrementos lineares em função do aumento das doses do inseticida TMX (Macedo et al., 2013b).

Em experimentos com trigo, braquiária e arroz, foi observado que plantas submetidas ao TMX apresentaram alterações consistentes no metabolismo do nitrogênio (Macedo; Castro, 2011; Macedo et al., 2013a; Macedo et al., 2013b), principalmente na atividade da nitrato reductase, de modo que a maior assimilação desse nutriente favorece a síntese de aminoácidos (Heldt; Piechulla, 2011) os quais agem diretamente na síntese do anel porfirínico, o principal constituinte mineral das clorofilas a e b (Schoefs;

Bertrand, 2005), ponderamos que essa rota metabólica seja a chave para compreensão do incremento desses pigmentos pelo uso do TMX.

O tratamento de sementes com TMX refletiu em alterações nos processos fisiológicos de biossíntese de pigmentos fotossintetizantes, nas plantas cultivadas em casa-de-vegetação a dose elevada do inseticida apresentou-se fitotóxica, enquanto no campo a dose mais elevada incrementou o conteúdo de pigmentos. Concluímos que o TMX apresenta potencial resposta bioativadora na cultura do milho, porém o ambiente é fator crucial para a expressão desse efeito.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro aos três primeiros autores e ao Dr. F. Broetto por sugestões ao manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brougham, R.K. The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content, and maximum growth-rate of some pasture and crops plants. *Annals of Botany*, **1960**, 24, 4, 463-474.
- Elbert, A.; Hass, M.; Springer, B.; Thielert, W.; Nauen, R. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science*, **2008**, 64, 1099-1105.
- Heldt, H.W.; Piechulla, B. Plant Biochemistry. 4th.ed. San Diego: Elsevier Academic Press, **2011**. 656p.
- Jeschke, P.; Nauen, R.; Schindler, M.; Elbert, A. Overview of the status and global strategy for neonicotinoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **2011**, 59, 2897-2908.
- Lichtenthaler, H.; Wellburn, A. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, **1983**, 603, 591-592.
- Macedo, W.R.; Castro, P.R.C. Thiamethoxam: molecule moderator of growth, metabolism and production of spring wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, **2011**, 100, 3, 299-304.
- Macedo, W.R.; Fernandes, G.M.; Possenti, R.A.; Lambais, G.R.; Castro, P.R.C. Responses in root growth, nitrogen metabolism, and nutritional quality in *Brachiaria* with the use of thiamethoxam. *Acta Physiologiae Plantarum*, **2013a**, 35, 205-211.
- Macedo, W.R.; Kitahara, D.; Castro, P.R.C. Unravelling the physiologic and metabolic action of thiamethoxam on rice plants. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, **2013b**, 107, 244-249.
- Mcelroy, J. S.; Kopsell, D.A. Physiological role of carotenoids and other antioxidants in plants and application to turfgrass stress management. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, **2009**, 37, 327-333.
- Mishra, V.; Srivastava, G.; Prasad, S.M.; Abraham, G. Growth, photosynthetic pigments and photosynthetic activity during seedling stage of cowpea (*Vigna unguiculata*) in response to UV-B and dimethoate. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, **2008**, 92, 30-37.
- Oliveira, E.L. Milho. In: Oliveira, E.L. Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, **2003**. p. 22-23.
- SAS Institute Inc., SAS/STAT® version 9.2 User's Guide, 2nd ed., Cary: SAS Institute, **2009**. 7869p.
- Shiferaw, B.; Prasanna, B.M.; Hellin, J.; Bänziger, M. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, **2011**, 3, 307-327.
- Schoefs, B.; Bertrand, M. Chlorophyll biosynthesis – a review. In: Pessaraki, M. (Ed.). Handbook of Photosynthesis. Boca Raton: CRC Press, **2004**. p. 37-54.
- Sirchio, K.; Sutton, A. Syngenta professional products focuses chemical technology on new applications to enhance the quality of life. *Chimia*, **2007**, 67, 17-22.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. Trad. Santarém, E.R. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, **2009**. 819p.
- Witham, F.H.; Blaydes, D.F.; Devlin, R.M. Experiments in plant physiology. New York: D. Van Nostrand, **1971**. p. 55-58.