

APLICAÇÃO LOCALIZADA DE HERBICIDAS EM PÓS-EMERGÊNCIA NA CULTURA DE SOJA¹

Site-Specific Weed Management Applying Post Emergence Herbicides in Soybean

SHIRATSUCHI, L.S.² e CHRISTOFFOLETI, P.J.³

RESUMO - Com o crescimento do interesse pela aplicação localizada de herbicidas, considerando a variabilidade espacial da comunidade das plantas daninhas, torna-se necessário o conhecimento da eficácia dessas aplicações, comparadas com as convencionais, em área total. O experimento foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficácia de controle das plantas daninhas por meio da aplicação localizada de herbicidas em comparação com a aplicação convencional. Foram escolhidas quatro áreas de 0,5 ha, em duas das quais foi feito o mapeamento da densidade de infestação das plantas daninhas, antes e após a aplicação do herbicida, empregando o método de amostragens numa grade regular de 6 x 6 m, utilizando áreas amostrais de 0,25 m², sendo duas áreas usadas para pulverização convencional e duas áreas com mapeamento das plantas daninhas para a pulverização localizada. As avaliações das infestações das plantas daninhas foram feitas antes e após a aplicação localizada de herbicidas, nos mesmos locais, nas duas avaliações. Foram aplicadas duas doses da mistura formulada dos herbicidas fluazifop butil (125 g L⁻¹) + fomesafen (250 g L⁻¹), sendo a dose de 1,0 L ha⁻¹ da mistura formulada para densidades de plantas daninhas abaixo de 50 plantas m⁻², e a dose de 2,0 L ha⁻¹, para densidades acima de 50 plantas m⁻². A comparação da aplicação convencional a 2,0 L ha⁻¹ com a aplicação localizada mostrou economia de herbicidas da ordem de 18 e 44% para as duas áreas estudadas, respectivamente. Foram detectados 55 e 77% das áreas livres de infestação, sendo verificadas nessas áreas densidades muito baixas. Portanto, a aplicação localizada de herbicida realizada neste experimento mostrou que grande economia de produtos é possível mantendo-se a eficácia de controle e, conseqüentemente, reduzindo o impacto ambiental da aplicação convencional com dose média e pulverização em área total.

Palavras-chave: mapeamento, agricultura de precisão, variabilidade espacial.

ABSTRACT - *Current interest in site-specific weed control regarding to weed spatial variability is currently increasing, when economic, and environmental aspects are considered. But since only a few studies on chemical control efficacy have been conducted until now, a field experiment was developed to evaluate chemical control of weeds applying the site-specific weed control method, as compared to the conventional broadcast application. Four fields of 0.5 ha were chosen and in two of them weeds were surveyed using the systematic grid sampling in a regular grid of 6 x 6 m and counting weeds inside a 0.25 m² quadrat. The two fields where weeds were mapped were used for site-specific application and the other two fields for conventional broadcast application. The quadrat count was done before and after the chemical control in the same location near the stacks. Two label rates were used of the herbicide commercial mixture of fluazifop butyl (125 g L⁻¹) plus fomesafen (250 g L⁻¹), applying 1.0 L ha⁻¹ of the herbicide mixture at sites under 50 weed seedlings m⁻² and 2.0 L ha⁻¹ of the same tank mixture at sites above 50 seedlings m⁻². Compared to broadcast application, site-specific application saved 18% in one field and 44% in the other. Both had satisfactory chemical control with 55% and 77% of the fields weed free, at very low densities. Thus, this research showed that high herbicide savings are possible, maintaining the efficacy of chemical control using the site-specific herbicide weed management and, consequently, reducing the environmental impact of the broadcast application of herbicides.*

Key words: mapping, precision farming, spatial variability.

¹ Recebido para publicação em 23/10/2001 e na forma revisada em 15/3/2002.

Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

² Eng.-Agr., Pós-graduando em Fitotecnia do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ – USP), Av. Pádua Dias 11 – 13418-900 Piracicaba-SP, <lsshirat@esalq.usp.br> - Tel.: (19) 3435 3372.

³ Professor Associado do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ – USP.



INTRODUÇÃO

No contexto agrícola, o controle das plantas daninhas por meio de herbicidas é um dos métodos mais utilizados, e sua correta utilização quase sempre aumenta a produtividade das culturas devido à minimização da interferência das plantas daninhas. No entanto, a utilização incorreta de técnicas e equipamentos pode comprometer o controle eficaz e, conseqüentemente, diminuir a renda do agricultor, já que os herbicidas podem participar com até 30% do custo total de produção da soja (FNP Consultoria & Comércio, 2000).

Com a utilização de técnicas da agricultura de precisão, que, segundo Molin (1997), preconizam o tratamento e gerenciamento de sistemas de produção com a utilização de ferramentas como GPS, *softwares* de SIG, sensores e máquinas avançadas com controle de aplicação a taxas variáveis, o controle das plantas daninhas passa por crescente evolução no que concerne à pulverização, considerando a variabilidade espacial das plantas daninhas nas áreas agrícolas.

Experimentos já realizados (Green & Vencill, 1997; Engqvist et al., 1997; Heisel et al., 1997) demonstraram que a aplicação localizada de herbicidas é mais econômica que a aplicação convencional, feita em área total com base na infestação média de plantas daninhas na área agrícola. O alto grau de contagiosidade das plantas daninhas é mais regra que exceção. Entretanto, muitos desses trabalhos não relatam a eficiência de controle após a aplicação, restringindo-se a analisar a economia de herbicidas.

Para adoção de técnicas de aplicação localizada de herbicidas são necessários o entendimento e a avaliação da eficácia de controle das plantas daninhas ao utilizar estas técnicas. Na literatura mundial, poucos trabalhos abordam esse assunto, sendo relevantes os trabalhos de Williams II et al. (1999a, b).

Assim, um experimento foi instalado com o objetivo de avaliar a eficácia do controle das plantas daninhas por meio da aplicação localizada de herbicidas, considerando a variabilidade espacial das plantas daninhas no período crítico de competição com a soja.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental, pertencente à Universidade de São Paulo, está localizada em Pirassununga-SP, na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (USP/FZEA), sendo cultivada com a utilização do sistema de plantio direto desde 1998. O experimento foi realizado sob um quadrante de 8,5 ha de uma área irrigada sob pivô central de 78 ha, em solo classificado como Latossolo Roxo eutrófico e Terra Roxa Estruturada eutrófica. O cultivar de soja usado foi o Conquista, plantado na primeira quinzena de março de 2001, após a colheita do milho, utilizando uma população de plantas de 300.000 plantas ha⁻¹, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras. Utilizou-se o herbicida de manejo glyphosate para a dessecação pré-plantio.

Dentro da área agrícola foram escolhidas quatro subáreas de aproximadamente 0,5 ha cada; agrupadas duas a duas, elas foram alocadas aleatoriamente dentro da cultura da soja, ficando duas áreas vizinhas: a área (área A) para a aplicação localizada e, ao lado, outra área, como testemunha (área TA), onde foi feita a aplicação convencional uniforme. Da mesma forma foram alocadas outras duas áreas (área B e área TB).

O mapeamento foi realizado quando a soja estava no estágio V4 - V5, segundo escala de Fehr & Caviness (1977), no momento em que as plantas daninhas se encontravam na fase inicial de desenvolvimento.

Para o georreferenciamento, as duas subáreas foram estaqueadas numa grade de 6 x 6 m. O processamento dos dados e a geração dos mapas de distribuição das plantas daninhas foram feitos no *software SSToolbox/SST*. As plantas daninhas foram mapeadas pela metodologia de amostragens sistemáticas, que consistiu no caminhamento em uma grade de 6 x 6 m, estaqueada anteriormente à avaliação.

As avaliações da densidade de plântulas (*seedlings*) foram feitas posicionando-se o quadrado amostral de 0,25 m² duas vezes ao lado da estaca: uma na fileira da cultura e outra entre as fileiras. A amostra foi composta da média dessas duas subamostras, sendo, portanto, 143 pontos de amostragens para cada área (A e B), totalizando 286 amostras.

A avaliação da densidade de infestação das plantas daninhas na grade amostral foi realizada nas áreas onde foi feita a pulverização localizada de herbicida (áreas A e B). Nas áreas TA e TB, a densidade de infestação foi feita com base em uma média de 10 subamostras, sendo adotada para todas as áreas a escala de eficácia e seletividade do controle proposta pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (1995).

A contagem para aferição da eficácia de controle das plantas daninhas foi feita 14 dias após a aplicação em pós-emergência e consistiu da contagem de plântulas remanescentes na mesma posição da avaliação antes da aplicação do herbicida. A eficácia de controle se baseou na densidade das plantas daninhas sobreviventes ao controle químico.

Pulverização localizada em pós-emergência

Os mapas de aplicações localizadas foram baseados na densidade média de infestação das 15 espécies de plantas daninhas avaliadas dentro de cada subárea de 36 m² (grade de 6 x 6 m), e as mais abundantes foram as seguintes plantas daninhas: *Commelina benghalensis*, *Alternanthera tenella*, *Leonotis nepetifolia*, *Richardia brasiliensis*, *Ageratum conyzoides*, *Panicum maximum* e *Chamaesyce hirta* (Figura 1). As demais foram: *Phyllanthus corcovadensis*, *Digitaria sanguinalis*, *Amaranthus viridis*, *Ipomoea grandifolia*, *Solanum americanum*, *Emilia sonchifolia*, *Conyza bonariensis* e *Sida rhombifolia*.

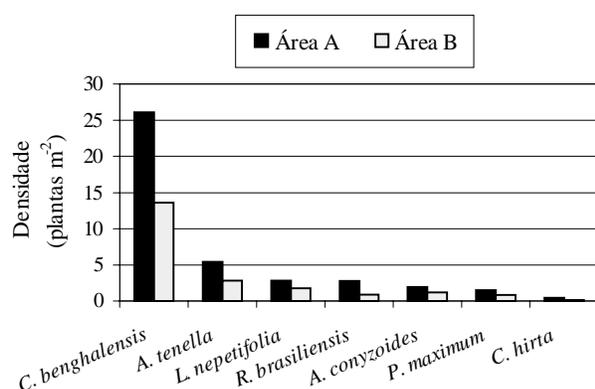


Figura 1 - Densidade média de plantas daninhas por espécie.



A aplicação localizada dos herbicidas iniciou-se às 14 horas, com vento cuja velocidade estava entre 3 e 6 km h⁻¹, considerada por Matthews (1992) como “brisa leve”, umidade relativa do ar de 80% e temperatura de 25 °C, encerrando-se às 17 horas. A pulverização foi feita com consumo de calda de 200 L ha⁻¹, utilizando bicos tipo leque. O georreferenciamento da pulverização foi feito pelo estaqueamento da área. O pulverizador utilizado foi um equipamento costal pressurizado com CO₂, com uma barra de 2 metros de extensão, dotada de quatro bicos, espaçados de 0,5 m entre si. O bico utilizado foi do tipo jato plano (leque) 80 02, com vazão de 0,76 L min.⁻¹ e pressão de trabalho de 279,3 KPa.

Na pulverização localizada, com base no mapa gerado pelo mapeamento das plantas daninhas, foram utilizadas duas doses de herbicida. As escolhas das doses foram baseadas nas doses mínimas e máximas recomendadas comercialmente da mistura formulada de fluazifop butil (125 g L⁻¹) e fomesafen (125 g L⁻¹), ou seja, com a menor densidade de infestação de plantas daninhas foi utilizada a dose mínima (dose 1), e com a maior densidade, a dose máxima (dose 2). A relação das doses com os índices de infestação pode ser vista na Tabela 1.

Pulverização convencional

A aplicação herbicida convencional consistiu de uma dose única distribuída uniformemente na área e foi baseada no nível médio de infestação das plantas daninhas presentes, determinando-se uma dosagem média em área total da mesma mistura herbicida usada na aplicação localizada em pós-emergência.

Tabela 1 - Doses dos herbicidas utilizados na aplicação localizada

Dose da mistura formulada dos herbicidas (L ha ⁻¹)*	Infestação (plantas m ⁻²)
1 (125 g ha ⁻¹ de fomesafen + 62,5 g ha ⁻¹ de fluazifop butil)	0 – 50
2 (250 g ha ⁻¹ de fomesafen + 125 g ha ⁻¹ de fluazifop butil)	50 – 190

* O produto formulado utilizado continha 125 g L⁻¹ de fluazifop butil + 250 g L⁻¹ de fomesafen.

As duas áreas onde a aplicação foi convencional – testemunhas A e B (TA e TB) – também de 0,5 ha cada, foram alocadas ao lado de sua respectiva área onde foi realizada a aplicação localizada (áreas A e B). A amostragem da infestação nessas áreas foi feita pela contagem de plântulas no mesmo quadrado de 0,25 m², porém em cada área foram feitas 10 subamostras aleatórias nas áreas TA e TB, compondo uma amostra para cada área (10 subamostras antes da aplicação, para avaliar a densidade média de infestação, e 10 subamostras após a aplicação, para avaliar a eficácia).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as plantas daninhas encontradas nas amostragens são consideradas suscetíveis à mistura formulada de fluazifop butil + fomesafen (Rodrigues & Almeida, 1998). As duas doses aplicadas são recomendadas pelo fabricante dos herbicidas utilizados (Lorenzi, 2000).

Na aplicação convencional com dose uniforme em área total, nas duas áreas vizinhas às áreas onde foram feitas as aplicações localizadas foi encontrada infestação média de 70 plantas m⁻² para a área TA e 53 plantas m⁻² para a área TB. Através do levantamento foi decidida a aplicação da dose de 125 g ha⁻¹ do herbicida fluazifop butil + 250 g ha⁻¹ de fomesafen (2 L ha⁻¹ da mistura formulada) em área total.

Nas áreas onde foram feitas as aplicações localizadas de herbicida foi obtida, para a área A, uma proporção de 62,2% de células (6 x 6 m) com densidade entre 0 e 50 plantas m⁻², onde foi utilizada a dose de 1,0 L ha⁻¹ da mistura, e de 37,8% com 50 a 189 plantas m⁻², onde foi utilizada dose igual à da aplicação convencional de 2,0 L ha⁻¹ da mistura herbicida formulada (Figuras 2 e 3).

Comparando a aplicação localizada com uma aplicação em área total na dose de 2 L ha⁻¹, foi obtida uma economia de 18% da mistura herbicida pós-emergente utilizada (Tabela 2). Trabalhos feitos anteriormente já relataram economias variando de 19 a 89% (Nordmeyer et al., 1997; Heisel et al., 1997; Christensen et al., 1999).

Analisando a eficácia de controle, percebeu-se que houve controle químico satisfatório

para a área A, com 56% da área com controle de 100%, sendo as demais áreas divididas em diferentes proporções de infestação da área, dependendo da densidade (Tabela 3).

Flora emergente - Área A - Antes da aplicação do herbicida

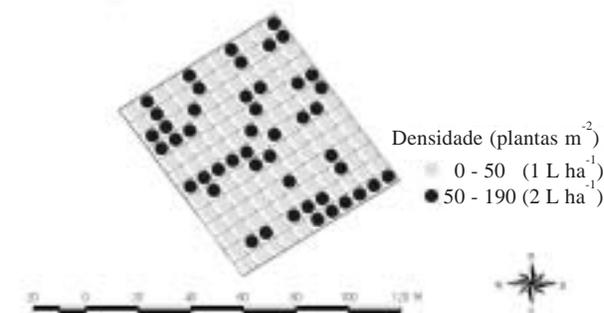


Figura 2 - Mapa de densidade da flora emergente das plantas daninhas na área A antes da aplicação localizada de herbicida.

Flora emergente - Área A - Após a aplicação do herbicida

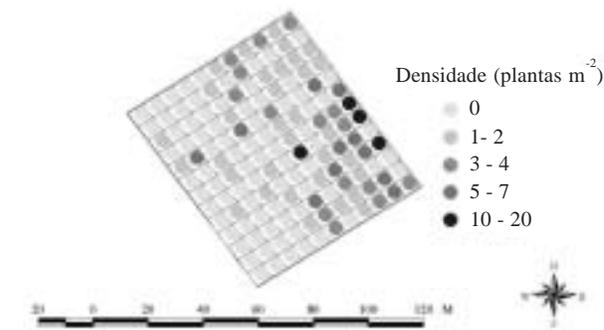


Figura 3 - Mapas de densidade da flora emergente das plantas daninhas na área A após a aplicação localizada de herbicida.

Tabela 2 - Total de produto herbicida aplicado na área experimental A, utilizando aplicação localizada e convencional de herbicidas

Área A	Área (%)	Dose (L ha ⁻¹)	Quantidade de herbicida aplicado (L)	Total
Aplicação localizada	37,8	1	0,19	0,83
Aplicação convencional	62,2	2	0,64	
Aplicação convencional	100	2	1,02	1,02

Tabela 3 - Proporção de infestação da área A, dependendo da densidade de plantas

Classes de densidade (plantas m ²)	Proporção da área total (%)
0	56
1-2	23
3-4	11
5-7	8
10-20	2

Na área B foi constatado que 88,1% da área estava com densidade de plantas variando de 0 a 50 plantas m² e 11,9% variando de 50 a 171 plantas m² (Figuras 4 e 5). Nesta área foram economizados 44% de produto com a realização da aplicação localizada, em relação à aplicação de 2 L ha⁻¹ da mistura em aplicação convencional em área total (Tabelas 4 e 5), demonstrando que a técnica tem muito a contribuir com a melhoria da eficiência dos métodos de controle das plantas daninhas, possibilitando melhor aplicação de produtos herbicidas no alvo.

Pode se perceber que tanto na área A quanto na B a maioria das células com densidade de plantas daninhas remanescentes não coincidiu espacialmente com as células que apresentaram densidade maior que 50 plantas m⁻², mostrando que a pulverização do herbicida foi adequada, pois inúmeras células com densidades altas de plantas daninhas antes da aplicação tiveram sua densidade reduzida a zero. Portanto, as plantas não-controladas podem ter tido outro fator de interferência, já que as condições climáticas durante a aplicação e de equipamentos utilizados para pulverização foram adequadas.

Na avaliação de eficácia e seletividade para todas as áreas em estudo, segundo escala da Sociedade...-SBCPD (1995), o controle foi considerado eficaz, sendo as notas atribuídas visualizadas na Tabela 6. As densidades médias após a aplicação do herbicida nas áreas de aplicação convencional (TA e TB) foram baixas, com densidade média de 0,02 planta m⁻² para TA e de 0,11 planta m⁻² para TB.

A eficácia de controle das plantas daninhas através da aplicação localizada de herbicidas em pós-emergência com base na variabilidade espacial da comunidade destas plantas foi semelhante à aplicação convencional, com dose média e em área total.



Flora emergente - Área B - Antes da aplicação do herbicida

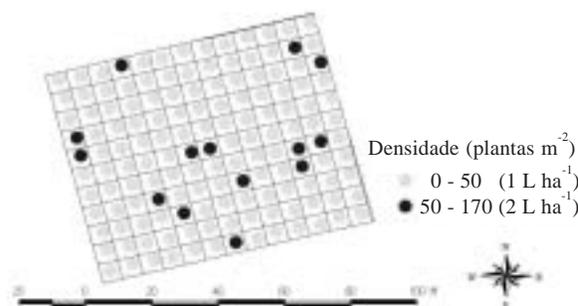


Figura 4 - Mapas de densidade da flora emergente das plantas daninhas na área B antes da aplicação localizada pós-emergente.

Flora emergente - Área B - Após a aplicação do herbicida

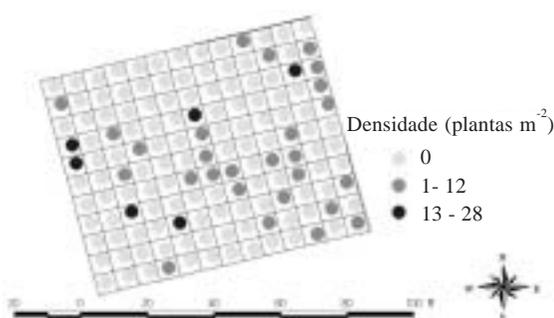


Figura 5 - Mapas de densidade da flora emergente das plantas daninhas na área B após a aplicação localizada pós-emergente.

Tabela 4 - Total de produto herbicida aplicado na área experimental B, utilizando aplicação localizada e convencional de herbicidas

Área B	Área (%)	Dose (L ha ⁻¹)	Quantidade de herbicida aplicado (L)	Total
Aplicação localizada	88,1	1	0,45	0,57
	11,9	2	0,12	
Aplicação convencional	100	2	1,02	1,02

Tabela 5 - Proporção de infestação da área B, dependendo da densidade de plantas

Classes de densidade (plantas m ²)	Proporção da área total (%)
0	77
1-12	19
13-28	4

Tabela 6 - Avaliação da eficácia e seletividade herbicida do experimento

Áreas pulverizadas	Notas*
Área A – Aplicação localizada	Aa
Área TA – Aplicação convencional	Ba
Área B – Aplicação localizada	Aa
Área TB – Aplicação convencional	Aa

* Vide descrição dos conceitos aplicados à avaliação do controle e seletividade na página 26 do boletim da Sociedade...-SBCPD (1995).

(A => E : Controle excelente => Ausência de controle).

(a => e : Sem injúria à cultura => Destruição completa da cultura).

Neste experimento, a aplicação localizada de herbicidas teve potencial muito grande de economia de produto herbicida nas duas áreas estudadas: de 18% na área A e 44% na área B. A eficácia de controle foi considerada boa, pois a população foi reduzida drasticamente com o controle químico utilizado, mesmo em altas infestações, como na área experimental A.

Portanto, a adoção de técnicas que otimizem a aplicação do herbicida, aumentando sua eficácia, é necessária em sistemas de produção agrícola, já que equipamentos modernos estão disponíveis e métodos de mapeamento estão sendo testados, promovendo, conseqüentemente, redução de custos e menor poluição ambiental.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ – USP, pelos equipamentos e *softwares* utilizados; ao Prof. Dr. José Paulo Molin, pelo apoio; e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio.

LITERATURA CITADA

CHRISTENSEN, S.; WALTER, A. M.; HEISEL, T. The patch treatment of weeds in cereals. In: THE 1999 BRIGHTON CONFERENCE – WEEDS, Brighton, 1999. **Proceedings...** Brighton: BCPC, 1999. p. 591-600.

ENGQVIST, A.; BENGTTSSON, P.; ENFALT, P. A model for site-specific broad-leaved weed control based on weed plant variables. In: THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick. **Proceedings...** Oxford: BIOS Scientific, 1997. p. 869-878.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Yowa State University, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2000**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: 2000. 546 p.

GREEN, H. M.; VENCILL, W. K. Precision management of spatially variable weeds. In: THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick. **Proceedings...** Oxford: BIOS Scientific, 1997. p. 983-989.

HEISEL, T.; CHRISTENSEN, S.; WALTER, A. M. Whole field experiments with site-specific weed management. In: THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick. **Proceedings...** Oxford: BIOS Scientific, 1997. p. 759-768.

LORENZI, H. **Manual de identificação e de controle de plantas daninhas**. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 81 p.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. New York: Longman Scientific Technical, 1992. 405 p.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte I: O que é o estado da arte em sensoriamento. **Eng. Agríc.**, v. 17, n. 2, p. 109-121, 1997.

NORDMEYER, H.; HAUSTLER, A.; NIEMANN, P. Patchy weed control as an approach in precision farming. In: THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick. **Proceedings...** Oxford: BIOS Scientific, 1997. p. 307-315.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: Edição dos autores, 1998. 648 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS - SBCPD. **Procedimentos para a instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: 1995. 42 p.

WILLIAMS II, M. M. et al. Spatiotemporal outcomes of site-specific weed management in maize. In: THE EUROPEAN CONFERENCE OF PRECISION AGRICULTURE, 2, 1999, Odense. **Proceedings...** Sheffield: Sheffield Academic Press, 1999a. p. 897-906.

WILLIAMS II, M. M. et al. Weed seedling population responses to a method of site-specific weed management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1999, Minneapolis. **Proceedings...** Wisconsin: ASA, CSSA, SSSA, 1999b. p. 123-133.