

Variabilidade espacial de plantas daninhas em áreas sob diferentes usos agrícolas

Matheus Fernandes de Souza Sena ⁽¹⁾,
Otacílio Silveira Júnior ⁽²⁾,
Ítalo Cordeiro Silva Lima ⁽³⁾,
Marciane Cristina Dotto ⁽⁴⁾ e
Antônio Clementino dos Santos ⁽⁵⁾

Data de submissão: 17/2/2021. Data de aprovação: 17/8/2021.

Resumo – Devido ao seu vasto território e grande variação climática, o Brasil apresenta condições de permitir o crescimento de diversas espécies de plantas daninhas, o que acaba demandando alto consumo de herbicidas. Para realizar o controle pontual, mitigar problemas ambientais e reduzir custos de aplicação, a variabilidade espacial para controle de plantas daninhas por meio de ferramentas geoestatísticas permite resultados satisfatórios a essa demanda. Nesse sentido, o trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a variabilidade espacial de três áreas com diferentes usos agrícolas e mapear a distribuição espacial de plantas daninhas, taxas de infestação e mapas de aplicação de herbicidas. O georreferenciamento foi realizado em malha 47 x 56 m, totalizando 51 pontos. Após a coleta das amostras, foram identificadas as plantas daninhas, que foram separadas por famílias, a fim de confeccionar mapas de necessidade de aplicação (densidade de plantas daninhas/m²) e controle químico, através de diferentes herbicidas (Glifosato, 2-4-D, 2-4-D + picloram) indicados para as necessidades apontadas em cada parcela, bem como as suas características agrônômicas. Constatou-se que as plantas daninhas estão presentes em áreas com menor uso de práticas de manejo, além de serem as áreas mais propícias a sofrer degradação. É possível fazer aplicações localizadas de herbicidas em espécies pós-emergência, pós-tardias e adultas, levando em consideração a variabilidade espacial das plantas daninhas.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Controle químico. Plantas invasoras. Variabilidade espacial.

Spatial variability of weed plants in areas under different agrarian uses

Abstract – Due to its vast territory and significant climatic variation, Brazil has conditions to allow the growth of several weed species, which end up demanding high herbicides consumption. To perform punctual control, mitigate environmental problems and reduce application costs, spatial variability to control weeds using geostatistical tools allows satisfactory results to this demand. In this sense, the paper was carried out to verify the spatial variability of three areas with different agricultural uses and map the spatial distribution of weeds, infestation rates, and herbicide application maps. The georeferencing was carried out in a 47 x 56 m mesh, adding up to 51 points. After collecting the samples, weeds were identified, and separated by families. Their spatial variability in areas with different agricultural uses were evaluated to map application needs (weed density/m²) and control chemicals through different herbicides (Glyphosate, 2-4-D, 2-4-D + picloram) indicated for the needs indicated in each plot,

¹ Engenheiro Agrônomo. *matheus8sena@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1104-2869>.

² Técnico de Laboratório do Campus Dianópolis, do Instituto Federal do Tocantins – IFTO. *otacilio.junior@ifto.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0784-5335>.

³ Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Campus Dianópolis, do Instituto Federal do Tocantins – IFTO. *italo.lima@ifto.edu.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6326-7974>.

⁴ Doutora em Produção Vegetal. *marcianedotto@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8954-5343>

⁵ Professor do Campus Araguaína, da Universidade Federal do Tocantins – UFT. Bolsista do CNPq. *clementino@mail.uft.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7943-7923>.

as well its agronomic features. It was discovered that weeds are present in areas with less use of management practices and being the most prone to degradation. It is possible to make localized applications of herbicides in post-emergence, post-late, and adult species taking into account the spatial variability of weeds.

Keywords: Chemical control. Invasive plants. Precision agriculture. Spatial variability.

Introdução

O Brasil é um grande produtor agrícola global e está localizado em uma faixa climática que permite o crescimento e proliferação de plantas daninhas, doenças e pragas entomológicas. Todos esses problemas fazem do país o maior consumidor de agrotóxicos do mundo (ARAÚJO e OLIVEIRA, 2016).

A infestação de plantas daninhas reduz a produtividade das culturas de interesse, competindo por água, luz, espaço e nutrientes. Além disso, as plantas daninhas causam redução no estande, exigindo métodos de controle e até prevenção. Porém, o agricultor pode utilizar métodos físicos, químicos e biológicos, mas o controle químico é o mais usual. No entanto, o uso de herbicidas em excesso pode causar muitos danos ao solo, água e atmosfera, gerando problemas ambientais (JOBIM *et al.*, 2010; RIGGOTO *et al.*, 2012).

Atualmente, há um predomínio da aplicação de herbicidas de maneira uniforme em toda a área, mesmo obtendo-se diferentes padrões das plantas daninhas, em vários casos ocorrendo aplicação em áreas livres dessas plantas, desconsiderando o nível de infestação e diferentes espécies de plantas daninhas dentro de uma mesma área (CORRÊA *et al.*, 2015).

Assim, é necessária a adoção de medidas tecnológicas que permitam reduzir o uso de herbicidas e, ao mesmo tempo, aumentar sua eficácia. Uma ferramenta muito útil para isso é a agricultura de precisão (AP), que corresponde a técnicas que gerenciam a localização das variáveis em estudo, mesmo com a utilização de veículos não tripulados (drones) auxiliados por GPS (Sistemas de Posicionamento Global), permitindo o levantamento da variabilidade espacial de daninhas em uma cultura, mitigando ou evitando perdas ambientais, econômicas e sociais (DIM *et al.*, 2011; ARAÚJO e OLIVEIRA, 2016;).

Além disso, aplicações geoestatísticas permitem a visualização da variabilidade espacial das plantas daninhas, permitindo seu mapeamento, o que certamente reduz a quantidade de uso de herbicida. Para lançar tal mapa, é essencial produzir semivariogramas que descrevam quantitativamente sua variação no espaço de um fenômeno indiviso (SILVEIRA JUNIOR, *et al.* 2014). Porém, a krigagem é a ferramenta ideal para supor o grau de variabilidade espacial através dos resultados obtidos por meio da coleta de amostras, sendo possível assumir valores em áreas onde a coleta de dados não foi realizada (PERBONI *et al.*, 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a variabilidade espacial das plantas daninhas em áreas sob diferentes usos agrícolas e verificar a possibilidade de confecção de mapas de recomendação de aplicações de herbicidas.

Materiais e métodos

O estudo foi realizado na área experimental do *Campus* Dianópolis, do Instituto Federal do Tocantins (Tocantins, Brasil), no bioma cerrado, nas coordenadas 11°38'05" Sul e 46°45'55" Oeste e 578 m acima do nível do mar. O clima é classificado, segundo os critérios de Koppen (1948), como Aw (quente e úmido). A temperatura média anual é de 24,5 °C, e a umidade relativa do ar média anual é de 65% com 1532 mm de precipitação anual.

A área experimental está dividida em 3 subáreas, totalizando 12,16 ha (Figura 1). As subáreas estudadas foram diagnosticadas em três usos e manejo da cobertura do solo:

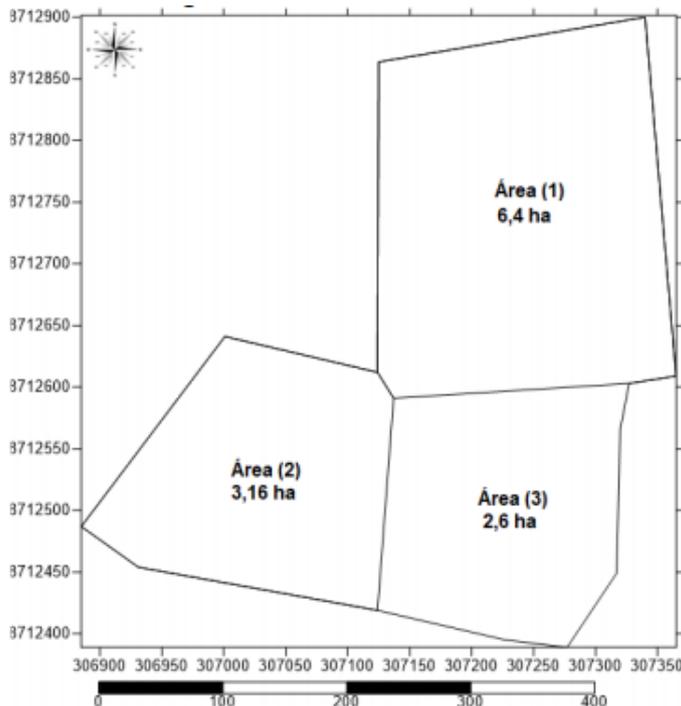
1. Subárea de pastagem convencional, totalizando 6,4 ha, com crescimento espontâneo de gramíneas, principalmente pelo capim-colômbio (*Megathyrsus maximum* Jacq cv Colômbio). Nessa área, historicamente, a correção e a adubação do solo não eram realizadas nos últimos

quatro anos, sendo manejadas em sistema de pastejo contínuo sem controle da lotação animal. Vale ressaltar que, anteriormente, a subárea era utilizada para cultivo de culturas anuais, como milho e feijão.

2. Subárea para produção de Citrus (limão e laranja), totalizando 2,6 ha e dois anos de implantação. Essa área, historicamente, era utilizada para a produção de capim (*Brachiaria brizantha*) para pastejo de bovinos.

3. Subárea de pousio, totalizando 3,16 ha, com produção de capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa*). Vale ressaltar que está em pousio há 2 anos.

Figura 1 - Parcelamento da área.



Fonte: Autores (2020).

Uma malha amostral regular foi demarcada na área experimental, com pontos espaçados de 47 x 56 m, totalizando 51 pontos amostrais georreferenciados, obtidos por meio de GPS topográfico (Sistema de Posicionamento Global – Garmin etrex Touch 25). Em cada ponto foram avaliados o número de perfilhos, o número de plantas daninhas, o tipo de planta daninha, a infestação de plantas daninhas, a produção de liteira, o percentual de ocupação do solo e nível de degradação.

A avaliação do diagnóstico do nível da pastagem foi obtida em cada ponto por meio de um quadro de 1m² (subdividido em 100 quadrantes de 0,1 x 0,1 m) para medir a frequência (%) de espaços vazios e de plantas daninhas. A frequência de cada variável foi obtida por meio de avaliação visual, onde, em cada quadrante, foi observado o que estava ocupando a superfície do solo (espaço vazio ou plantas daninhas). Esse tipo de avaliação também foi utilizado nos trabalhos de Rodrigues *et al.* (2014), porém com adaptações.

A altura do dossel da forragem foi determinada por meio de uma régua de metálica graduada em centímetros, medindo seis vezes, aleatoriamente, a partir do ponto georreferenciado, representado pela média dessas medidas. Amostras de biomassa foram colhidas usando um quadro de amostragem com dimensão 0,5 m x 1,0 m. A avaliação foi realizada em todos os pontos georreferenciados. Todo o material obtido no espaço delimitado pelo quadro de amostragem foi coletado rente ao solo (5 cm), encaminhado ao Laboratório de

Solos, pesado e realizado o processo de identificação das plantas daninhas, sendo então as plantas daninhas (verde e senescente), para posterior pesagem de cada material, colocadas em estufa de circulação de ar forçada a 55°C por 72 horas, para determinação da massa seca.

A densidade populacional de perfilhos foi avaliada usando um quadro de contagem de perfilho 0,25 x 1,0 m, contando o número de perfilhos na área da moldura, e ajustando para determinar o número de perfilhos/m². Na coleta da liteira foi utilizado um quadrado de 0,3 m x 0,2 m e todo material dentro das limitações foi coletado, ensacado e devidamente pesado em campo com auxílio de balança portátil.

A análise exploratória dos dados foi realizada por meio do programa estatístico BioEstat 5.0. Medidas descritivas e análises geoestatísticas, com a construção de semivariogramas e mapas de isolinhas, foram utilizadas para avaliar a forma de distribuição das plantas daninhas em áreas de sob diferentes usos agrícolas. Foram realizadas medidas de posição (média, mediana e moda), dispersão (mínimo, máximo e desvio padrão) e distribuição (coeficientes de variação, assimetria e curtose). A hipótese de normalidade foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de 5% de probabilidade.

A avaliação dos dados obtidos com medidas de posição, dispersão e distribuição contribuiu para a compreensão das variáveis estudadas. Os limites do coeficiente de variação (CV%) foram usados para medir a variabilidade segundo Warrick e Nielsen (1980) em CV fraco <12%, CV moderado entre 12% e 62% e CV forte > 62%. O coeficiente de assimetria (CA) foi utilizado como característica da precisão. A função de distribuição do normalizado em AC = 0 é uma distribuição simétrica, AC > 0 é uma distribuição enviesada para a direita e AC < 0 é uma distribuição enviesada para a esquerda.

A variabilidade espacial das variáveis estudadas foi analisada usando uma abordagem geoestatística. Assim, de acordo com a hipótese intrínseca, a variabilidade espacial de cada dado foi determinada por meio da construção de seu respectivo semivariograma. Os semivariogramas foram ajustados aos modelos matemáticos teóricos esféricos, exponenciais, lineares e gaussianos para definir os valores do efeito pepita (C0), alcance e platô (C + C0).

Padrões de relacionamento espacial foram estimados pela semivariância e autocorrelação em função da distância $\gamma(h)$ (MATHERON, 1963), com auxílio do software GS + (ROBERTSON, 1998), em função da equação (1):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} Z(X_i)Z(X_i+h)^2 \quad (1)$$

Onde:

$\gamma(h)$ = semivariância experimental feita a partir dos valores obtidos; h = distância entre os pontos de amostragem; N(h) = número de pares de valores obtidos Z(x_i); Z(x_i + h), separado por uma distância h; Z = quaisquer parâmetros estudados; X_i e X_i + h = posições do ponto da amostra (VIEIRA *et al.*, 1983).

Para escolha, nosso modelo teórico para classificação do Grau de Dependência Espacial (DSD) foi determinado como uma relação entre variância estrutural (C) e platô (C + C0), sendo possível classificar o DSD em: dependência espacial fraca (DSD < 0,25), dependência espacial moderada (0,25 ≤ DSD < 0,75) e forte dependência espacial (DSD ≥ 0,75) (ROBERTSON, 1998), em função da equação (2).

$$DSD = \frac{C}{C+C_0}$$

Onde:

DSD = grau de dependência espacial; C = variância estrutural; e C + C0 = platô.

A classificação da análise do grau de dependência espacial (DSD) em relação com $C / (C + Co)$, proposta por Robertson (1998) e apud RODRIGUES *et al.* (2014), como forte dependência espacial ($DSD > 0,75$), moderada dependência espacial ($0,25 < DSD \leq 0,75$) e fraca dependência espacial ($DSD \leq 0,25$).

O modelo teórico em função das variâncias reais foi selecionado de acordo com os resultados da menor soma dos resíduos quadrados (SQR), do maior grau de dependência espacial (DSD) e do maior coeficiente de determinação (R^2). Além disso, a análise da presença de anisotropia foi calculada em quatro direções em semivariogramas com amplitude a 45° (0, 45, 90 e 135°). Optamos por analisar os semivariogramas isotrópicos 90° . Vale ressaltar que não encontramos anisotropia.

Utilizou-se o método de krigagem para a confecção de mapas, que consideram a variância e a distância entre pontos vizinhos para definir o padrão espacial das variáveis nos sítios, estimando-se em um determinado local que nenhuma amostra foi coletada. O Surfer v. 13.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2015) foi utilizado para manipular e visualizar a distribuição espacial por meio da construção dos mapas isolinhas das variáveis. A análise dos dados e mapas foi realizada tratando a área pesquisada como um todo, sem dividi-la em piquetes.

Para as variáveis descritivas, foi realizada análise estatística para avaliar as seguintes medidas descritivas: valores mínimos e máximos, amplitude total, mediana, coeficiente de variação, assimetria, curtose e desvio padrão. Para avaliar a normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Sminov (K-S) a 5% de probabilidade.

Resultados e discussões

A área experimental apresentou uma rica diversidade de plantas daninhas em estágio adulto, totalizando 20 espécies, divididas em 9 famílias (Apocynaceae, Astareaceae, Convolvuceae, Ephorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Melastomataceae), sendo a família Astareaceae aquela com maior número ($n=9$) de espécies de daninhas (Tabela 1).

Tabela 1 – Espécies de plantas daninhas identificadas nas áreas de estudo.

Espécie	Família	Nome comum
<i>Sida cordifolia</i>	Malvaceae	Malva
<i>Cyperus difformis</i>		Capim 3 quinas
<i>Eclipta prostrata</i>	Asteraceae	Erva-de-botão
<i>Emilia fobergii Nicolson</i>		Falsa-serralha
<i>Bidens subalternans DC</i>		Picão-preto
<i>Blainvilea dichotoma Stuart</i>		Erva-palha
<i>Alternanthera tenella</i>		Apaga-fogo
<i>Galinsoga parviflora</i>		Fazendeiro
<i>Braccharis dracunculifolia</i>		Alecrim-do-campo
<i>Galinsoga quadriradiata</i>		Fazendeiro P
<i>Tridax procumbens</i>		Erva-de-touro
<i>Senna obtusifolia</i>	Fabaceae	Fedegoso
<i>Neonotonia wightii</i>		Soja-perene
<i>Aeschynomene denticulata</i>		Dorme-dorme
<i>Leonotis nepetifolia</i>	Lamiaceae	Cordão-de-Frade
<i>Ipomoea purpurea</i>	Convolvuceae	Corda-de-viola
Outras		

<i>Phyllanthus tenellus</i>	Phyllanthaceae	Quebra-pedra
<i>Chamaesyce</i>	Ephorbiaceae	Erva-de-santa-luzia
<i>Prestonia erecta</i>	Apocynaceae	Prestonia
<i>Miconia rubiginosa</i>	Melastomataceae	Pixirica

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

A análise descritiva dos dados (Tabela 2) revelou a não normalidade das variáveis espaço vazio, número total de plantas daninhas, biomassa verde e da matéria seca de plantas daninhas. A falta de normalidade de alguns dados deve-se provavelmente a áreas com diferentes usos agrícolas, com a presença e/ou ausência de determinados tratamentos culturais, como, por exemplo, poda, adubação, controle de plantas daninhas na parcela do citrus (área 2) e pousio na área de pastagem (área 3).

Além disso, esses resultados demonstram a necessidade de adequação de uma análise estatística que melhor represente os dados, e é por meio da abordagem da geoestatística que existe a possibilidade de adequação para avaliar o comportamento da variabilidade espacial. Além disso, os dados apresentaram alto grau de variação ao longo dos pontos amostrais (Tabela 02).

Tabela 2 - Estatística descritiva das características agrônômicas.

Variáveis	Min	Max	Apl	Md	M	CV (%)	S	As	K	K-S
Altura do dossel (cm)	5,00	148,00	143,00	53,00	56,20	66,8	37,54	0,47	-0,79	ns
Espaços Vazios (%)	0,00	57,00	57,00	8,00	12,40	113,50	14,06	1,49	1,58	<0,01
Espaços Forragem (%)	0,00	99,00	99,00	18,00	31,59	104,7	33,06	0,70	-1,07	<0,05
Espaços Daninhas (%)	0,00	100,00	100,00	70,00	56,01	63,9	35,80	-0,34	-1,55	ns
Número de Perfilhos (unid m ⁻²)	0,00	506,00	506,00	72,00	122,39	108,0	132,21	1,18	0,82	<0,05
Número total de Daninhas (unid m ⁻²)	0,00	249,00	249,00	38,00	60,46	97,4	58,84	1,24	1,14	ns
Biomassa Verde de Daninhas (kg ha ⁻¹)	0,00	6101,60	6101,60	1175,00	1347,01	91,5	1231,95	1,60	3,62	ns
Biomassa de Daninhas (kg MS ha ⁻¹)	0,00	1542,60	1542,60	299,00	367,36	88,90	326,65	1,30	2,09	ns
Liteira (kg ha ⁻¹)	0,00	909,10	909,10	3,00	81,12	256,2	215,09	2,88	7,22	<0,01
Malvaceae	0,00	444,00	444,00	0,00	54,50	190,60	108,30	2,33	5,30	<0,01
Fabaceae	0,00	38,00	38,00	0,00	5,02	177,2	8,89	2,31	5,89	<0,01
Arastaceae	0,00	176,00	176,00	3,00	26,08	162,4	42,35	1,91	3,17	<0,01
Convolvuceae	0,00	76,00	76,00	0,00	6,75	279,0	18,82	3,05	8,58	<0,01
Poaceae	0,00	94,00	94,00	0,00	3,49	432,00	15,08	5,28	28,94	<0,01
Lamiaceae	0,00	38,00	38,00	0,00	3,37	279,00	9,41	3,05	8,58	<0,01
Cyperaceae	0,00	172,00	172,00	0,00	16,94	242,50	41,08	2,60	6,09	<0,01
Outras	0,00	66,00	66,00	0,00	4,12	242,8	11,23	4,02	18,94	<0,01
2-4-D	0,00	16,00	16,00	34,00	1,33	314,2	4,20	3,00	7,51	<0,01
2-4-D + picloran	0,00	444,00	444,00	34,00	80,82	109,20	135,00	1,82	2,85	<0,01
Glifosato	0,00	210,00	210,00	14,00	37,25	143,00	53,26	1,79	2,57	<0,01

Min.: Mínimo; Máx.: Máximo; Apl = Amplitude, Md. = Mediana, M = Média, CV = Coeficiente de variação, S = Desvio padrão, As: Coeficiente de assimetria; K: Curtose; K-S: Kolmogorov-Smirnov (teste de normalidade).

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

A interpolação por meio de krigagem em áreas onde nenhuma amostragem foi realizada apresenta melhores resultados em áreas que apresentaram normalidade de dados satisfatórios

(NEVES NETO *et al.*, 2013). Porém, para realizar uma análise geoestatística, não é necessário que os dados obtidos respeitem a distribuição normal (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Na análise dos valores de curtose, os dados ficaram distantes de zero, sem distribuição normal dos dados, com a maioria das amostras apresentando curva leptocúrtica, com maior destaque para a variável Poaceae, que apresentava cauda pesada (Tabela 2).

A maioria das variáveis apresentou assimetria positiva, ou seja, com valores médios superiores aos valores da mediana, o que lhes confere uma frequência (cauda) à direita (Tabela 2). As variáveis altura, taxa de cobertura do solo por forragem e plantas daninhas apresentam assimetria negativa (cauda) à esquerda. É interessante que a cauda não seja tão extensa a ponto de comprometer o trabalho geoestatístico (ROVEDA, 2018).

No que se refere ao coeficiente de variação, as parcelas variaram das médias obtidas, certamente devido às diferentes práticas de manejo ao longo dos anos, ou seja, a área destinada ao cultivo de citrus recebeu o manejo adequado para a cultura, enquanto que na área do pivô (parcela 1) o manejo consistiu em cultivo de algumas culturas em sistema irrigado e que posteriormente passaram a ser utilizadas para pastejo em lotação contínua pelos ovinos. A alta variabilidade pode estar diretamente ligada a vários fatores bióticos e abióticos. Além disso, as áreas têm diferentes finalidades: produção de frutos, presença de forragens e presença de animais.

Os dados obtidos por meio do desvio padrão também apontam para uma alta diferenciação da média obtida, avaliando valores acentuados na diferenciação da média, principalmente para a variável biomassa verde de planta daninha. A área do citrus apresentou valores insignificantes de biomassa verde de plantas daninhas, o que se deve ao histórico de controle químico por meio da aplicação de herbicida pulverizado próximo ao solo, enquanto na área do pivô foi observada maior concentração de plantas daninhas, o que pode ser atribuído ao uso de gradagens anuais. Porém, essa área deve ter um rico banco de sementes de plantas daninhas que garanta sua germinação.

Vale ressaltar que a área do pivô, antes de 2017, era utilizada para a produção de forragem, e hoje está em pousio e não possui nenhum método de controle de plantas daninhas, o que garante o crescimento desenfreado dessas plantas.

Para valores de desvio padrão, o valor mais próximo de zero é a necessidade de aplicar 2-4-D, pois é indicado apenas para o controle de picão-preto (*Bidens subalternans*), que apresenta poucos exemplares na área e possui variabilidade espacial uniforme (Figura 7 b; Tabela 2).

A maioria das variáveis analisadas apresentou semivariogramas nos modelos gaussianos “Espaços Vazios (%)”, “Número Total de Daninhas (unid.m⁻²)”, “Liteira (kg.ha⁻¹)”, “Malvaceae”, “Fabaceae”, “Asteraceae”, “Outras Daninhas”, “2-4-D”, “2-4-D + picloram” e “Glifosato” e exponencial “Altura do dossel (cm)”, “Espaços Forragem (%)”, “Número de Perfilhos (unid.m⁻²)”, “Biomassa Verde das Daninhas (kg.ha⁻¹)”, “Biomassa das Daninhas (kgMS.ha⁻¹)”, “Convolvuceae”, “Lamiaceae” e “Cyperaceae”, bem como apresentou um alcance extenso, amplitude variográfica, demonstrando assim uma alta confiabilidade nos dados em condições de maior distância.

Devido à sua distribuição homogênea na área, a poácea apresentou o modelo de semivariograma linear, conferindo um “efeito pepita puro”, tornando desnecessária a confecção de mapa devido à aleatoriedade e ausência de grau de dependência espacial (Tabela 3). O espaço ocupado por daninhas foi ajustado pelo modelo esférico, que se caracterizou por não ter efeito pepita, o que reduziu a probabilidade de erros por apresentar valores muito semelhantes.

Tabela 3 - Modelo, Contribuição, GDE das características agrônômicas.

Variáveis	Modelo	C _o	C _o +C	A _o	[(C _o /C _o +c)]x100	GDE
Altura do dossel (cm)	Exponencial	35,00	2180,00	488,10	98,40	Forte
Espaços Vazios (%)	Gaussiano	0,10	194,10	63,20	99,9	Forte
Espaços Forragem (%)	Exponencial	1,00	1536,00	368,90	99,9	Forte
Espaços Daninhas (%)	Esférico	1,00	1388,00	215,70	99,9	Forte
Número Total de Daninhas (unid.m ⁻²)	Gaussiano	28000,00	79500,00	186,2	64,8	Moderado
Número de Perfilhos (unid.m ⁻²)	Exponencial	10,0	24680,00	139,8	100,0	Forte
Biomassa Verde de Daninhas (kg.ha ⁻¹)	Exponencial	1000,00	1204000,00	27,8	99,9	Forte
Biomassa de Daninhas (kgMS.ha ⁻¹)	Exponencial	100,00	86640,00	30,9	99,9	Forte
Liteira (kg.ha ⁻¹)	Gaussiano	100000,00	170900000,00	74,9	99,9	Forte
Malvaceaes	Gaussiano	21800,00	94700,00	280	77,0	Forte
Fabaceaes	Gaussiano	0,10	84,26	69,4	99,9	Forte
Arastaceaes	Gaussiano	5520,00	25150,00	296,6	78,1	Forte
Convolvuceaes	Exponencial	35,00	363,20	26,30	90,4	Forte
Poaceaes	Linear	238,37	238,37	258,66	0,0	Fraco
Lamiaceaes	Exponencial	8,90	90,80	26,30	90,2	Forte
Cyperaceaes	Exponencial	1362,00	3907,00	610	65,1	Moderado
Outras Daninhas	Gaussiano	103,50	207,10	320,7	50,0	Moderado
2-4-D	Gaussiano	0,01	20,70	65,0	100,0	Forte
2-4-D + picloran	Gaussiano	435,00	1380,00	334,10	68,5	Moderado
Glifosato	Linear	2407,04	2407,04	539,0	0,00	Fraco

C_o: nugget effect; C_o+C: Plateau; A_o= range; [(C_o/C_o+c)]X 100= contribution of the nugget effect (%), DSD: degree of spatial dependence.

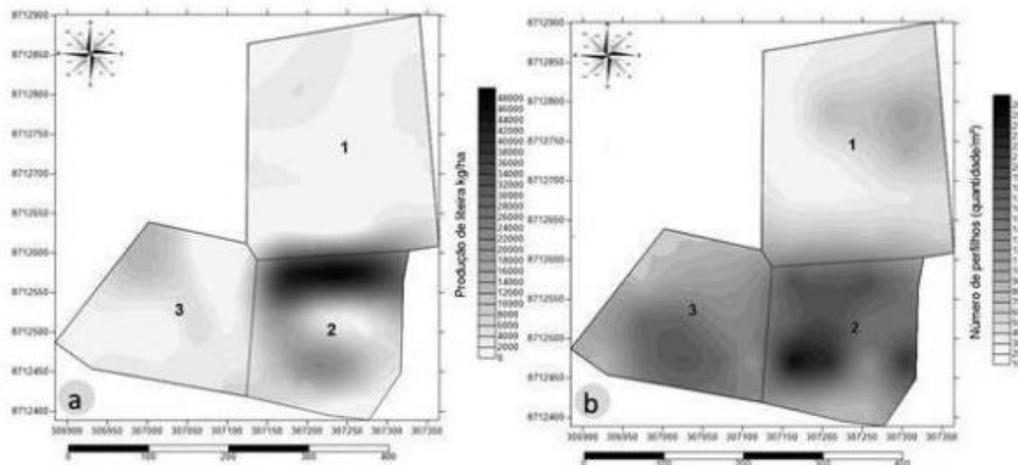
Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O grau de dependência espacial das variáveis analisadas mostrou-se forte para a maioria das variáveis. Dependências espaciais mais fortes fornecem interpolações mais seguras, expressando melhores resultados. Proporcionalmente, ao verificar semivariogramas com fraco GDE, menos confiáveis serão as estimativas de valores, para os locais não amostrados, pelo método krigagem (RODRIGUES *et al.*, 2014).

No entanto, as variáveis “Número Total de Plantas Daninhas”, “Cyperaceaes”, “Outras Daninhas” e “2-4-D + picloran” apresentaram grau moderado de dependência espacial. A variável “Poaceaes”, por possuir efeito pepita pura, não apresenta nenhuma dependência, não conferindo a essa característica nenhuma de dependência espacial (Tabela 3). As plantas daninhas da família Cyperaceae possuem o maior alcance entre todas as variáveis analisadas, com pontos de amostragem apresentando dependência até uma distância 610m.

Embora a parcela representada pela produção de citrus esteja em plena atividade, entre as áreas estudadas, ainda necessita de manejo produtivo, ou seja, aplicação de herbicidas. A presença espontânea de *Brachiaria brizantha* é diretamente responsável pela produção da liteira do tipo fina devido à sua alta incidência de perfilhos, com pico de produção em áreas com maior quantidade de gramíneas (Figura 2). Como a produção está devidamente vedada, não ocorre o pastejo, o que provoca maior disseminação e crescimento nos perfilhos, favorecendo o diferimento no pasto, exigindo práticas de controle (SANTOS *et al.*, 2017).

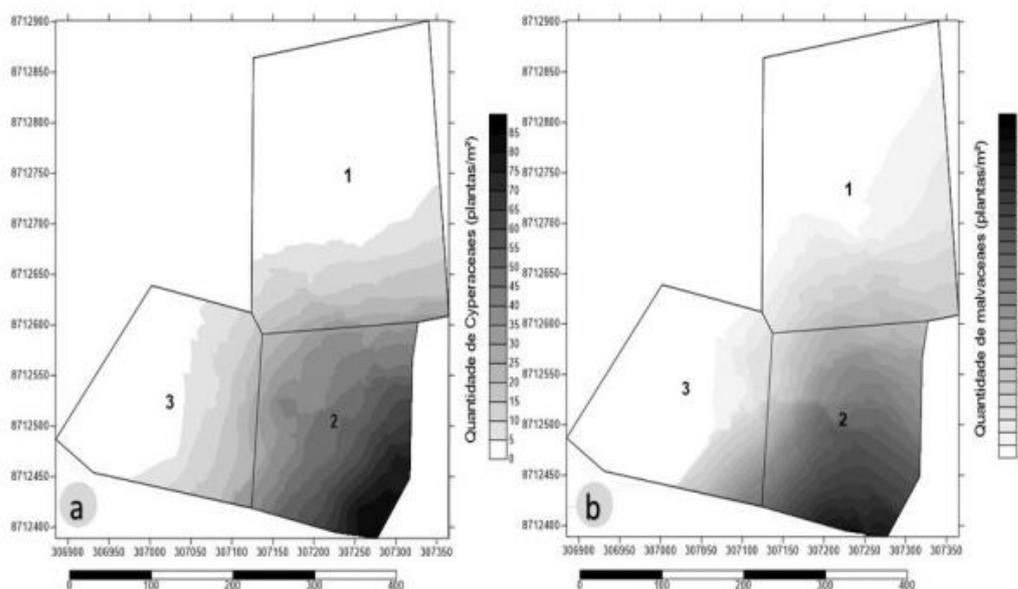
Figura 2 - Variabilidade espacial da: a) produção de liteira e b) número de perfilhos da *Brachiaria brizantha*.



Fonte: Autores (2020).

As aplicações regulares de herbicidas não erradicam a gramínea, porém a controlam para que não haja invasão que prejudique a cultura de interesse. No entanto, o dessecamento da gramínea favorece a senescência da parte superior da poácea e aumento da cobertura do solo (Figura 2). Devido a esses fatores, a liteira está mais presente na parcela do citrus (Figura 2a, área 2). A presença de liteira apresenta enormes vantagens relacionadas à proteção do solo, reduzindo a erosão e o arrasto mecânico das partículas causadas pela chuva, além de favorecer a infiltração de água no solo, diminuir as taxas de evapotranspiração e favorecer o resfriamento do solo em regiões áridas, o que pode ser um fator decisivo para as culturas (COSTA, 2015). Na parcela do citrus há grande proliferação e acúmulo de malvaceas e cyperaceas (Figura 3). Certamente, por essa parcela possuir tratos culturais como poda e aplicação de herbicidas não seletivos, não há supercrescimento de plantas, portanto não há supressão por plantas ou plantas competindo por luz, permitindo, assim, o desenvolvimento dessas plantas daninhas de pequeno porte (Figura 4).

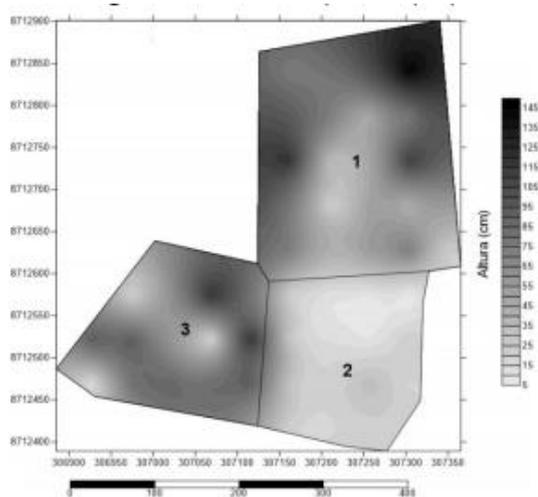
Figura 3 - Variabilidade espacial das plantas daninhas das famílias: a) Cyperaceae; b) Malvaceae.



Fonte: Autores (2020).

A presença dessas plantas daninhas na área pode ocasionar alguns entraves na produção de citrus, pois seus caules lenhosos e resistentes dificultam o tráfego de máquinas agrícolas. O controle dessa planta daninha é extremamente necessário, pois ela contém doenças fúngicas que podem ser prejudiciais à cultura de interesse. Além disso, também hospeda pragas entomológicas como a mosca-branca, que afeta diretamente limoeiros e laranjeiras (BÔAS *et al.*, 2002).

Figura 4 – Variabilidade espacial da altura do dossel das gramíneas



Fonte: Autores (2020).

As cyperaceas presentes na área podem representar prejuízos na fisiologia dos citrus. Além de representarem competição por água e luz, exalam substâncias alopatícas que reduzem significativamente a reprodução e a emissão de gemas (CORRÊA *et al.*, 2015).

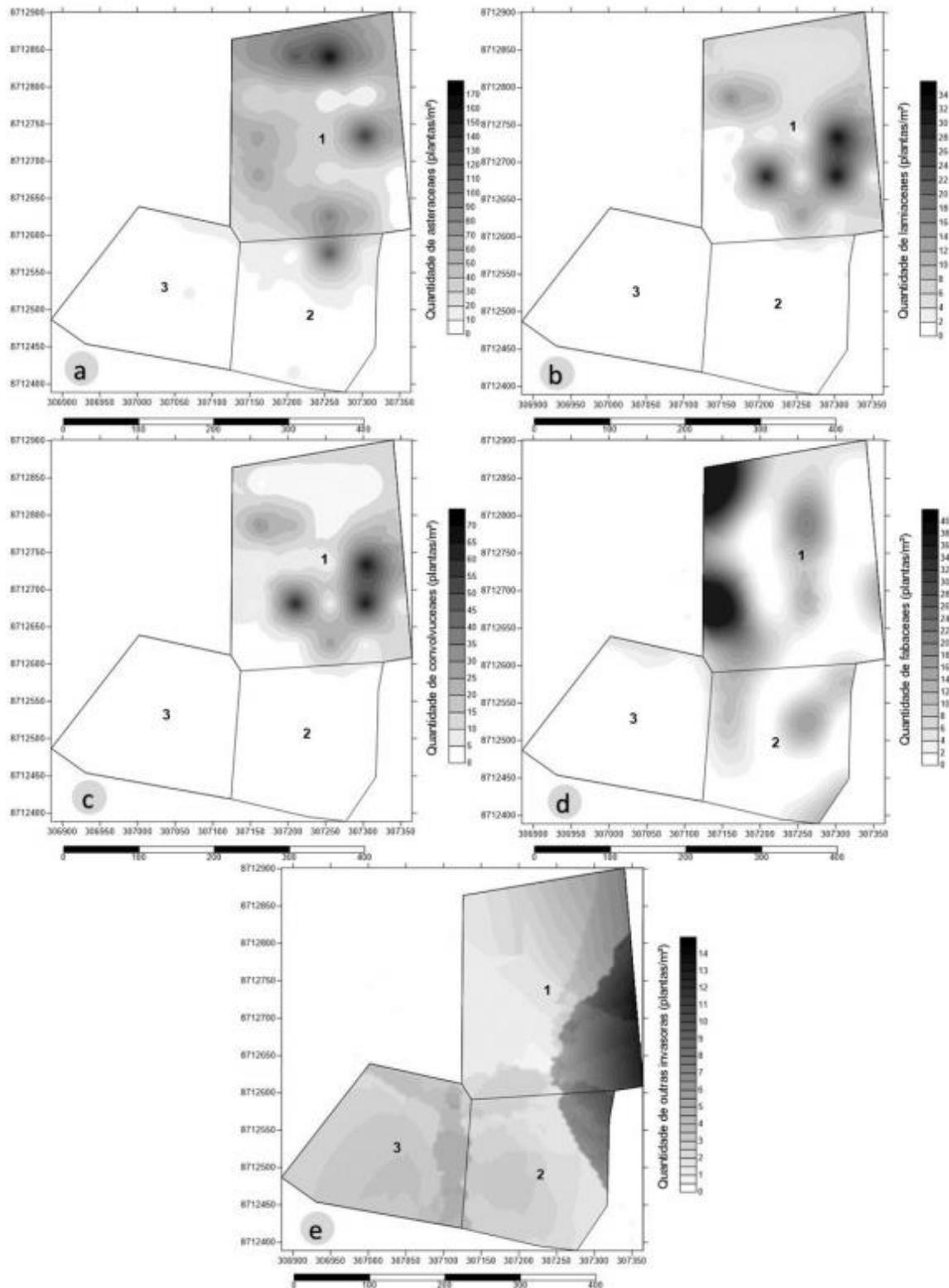
O pivô (área 1), que apresenta a maior diversidade de plantas daninhas entre todos os estudos (Figura 5), é submetido a gradagem anual, sendo o banco natural de sementes do solo responsável pela rebrota das invasoras, principalmente no período chuvoso. Um fator relevante para a disseminação e permanência das invasoras na área é a presença de animais. Vale ressaltar que o rebanho de ovinos pastejava com frequência nesta parcela, e seus excrementos proporcionam certo nível de fertilização ao solo, além disso, excrementos de pássaros podem ser um agente de disseminação de sementes. A ausência de tratamentos culturais também pode ter contribuído para a alta diversidade encontrada na área, todas representativas das famílias Asteraceae, Convolvaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Poáceas e outras daninhas (Figura 5 e 6).

A presença de fabaceas nas bordaduras do pivô (Figura 5d) pode estar diretamente relacionada à alta umidade proporcionada pela presença de viveiros escavados utilizadas na atividade piscícola. Essa umidade promove a queda do ácido abscísico, causando a abertura da vagem, favorecendo germinação e disseminação da espécie (FERREIRA, 2017). A área de pastagem (Figura 5, área 03) é a que apresenta a menor quantidade e variedade de plantas daninhas. Atualmente, em pousio, apresenta um crescimento adensado de capim-jaraguá, o que certamente promove a supressão de plantas daninhas. Como essa parcela não tem manutenção, ocorre acúmulo de matéria seca. Sem interferência, o ambiente ganha cada vez mais as características do bioma cerrado.

Todas as áreas apresentaram grande variedade de plantas daninhas, com diversidade acentuada na parcela do pivô (Figura 5 e 6, área 1) e alta infestação na parcela do citrus (Figura 5, área 2). A parcela da pastagem (Figura 5, área 3) apresentou a menor quantidade de plantas daninhas, com destaque para a disseminação de daninhas da família das Arastaceae. Na mesma parcela existe também um domínio quase completo de invasoras e uma pequena taxa de locais

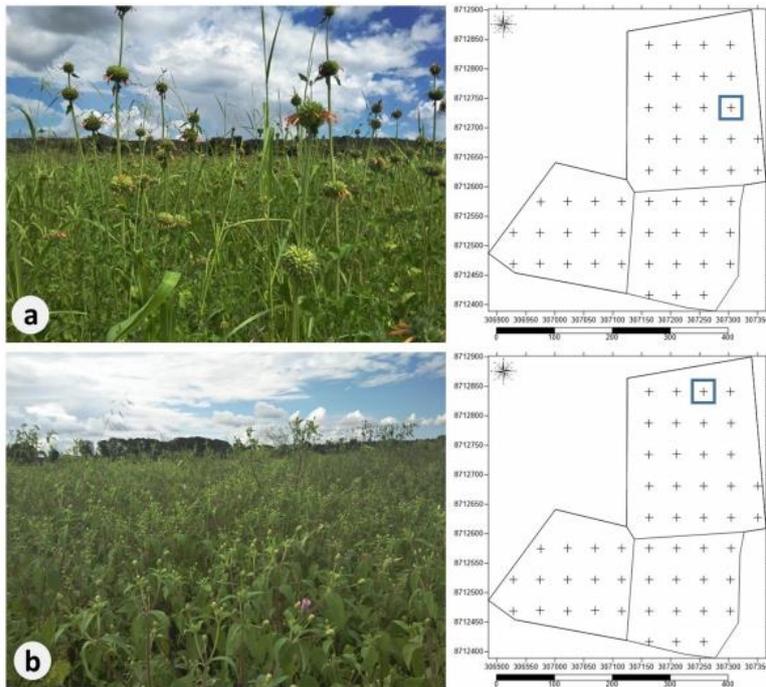
com espaços vazios, com tendência de que sejam ocupados por plantas daninhas no futuro. A área de pastagem (Figura 7 d, área 3) tem uma taxa menor de daninhas.

Figura 5 – Variabilidade espacial das famílias de invasoras: a) Asteraceae; b) Lamiaceae; c) Convolvuceae; d) Fabaceae; e) outras famílias de invasoras.



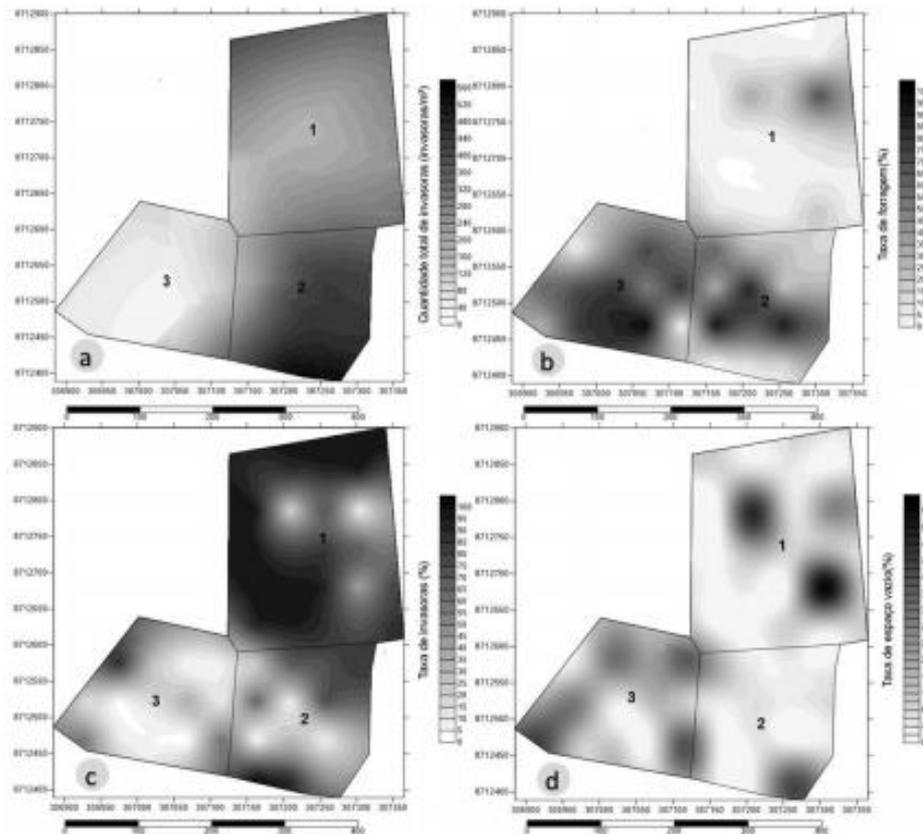
Fonte: Autores (2020).

Figura 6 – Invasão de daninhas na parcela do pivô: a) invasão de cordão-de-frade; b) invasão de erva-de-botão.



Fonte: Autores (2020).

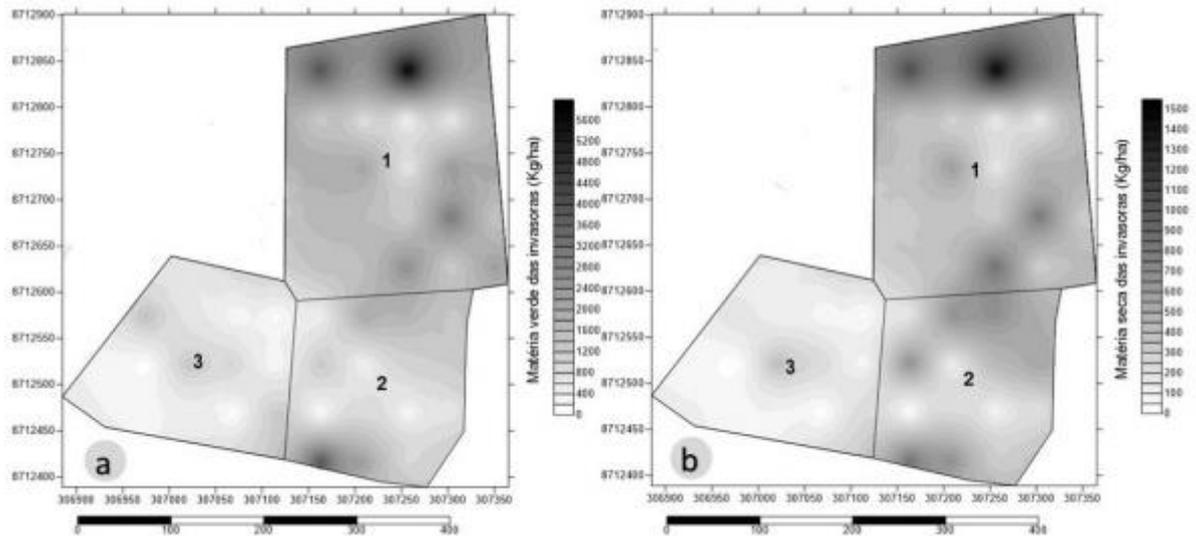
Figura 7 – Taxa de invasão e ocupação do solo: a) quantidade total de invasoras; b) taxa de forragem (%); c) taxa de invasora (%); d) taxa de espaço vazio (%).



Fonte: Autores (2020).

As variáveis “Matéria das Invasoras (kg/ha)” e “Matéria Seca das Invasoras (kg/ha)” seguiram a mesma tendência, com valores maiores na área do pivô (Figura 8, área 1). Esse alto valor pode estar relacionado à presença de asteraceae e lamiaceae, por apresentarem espécies de grande porte em relação aos demais invasores.

Figura 8 – Variabilidade espacial da: a) matéria verde; b) seca das invasoras.

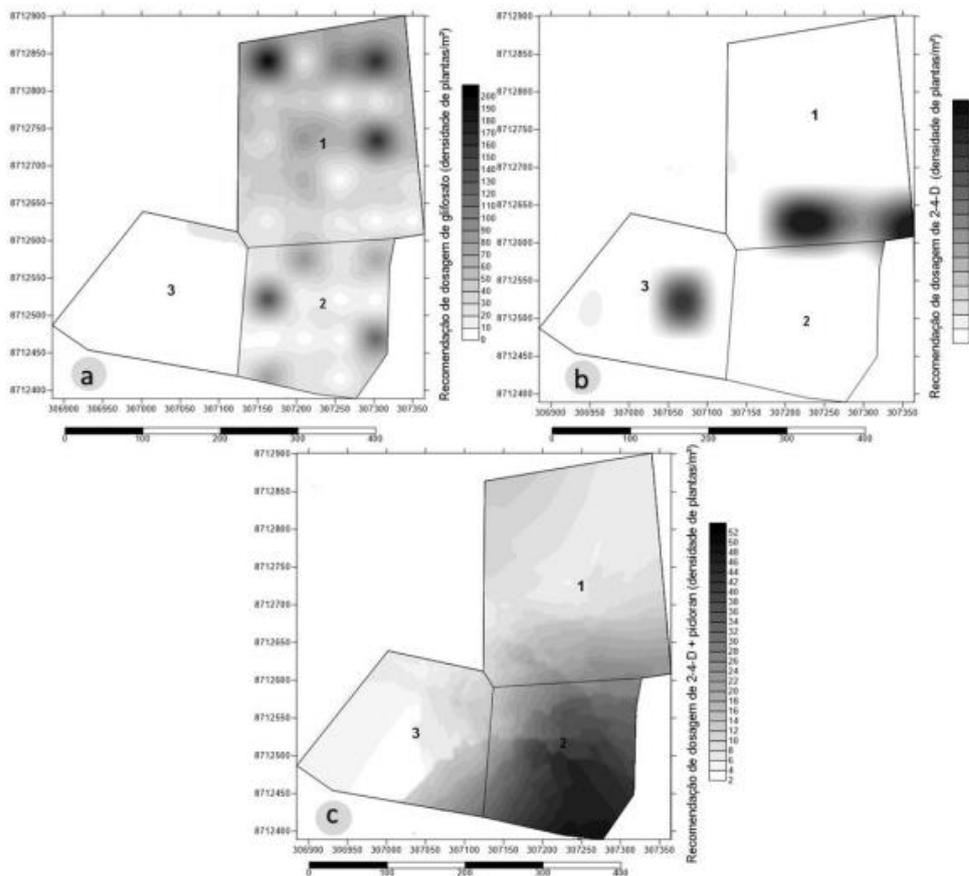


Fonte: Autores (2020).

Após a identificação das espécies de daninhas, foram recomendadas aplicações e dosagens de herbicidas de alta suscetibilidade (mais de 95 % de eficiência) no controle das invasoras em seus estágios pós-emergente, pós-tardio e adulto. O picão-preto (*Bidens subalternans*) é um membro da família das Asteraceae que causa intenso prejuízo econômico na produção agrícola, pois é uma espécie causadora de alelopatia, limitando principalmente o desenvolvimento de olerícolas. Porém, seu dano se estende: essa daninha tem resistência acentuada a vários grupos de herbicidas (VIDAL *et al*, 2006). A ação do 2-4-D + Picloran tem um controle moderado de aproximadamente 50%. Devido a essa resistência, essa espécie foi a única que não foi incluída no grupo do glifosato e 2-4-D + picloran, sendo necessária a utilização do herbicida 2-4-D, que tem mais de 95% de suscetibilidade ao controle (Figura 9 a). O uso do glifosato na parcela do citrus tende a ser a melhor recomendação para aplicação com o pulverizador, a uma altura de até 35 cm do solo, para evitar danos às culturas de interesse. Ressalta-se que ao se utilizar o glifosato na parcela do citrus, uma pequena quantidade deve ser utilizada para permitir a permanência da *Brachiaria brizantha*, visando a proteção e nutrição ao solo (Figura 9b).

O 2-4-D + picloran como latifolicida de alta suscetibilidade às espécies identificadas foi o herbicida mais demandado em toda a área, enquanto que na parcela da pastagem (Figura 7c, área 3) foi necessário para evitar danos ao capim-jaraguá. Foi mais demandado, porém, na parcela do citrus (Figura 9c).

Figura 9 – Área com necessidade de aplicação de herbicida: a) glifosato; b) 2-4-D; c) 2-4-D + picloram.



Fonte: Autores (2020).

Considerações finais

É possível realizar aplicações localizadas de herbicidas em espécies pós-emergentes, pós-tardias e adultas, levando em consideração a variabilidade espacial das plantas daninhas e fazendo uso de ferramentas tecnológicas utilizadas como agricultura de precisão, resultando na redução dos gastos com herbicidas e evitando vários problemas ambientais e residuais.

As áreas que apresentam baixo nível tecnológico e com poucas práticas de manejo (áreas 1 e 3) são os locais que apresentaram os maiores problemas de infestação de plantas daninhas e áreas sujeitas a problemas de degradação do solo.

No entanto, quando se trata de áreas destinadas a sistemas de exploração diversificados, mais pesquisas são necessárias para melhor controlar as plantas daninhas.

Referências

ARAÚJO, I. M. M.; OLIVEIRA, Â. G. R. C. Agronegócio e agrotóxicos: impactos à saúde dos trabalhadores agrícolas no nordeste brasileiro. **Trabalho, Educação e Saúde**, v. 15, n. 1, p. 117-129, 2016.

BÔAS, G. L. V., FRANÇA, F. H., MACEDO, N. Potencial biótico da mosca-branca *Bemisia argentifolii* a diferentes plantas hospedeiras. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p.71-79, 2002.

CORRÊA, M. J. P. *et al.* Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do feijão caupi. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 2, p.50-56, 2015.

COSTA, A. D. S. Composição química e decomposição de liteira em pastagens de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* sob manejo intensivo. Teresina: Coordenadoria Geral de Pesquisa, 2015. 16 p. (Relatório Final)

DIM *et al.*. Distribuição espacial de plantas daninhas e produção de forragem em áreas de pastejo contínuo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 2, p. 296-305, 2011.

FERREIRA, A. C. Fisiologia e morfologia de plantas de feijão sob deficiência hídrica. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, v. 3, n. 2, p.10-21, ago. 2017.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows version 13**. Colorado: Golden, 2015.

JOBIM, P. F. C. *et al.* Existe uma associação entre mortalidade por câncer e uso de agrotóxicos? Uma contribuição ao debate. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, n. 1, p. 277-288, 2010.

KÖPPEN E GEIGER. **Clima: Combinado-TO**. 2018. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/tocantins/combinado-312723/>. Acesso em: 8 nov. 2018.

MATHERON, G. Principles of Geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

NEVES NETO, D. N. *et al.* Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p.995-1004, 2013.

PERBONI, A. *et al.* Geoestatística e simulações condicionais aplicadas a ensaios de uniformidade de aspersão convencional. **Irriga**, v. 19, n. 1, p.115-129, 2014.

RIGOTTO, R. M. *et al.* O verde da economia no campo: desafios à pesquisa e às políticas públicas para a promoção da saúde no avanço da modernização agrícola. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1533-1542, 2012.

ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design, 1998.

RODRIGUES, M. O. D. *et al.* Diagnóstico da estrutura horizontal de capim Mombaça em sistema silvipaltil pastejado por ovinos. Amazon Soil – I Encontro de Ciência do Solo da Amazônia Oriental, p. 91-101.

ROVEDA, M. *et al.* Modelagem geoestatística da estrutura espacial arbórea e dos atributos do solo em floresta ombrófila mista. **Floresta**, v. 48, n. 1, p.67-76, 2018.

SANTOS, M. E. R *et al.* Estrutura do dossel e características de perfilhos em pastos de capim-piatã manejados com doses de nitrogênio e períodos de deferimento variáveis. **Ciência Animal Brasileira**, v. 18, n. 3, p.1-13, 2017.

SILVEIRA JUNIOR, *et al.* Distribuição espacial de atributos químicos do solo em áreas sob diferentes usos agrícolas. **Revista Brasileira na Agricultura**, v. 22, n. 5, p.442-455, 2014.

VIDAL, R. A *et al.* Diagnóstico da resistência aos herbicidas em plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p.597-604, 2006.

VIEIRA, S. R. *et al.* Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic, cap. 2, p. 319-344. 1980.