

Análise e quantificação da sorgoleona em diferentes cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L.)

Maria Lúcia Ferreira¹, Luiz Cláudio de A. Barbosa^{1*}, Antônio Jacinto Demuner¹,
Antônio Alberto da Silva² e José Wakil³

¹Laboratório de Análise e Síntese de Agroquímicos (Lasa), Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa-Minas Gerais, Brazil. e-mail: lcab@mail.ufv.br. ²Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa-Minas Gerais, Brazil. ³CNPMS - Embrapa, Sete Lagoas-Minas Gerais, Brazil. *Author for correspondence.

RESUMO. Seis genótipos de sorgo (BR 007B, BR 700, CMSXS 210B, CMSXS 211B, CMSXS 225R, CMSXS 376) foram avaliados quanto à produção de exsudado radicular, bem como pelo teor de sorgoleona presente no mesmo. A análise do teor de sorgoleona nos exsudados foi realizada por cromatografia líquida de alto desempenho (CLAD), utilizando-se como padrão uma amostra de sorgoleona previamente purificada por cromatografia em coluna de sílica gel e identificada por métodos espectroscópicos (infravermelho e ressonância magnética nuclear). Os genótipos de sorgo foram avaliados quanto à produção de sorgoleona (SGL) nas raízes e ao conteúdo médio de sorgoleona (mg SGL/g de matéria seca de raízes). Observou-se a maior produção de SGL pelo genótipo CMSXS 376 e a menor produção pelo CMSXS 225R. Verificou-se, ainda, que a maior pureza da SGL (98,8%) foi encontrada no genótipo CMSXS 225R, e a menor (90,8%), no CMSXS 211B.

Palavras-chave: sorgo, exsudato radicular, sorgoleona.

ABSTRACT. Analysis and quantification of sorgoleone from different cultivars of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). For six genotypes of sorghum (BR 007B, BR 700, CMSXS 210B, CMSXS 211B, CMSXS 225 R, CMSXS 376) the production of root exudate and the amount of sorgoleone in these exudates were evaluated. The analysis of sorgoleone in the exudates was carried out by high performance liquid chromatography (HPLC), using as standard a sample of sorgoleone, previously purified by silica gel column chromatography, and characterized by spectroscopic methods (infrared and nuclear magnetic resonance). The production of sorgoleone (SGL) by the roots, and the average content of sorgoleone were evaluated (mg SGL/g of dried root matter). The highest production of SGL for the genotype CMSXS 376, and the lowest production by CMSXS 225R. It was also observed that the highest exudate sorgoleone content (98,8%) was found for genotype CMSXS 225R, and the lowest content (90,8%) for CMSXS 211B.

Key words: sorghum, radicular exudate, sorgoleone.

O sorgo é um cereal de grande importância no mundo como suprimento de alimento tanto para humanos quanto para animais, além de matéria-prima para produção de álcool. No Brasil, segundo Duarte (1994), apresenta ótimo potencial para cultivos em sucessão, após a colheita de verão, onde pode alcançar resultados superiores ao do milho, quando da ocorrência de veranicos, por possuir características de maior tolerância ao estresse hídrico. Além dessas vantagens, o sorgo deixa na superfície do solo grande volume de palhada, permitindo realizar, com sucesso, o sistema de plantio direto.

A natureza alelopática das culturas de sorgo tem sido verificada por vários pesquisadores em várias partes do mundo (Einhellig e Leather, 1988). Segundo Fay e Duke (1977), Swain (1977), Putnam *et al.* (1983), os aleloquímicos encontram-se presentes nas folhas, nas raízes, nos colmos, nos caules, nos rizomas, nas flores, nos frutos e nas sementes e são controlados geneticamente, podendo haver variações entre genótipos de uma mesma espécie. Normalmente, os aleloquímicos são liberados, para o meio, através da volatilização, lixiviação, exsudação pelas raízes e decomposição dos resíduos (Wittaker e Feeny, 1971; Swain, 1977;

Putnam, 1978 e 1988; Putnam *et al.*, 1983). Após a liberação, esses produtos podem ser alterados por meio de reações fotoquímicas, oxidação, transformações microbianas, ou complexados nos colóides do solo (Tang, 1986). Essas modificações alteram as quantidades disponíveis dos aleloquímicos, podendo ocorrer aumento ou decréscimo da atividade.

Os aleloquímicos possuem diferentes mecanismos de ação, podendo causar impactos na nutrição vegetal, no balanço hídrico, na fotossíntese, na respiração e na síntese de hormônios indutores do crescimento. Podem, ainda, alterar a permeabilidade da membrana e, conseqüentemente, o transporte através dela (Einhellig, 1986).

Diferentes aleloquímicos encontram-se presentes em diversas variedades de sorgo, tais como: a durrina, contida no *Sorghum halepense* (Nicolier *et al.*, 1983), *S. sudanense* e *S. bicolor* (Gorz *et al.*, 1977); o *p*-hidroxibenzaldeído e os ácidos clorogênico e *p*-cumárico, contidos no *S. halepense* (Abdul-Wahab e Rice, 1967), a sorgoleona, o estrigol e a sorgolactona, contidos no *S. bicolor* (Netzly *et al.*, 1988; Hauck *et al.*, 1992). Todos, com exceção do estrigol e da sorgolactona, possuem um efeito inibitório na germinação de sementes e no crescimento de plantas recém-emergidas.

Em geral, o *S. bicolor* tem grande potencial alelopático. Essa espécie possui aleloquímicos em todas as partes da planta. Entretanto, os pêlos do tecido radical são os que têm apresentado maior concentração dessas substâncias que são, normalmente, misturas de compostos hidrofílicos e hidrofóbicos (Netzly e Butler, 1986; Panasiuk *et al.*, 1986; Einhellig e Souza, 1992). Nos exsudados hidrofóbicos, foi identificada a hidroquinona, denominada diidrosorgoleona (2) (Figura 1), que é um composto instável, cuja liberação ocorre em pequenas quantidades, durante o crescimento da planta recém-emergida. A hidroquinona oxida-se rapidamente para uma forma estável e ativa, a quinona, denominada sorgoleona (1) (Figura 1). Esse composto apresentou efeito inibitório do crescimento, tanto de raízes como da parte aérea de espécies de plantas cultivadas e daninhas (Netzly e Butler, 1986; Netzly *et al.*, 1988; Einhellig e Rasmussen, 1989; Einhellig e Souza, 1992; Einhellig *et al.*, 1993).

Segundo Hess *et al.* (1992), a quantidade de sorgoleona produzida por 12 genótipos diferentes de sorgo foi praticamente a mesma. Tais resultados foram confirmados por Weerasuriya *et al.* (1993), os quais constataram, ainda, que a maior atividade dos exsudados ocorreu em plantas de sorgo com 7 a 8

dias de idade, e que o tamanho da semente influenciou na duração da atividade estimulante. Esses resultados, todavia, foram contestados por Olivier e Leroux (1992), por Santos (1996) e por Nimbal *et al.* (1996) que verificaram variações nos teores de sorgoleona produzida por diferentes cultivares de sorgo.

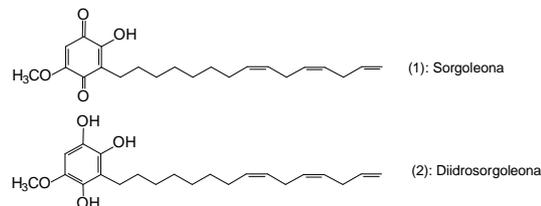


Figura 1. Estruturas da sorgoleona (1) e da diidrosorgoleona (2)

Em vista da importância da sorgoleona na atividade alelopática das culturas de sorgo, considerando a sucessão de culturas, o sistema de plantio direto e o manejo de plantas daninhas, este trabalho teve como objetivo determinar o teor desse aleloquímico produzido pelos genótipos de sorgo BR 007B, BR 700, CMSXS 210B, CMSXS 211B, CMSXS 225R e CMSXS 376, visando a melhor utilizar esse material no sistema produtivo.

Material e métodos

Extração e purificação do exsudado. O processo de isolamento do exsudado do sistema radicular consistiu em separar 1.000 sementes de sorgo BR 303, lavá-las com água destilada e esterilizá-las por dois minutos com uma solução de hipoclorito de sódio a 1%. Em seguida, foram novamente lavadas com água destilada e distribuídas em bandejas, sobre papel germiteste. A germinação das sementes ocorreu a aproximadamente 27°C por sete dias, num tempo de 14/10 h de luz fluorescente (40 Watts)/escuro. Decorrido esse tempo, as raízes foram cortadas, reunidas em grupos de 200 e mergulhadas numa solução de 40mL de diclorometano e 100 µL de ácido acético glacial, para a extração do aleloquímico. O extrato foi filtrado e evaporado à secura, em evaporador rotatório a 35°C e estocado a -4°C para futura avaliação. Esse procedimento foi repetido 40 vezes para a obtenção de 1,310 g de um óleo alaranjado-escuro e viscoso.

Esse extrato foi submetido a fracionamento em coluna de sílica-gel, utilizando-se éter dietílico: metanol (98:2) como eluente. As frações com fator de retenção (R_f) = 0,45 foram reunidas e concentradas em evaporador rotatório, obtendo-se 0,96 g de material sólido alaranjado, que foi caracterizado pela análise dos espectros no

infravermelho (IV), de Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio e de Carbono 13 (RMN de ^1H e de ^{13}C). O espectro no IV foi obtido por meio de pastilha de KBr em espectrômetro Mattson FTIR 3000 e os espectros de RMN de ^1H e RMN de ^{13}C foram obtidos em espectrômetro Bruker DPX 200, utilizando-se deuterochlorofórmio (CDCl_3) como solvente e tetrametilsilano como referência ($\delta=0$).

Quantificação da sorgoleona. No processo de quantificação da sorgoleona (exsudado total), utilizou-se a metodologia proposta por Santos (1996). Foram utilizados seis genótipos de sorgo (Tabela 1), provenientes da Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas-MG.

Tabela 1. Relação de genótipos de sorgo provenientes do banco de germoplasma da Embrapa - CNPMS, utilizados para a determinação do conteúdo e da pureza da sorgoleona

Genótipo	Genealogia	Tipo
BR 007B		Linhagem
BR 700	CMSXS 225R x CMSXS 221	Híbrido
CMSXS 210B		Linhagem
CMSXS 211B		Linhagem
CMSXS 225 R		Linhagem
CMSXS 376	CMSXS 210A x BR 012R	Híbrido

Seiscentas sementes de cada genótipo, previamente selecionadas quanto ao tamanho, utilizando-se peneiras, foram tratadas com solução de hipoclorito de sódio 1% e, em seguida, foram distribuídas em 12 caixas de gerbox sobre papel germiteste umedecido com 7mL de água destilada. Cada tratamento constituiu-se de quatro caixas, com duzentas sementes cada, e três repetições, que foram colocadas em germinador regulado para temperaturas 30/20°C e 14/10h de luz fluorescente/escuro, durante 7 dias.

A avaliação consistiu em selecionar as 100 plantas recém-emergidas, mais desenvolvidas de cada tratamento, em cada repetição. Essas tiveram as suas partes aéreas e raízes excisadas. As 100 raízes foram imergidas por 2 a 4 segundos em uma solução contendo 20mL de diclorometano e 12 μL de ácido acético, para a extração do aleloquímico. A solução foi evaporada à temperatura ambiente e a massa do resíduo determinada em uma balança analítica. As partes aéreas e raízes foram acondicionadas em saco de papel e colocadas em estufa para obtenção da massa da matéria seca. O delineamento experimental foi inteiramente com cinco repetições. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente e, para comparação das médias, utilizou-se o teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os extratos obtidos, de cada genótipo, foram analisados por cromatografia líquida de alta

eficiência, em aparelho SHIMADZU, CBM-10A, detector UV-VIS SPD-10AV ($\lambda = 280 \text{ nm}$) e bomba LC-10AD. Foi utilizada uma coluna de fase reversa LiChrosorb RP-18, com dimensões de 250 x 4 mm e tamanho das partículas de 5 μM . Utilizou-se como sistema de solvente uma mistura de acetonitrila e água acidificada na proporção 75:25 (v/v). A água acidificada foi preparada na proporção 88:12 (v/v), água: ácido acético.

Cada extrato obtido foi dissolvido em 1mL de acetonitrila e uma alíquota de 75 μL , desta solução, foi transferida para um balão volumétrico de 5mL e seu volume completado com acetonitrila. Em seguida, 20 μL desta solução foram injetados no cromatógrafo e eluídos a um fluxo de 2mL/minuto.

Preparou-se uma curva de calibração utilizando-se como padrão a sorgoleona, previamente purificada, nas concentrações de 25, 50, 75 e 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ em acetonitrila.

Resultados e discussão

Extração, purificação e identificação da sorgoleona.

Devido à não-disponibilidade comercial de padrão de sorgoleona, necessária para a realização de análises cromatográficas, tanto qualitativas quanto quantitativas, tornou-se essencial, para o desenvolvimento deste trabalho, o isolamento e a purificação desse composto a partir de plantas de sorgo. Dessa forma, o exsudado foi obtido de acordo com a metodologia descrita por Netzly e Buttler (1986). Na Figura 2, observaram-se as gotículas de exsudado produzidas por raízes de sorgo. Esse exsudado foi purificado por cromatografia em coluna de sílica gel, o que resultou na obtenção de um sólido alaranjado, com temperatura de fusão igual a 46,6-49,1°C, como produto principal. A identificação desse produto foi realizada por meio de análises espectroscópicas. A análise do espectro no infravermelho desse sólido revelou a presença de uma banda em 3341 cm^{-1} , indicando a existência de uma hidroxila na molécula. A banda em 1636 cm^{-1} resulta do estiramento da ligação C=O, conjugada a uma ligação dupla, o que está de acordo com o esperado para quinonas. A absorção em 1596 cm^{-1} resulta do estiramento da ligação C=C (Silverstein *et al.*, 1981). Os dados de RMN de ^1H e de ^{13}C são apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Esses dados são consistentes com a estrutura da sorgoleona (1) e estão de acordo com os dados publicados na literatura (Netzly e Butler, 1986).

Outros compostos foram isolados durante o processo de purificação da sorgoleona. Apesar de a análise do espectro, no infravermelho, de alguns desses compostos ter sugerido que se tratava de

quinonas, suas estruturas não foram elucidadas devido à pequena quantidade obtida. Esses resultados indicam que existem vários outros compostos presentes no exsudado das raízes de sorgo. De fato, em trabalho recente, duas novas quinonas (Rimando *et al.*, 1998) e dois produtos derivados da sorgoleona (Suzuki *et al.*, 1998) foram isolados e identificados de *S. bicolor*.

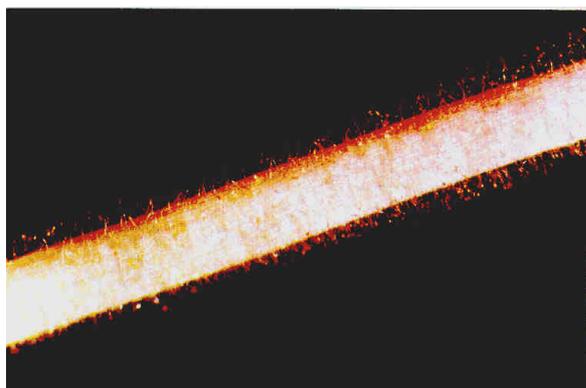


Figura 2. Exsudação de sorgoleona nos pelos das raízes das plantas de sorgo, aos sete dias após a emergência (Foto ampliada 60 x)

Tabela 2. Dados de RMN de ^1H (200 MHz, CDCl_3) para a sorgoleona (1)

Hidrogênio	$\delta(\text{mJ/Hz})^*$
2'- CH_2 a 6'- CH_2	1,25-1,61 (m, 10H)
H7'	1,88-2,05 (m, 2H)
H1'	2,44 (dd, $J_1 \cong J_2 \cong 7,4$, 2H)
H10' e H13'	2,70-2,85 (m, 4H);
OCH_3	3,85 (s, 3H)
H15'a	4,97 (ddt, 1H, $J_{\text{cis}} = 9,80$; $J_{15'a,15'b} \cong J_{15'a,13'} \cong 1,80$, 1H)
H15'b	5,01 (ddt, 1H, $J_{\text{trans}} = 17,00$; $J_{15'b,15'a} \cong J_{15'b,13'} \cong 1,80$, 1H)
H8', H9', H11', H12'	5,25-5,54 (m, 4H)
H14'	5,67-5,94 (ddt, $J_{\text{trans}} = 17,00$; $J_{\text{cis}} = 9,80$; $J_{14'13'} = 6,1$, 1H)
H6	5,83 (s, 1H)
OH	7,25 (s, 1H)

*m: multiplicidade do sinal; J: constante de acoplamento

Tabela 3. Dados de RMN de ^{13}C (50 MHz, CDCl_3) para a sorgoleona (1).

Carbonos	δ^*
C1'-C7', C10' e C13'	22,62-31,94
OCH_3	56,76
C6	102,18
C15'	114,69
C3	119,25
C9'	126,83
C12'	127,58
C11'	129,33
C8'	130,43
C14'	136,86
C2	151,55
C5	161,16
C4	181,69
C1	182,83

* δ Deslocamento químico

Uma vez confirmado que o exsudado obtido das raízes do cultivar de sorgo BR 303 é constituído principalmente pela sorgoleona, e tendo sido esse composto obtido na forma pura, ele foi utilizado como padrão para as análises cromatográficas realizadas, com vistas à avaliação do teor desse composto nos exsudados dos genótipos de sorgo avaliados.

Quantificação da sorgoleona. O teor de sorgoleona em cada exsudado foi determinado por cromatografia líquida de alto desempenho (CLAD), mediante a construção de uma curva de calibração com quatro padrões, 25, 50, 75 e 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de sorgoleona, encontrando-se um $R^2 = 0,9985$. Os cromatogramas para a sorgoleona utilizada como padrão, bem como os obtidos para os exsudados, são apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Apesar da aparente semelhança observada entre os cromatogramas (Figura 4), o teor de sorgoleona presente nos exsudados dos vários genótipos variou entre 90,8-98,8% (Tabela 4), resultado que está de acordo com os valores encontrados por Nimbal (1996).

Figura 3. Cromatograma referente ao padrão a 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de sorgoleona

Na Figura 5 é apresentado um cromatograma expandido referente ao exsudado do genótipo BR 007B, onde fica evidente a presença de outros compostos no mesmo.

Analisando os seis genótipos de sorgo quanto à produção de sorgoleona bruta (exsudado total), pode-se observar (Tabela 4) que existe variabilidade entre os genótipos com relação à quantidade de sorgoleona produzida. O híbrido CMSXS 376 foi o que apresentou maior teor de sorgoleona por quantidade de matéria seca de raízes (16,2mg/g) e o genótipo CMSXS 225R, a menor quantidade (11,0mg/g). Em compensação, este genótipo apresentou pureza de 98,8% contra 91,3% do genótipo CMSXS 376. Acredita-se que a produção

de aleloquímico mais puro seja característica genética da própria planta. Essa característica poderá compensar um menor crescimento inicial deste genótipo, tornando-o com maior poder de competição com outras plantas. Os demais genótipos apresentaram produção de sorgoleona intermediária a essa faixa.

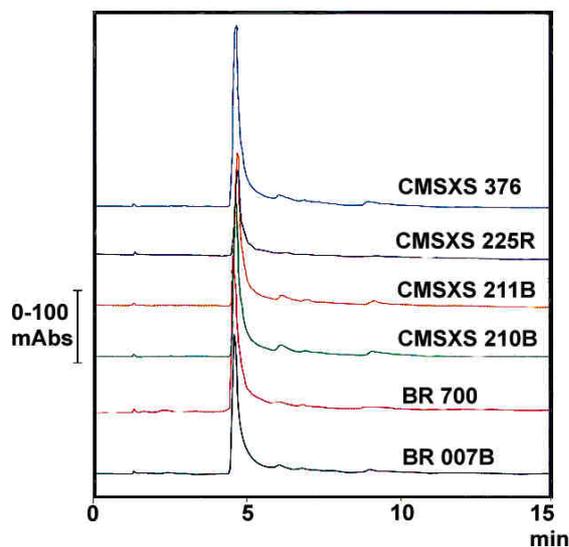


Figura 4. Cromatogramas referentes aos extratos de BR 007B, BR 700, CMSXS 210B, CMSXS 211B, CMSXS 225R, CMSXS 376

Figura 5. Cromatograma referente ao exsudado radicular do genótipo de sorgo BR 007B (o pico com tempo de retenção de 4,5 min corresponde à sorgoleona)

O teor médio de sorgoleona para os 6 genótipos estudados foi de 13,0mg de sorgoleona/ g de MSR, sendo inferior ao observado por Santos (1996), da ordem de 13,6mg de Sorgoleona / g de MSR para o genótipo BR 303.

É interessante observar que os genótipos de sorgo variam não somente na quantidade de sorgoleona produzida mas também em sua pureza.

Estes resultados contribuem para o esclarecimento dos dados obtidos por Ibrahim *et al.* (1986), que estudaram o exsudato radicular de 100 genótipos de sorgo e encontraram consideráveis diferenças alelopáticas entre os mesmos.

Tabela 4. Resultados médios da produção de matéria seca de raízes (MSR) e da parte aérea (MSPA), da quantidade de sorgoleona por 100 raízes e da produção média de sorgoleona por g de matéria seca de raízes, aos 7 dias após a emergência

Genótipos	MSR (mg)*	MSPA (mg)*	Sorgoleona (mg/100 raízes)*	mg de Sorgoleona por g de MSR*	Pureza %
BR 007 B	315,6 b	473,6 d	3,6 b	11,4 c	93,0
BR 700	316,0 b	672,8 a	4,1 b	13,0 b	92,7
CMSXS 210B	305,0 b	487,8 d	3,9 b	14,5 b	91,5
CMSXS 211B	313,1 b	554,1 b	3,7 b	11,8 c	90,8
CMSXS225R	227,9 c	429,1 e	2,5 c	11,0 c	98,8
CMSXS 376	345,5 a	515,5 c	5,6 a	16,2 a	91,3

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Tukey

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de Pós-graduação (MLF) e de Pesquisa (LCAB) e pelo apoio financeiro através do programa PADCT 3. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo suporte financeiro. Agradecemos, ainda, aos Professores Eldo Monteiro da Silva, do Departamento de Biologia Vegetal da UFV, pelo auxílio na obtenção da foto das raízes de sorgo, e a Eduardo Euclides B. Lima, do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, pela utilização do Laboratório de Sementes.

Referência bibliográficas

- Abdul-Wahab, A.S.; Rice, E.L. Plant inhibition by johnson grass its possible significance in old-field succession. *Bull. Torrey Bot. Club.*, 94:486-497, 1967.
- Duarte, J.O. Situação da cultura do sorgo no Brasil. In: Embrapa. Relatório técnico anual do CPMS 1992-93. Sete lagoas, 1994. p-13.
- Einhellig, F.A. Mechanisms and modes of action of allelochemicals. In: Putnam, A.R.; Tang, C.S. (Eds.) *The science of allelopathy*. New York: John & Sons, 1986. 317p.
- Einhellig, F.A.; Leather, R.G. Potentials for exploiting allelopathy to enhance crop production. *J. Chem. Ecol.*, 14:1829-1844, 1988.
- Einhellig, F.A.; Rasmussen, J. A Prior cropping with grain sorghum inhibits weeds. *J. Chem. Ecol.*, 15:951-960, 1989.
- Einhellig, F.A.; Rasmussen, J.A.; Hejl, A.M.; Souza, I.F. Effects of root exudate sorgoleone on photosynthesis. *J. Chem. Ecol.*, 19:369-375, 1993.

- Einhellig, F.A.; Souza, I.F. Phytotoxicity of sorgoleone found in grain sorghum root exudates. *J. Chem. Ecol.*, 18:1-11, 1992.
- Fay, P.K.; Duke, W.B. An assessment of allelopathic potential in avena germplasm. *Weed Sci.*, 25:224-228, 1977.
- Gorz, H.J.; Haag, W.L.; Speacht, J.E.; Haskins, F.A. Assay of p-hydroxybenzaldehyde as a measure of hydrocyanic acid potential in sorghums. *Crop Sci.*, 17:578-582, 1977.
- Hauck, C.; Muller, S.; Schildknecht, H. A germination stimulant for parasitic flowering plants from *Sorghum bicolor*, a genuine host plant. *J. Plant Physiol.*, 139:474-478, 1992.
- Hess, D.E.; Ejeta, G.; Butler, L.G. Selecting sorghum genotypes expressing a quantitative biosynthetic trait that confers resistance to striga. *Phytochemistry*, 31:493-497, 1992.
- Ibrahim, S.; Jawad, K.; Al-Uqaili, A.J. Allelopathic suppression of weed and nitrification by selected cultivars of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *J. Chem. Ecol.*, 12:209-219, 1986.
- Netzly, D.H.; Butler, L.G. Roots of sorghum exude hydrophobic droplets containing biologically active components. *Crop Sci.*, 26:775-778, 1986.
- Netzly, D.H.; Riopel, J.L.; Butler, L.G. Germination stimulants of witchweed (*Striga asiatica*) from hydrophobic root exudate of sorghum (*Sorghum bicolor*). *Weed Sci.*, 36:441-446, 1988.
- Nicolier, G.F.; Pope, D.F.; Thompson, A.C. Biological activity of dhurrin and other compounds from johnson grass (*Sorghum halepense*). *J. Agric. Food Chem.*, 31:744-748, 1983.
- Nimbal, C.I.; Pedersen, J.F.; Yerkes, C.N.; Weston, L.A.; Weller, S.C. Phytotoxicity and distribution of sorgoleone in grain sorghum germplasm. *J. Agric. Food Chem.*, 44:1343-1347, 1996.
- Olivier, A.; Leroux, G.D. Root development and production of a Witchweed (*Striga spp.*) germination stimulant in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars. *Weed Sci.*, 40:542-545, 1992.
- Panasiuk, O.; Bills, D.D.; Leather, R.G. Allelopathic influence of *Sorghum bicolor* on weeds during germination and early development of seedlings. *J. Chem. Ecol.*, 12:1533-1543, 1986.
- Putnam, A.R. Allelopathy in agroecosystems. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 16:431-451, 1978.
- Putnam, A.R.; Defrank, J.; Barnes, J.P. Exploitation of allelopathy for weed control in annual and perennial cropping systems. *J. Chem. Ecol.*, 9:1001-1010, 1983.
- Putnam, A.R. Allelochemicals from plants as herbicides. *Weed Tec.*, 2:510-518, 1988.
- Rimando, A. M.; Dayan, F. E.; Czarnota, M. A.; Weston, A. L.; Duke S. A new photosystem II electron transfer inhibitor from *Sorghum bicolor*. *J. Natur. Products*, 61:927-930, 1998.
- Santos, O.G. *Alelopatia de genótipos de sorgo (Sorghum bicolor) em sistemas de cultivo de hortaliças*. Brasília, 1996. (Master's Thesis in Plant Science) - Universidade de Brasília.
- Silverstein, R.M.; Bassler, G.C.; Morrill, T. C. *Spectrometric Identification of organic compounds*. 4.ed. New York: John Wiley, 1981. 442p.
- Suzuki, Y.; Kono, Y.; Inoue, T.; Sakurai, A. A potent antifungal benzoquinone in etiolated sorghum seedlings and its metabolites. *Phytochemistry*, 47:997-1001, 1998.
- Swain, T. Secondary compounds as protective agents. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 28:479-501, 1977.
- Tang, C.S. *Continuous trapping techniques for the study of allelochemicals from higher plants*. In: Putnam, A.R., Tang, C.S. (Eds.) *The science of allelopathy*. New York: John Wiley, 1986. 317p.
- Weerasuriya, Y.; Siame, B.A.; Hess, D.; Ejeta, G. Butler, L.G. Influence of conditions and genotype on the amount of striga germination stimulants exuded by roots of several host crops. *J. Agric. Food Chem.*, 41:1492-1496, 1993.
- Whittaker, R.H.; Feeny, P.P. Allelochemicals: chemical interactions between species. *Science*, 171:757-770, 1971.

Received on May 21, 1999.

Accepted on July 05, 1999.