

RESEARCH/INVESTIGACIÓN

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DE *MELOIDOGYNE* E *PRATYLENCHUS* EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB MANEJO DE IRRIGAÇÃO

F. J. C. Souza Junior¹, E. M. R. Pedrosa^{2*}, A. A. A. Montenegro²,
S. R. V. L. Maranhão¹ e T. F. S. Vicente²

¹Programa de Pós-graduação em Fitopatologia, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. ²Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil. *Autor para correspondência: elvira.pedrosa@ufrpe.br

RESUMO

Souza Junior, F.J.C., E. M. R. Pedrosa, A.A.A. Montenegro, S. R.V. L. Maranhão e T. F. S. Vicente. 2020. Variabilidade espaço-temporal de *Meloidogyne* e *Pratylenchus* em áreas de cana-de-açúcar sob manejo de irrigação. *Nematropica* 50-186-199.

Embora pesquisas recentes tenham examinado a micro distribuição de nematoides e de fatores ambientais envolvidos, poucos estudos analisaram a distribuição espacial de espécies de nematoides economicamente importantes usando técnicas geoestatísticas em cultivo irrigado de cana-de-açúcar. O presente estudo teve como objetivo investigar a magnitude da dependência espacial de *Pratylenchus* e *Meloidogyne* no solo em plantio de cana-de-açúcar em áreas irrigadas e não irrigadas, em períodos distintos, usando geoestatística. O estudo foi realizado no município de Timbaúba-PE entre setembro de 2014 e novembro de 2015. Coletaram-se solo segundo uma malha de 36 pontos georreferenciados, para estimar o grau de dependência espacial entre as populações, utilizando-se a análise geoestatística. Após o ajuste dos variogramas, foi realizada a krigagem e, sequencialmente, o mapa de distribuição espacial de nematoides nas áreas. Verificou-se que a irrigação afeta a distribuição espacial e os comprimentos de correlação dos fitonematoides. Nos endoparasitas do gênero *Meloidogyne* a irrigação auxilia na agregação, enquanto que nos endoparasitas do gênero *Pratylenchus* atua permitindo sua dispersão na área ao longo do tempo.

Palavras-chave: Nematóide das galhas, nematóide das lesões radiculares, *Saccharum*, geoestatística

ABSTRACT

Souza Junior, F. J. C., E. M. R. Pedrosa, A. A. A. Montenegro, S. R. V. L. Maranhão, and T. F. S. Vicente. 2020. Space-temporal variability of *Meloidogyne* and *Pratylenchus* in areas of sugarcane under irrigation management. *Nematropica* 50:186-199.

Although recent research has examined the micro-distribution of nematodes and environmental factors involved, few studies have analyzed the spatial distribution of economically important nematode species using geostatistical techniques in irrigated sugarcane cultivation. The present study aimed to investigate the spatial dependence magnitude of *Pratylenchus* and *Meloidogyne* in irrigated and non-

irrigated sugarcane plantation areas, at different times, using geostatistics. The study was carried out in the city of Timbaúba-PE between September 2014 and November 2015. Soils were collected from 36 georeferenced points to estimate the degree of spatial dependence among the populations, using geostatistical analysis. After variograms adjustment, kriging and mapping of the nematode spatial distributions in the areas were performed. It was found that irrigation affected the spatial distribution and correlation lengths of both plant-parasitic nematodes. Irrigation was a key factor in the aggregation of *Meloidogyne*, whereas for *Pratylenchus* irrigation allowed its dispersion in the area over time.

Key words: Root-knot nematode, root lesion nematode, *Saccharum*, geoestatistic

INTRODUÇÃO

No agronegócio brasileiro, a cana-de-açúcar é uma das principais culturas para o desenvolvimento econômico do país (Nascimento, 2015; Conab, 2020). É amplamente cultivada no país, no entanto, a região Nordeste sofre com produtividades decrescentes, por diversos fatores, físicos, químicos e biológicos do solo, em particular, pela presença de nematoides. Há mais de 4100 espécies de nematoides parasitos de planta, das quais mais de 300 espécies já foram assinaladas em raízes e solo de rizosfera dessa gramínea (Ferreira et al., 2017).

Dentre os patógenos que parasitam a cana-de-açúcar, destacam-se os nematoides do gênero *Meloidogyne* Goeldi, conhecido como nematoide das galhas, e *Pratylenchus* Filipjev, conhecido como nematoide das lesões radiculares (Ferreira et al., 2017; Mitiku, 2018).

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* são endoparasitas sedentários, ou seja, após penetrarem na raiz estabelecem um sítio de alimentação formado por cinco a seis células nutritoras e tornam-se sedentários até o final de seu ciclo de vida (Barbosa et al., 2009). Plantas de cana-de-açúcar parasitadas por *Meloidogyne* spp. apresentam sintomas na parte aérea como redução do vigor, folhas menores e com tonalidades diversas e redução da produção de sacarose. Além disso, raízes da cana-de-açúcar infectadas por esse patógeno exibem pequenos engrossamentos, denominados de galhas (Barros et al., 2005). Embora haja relatos de várias espécies de *Meloidogyne* parasitando a cana-de-açúcar, *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood e *M. javanica* (Treub) Chitwood são as mais importantes, responsáveis por elevadas perdas econômicas (Barros et al., 2005; Silva et al., 2016; Bellè et al., 2017; Moura, 2018; Dinardo-Miranda et al., 2019).

Os nematoides do gênero *Pratylenchus* são endoparasitas migradores, penetram e necrosam a região do córtex da raiz, preferencialmente as radículas, ovipositando durante seu caminhar (Barbosa et al., 2009). As espécies do gênero *Pratylenchus* também são amplamente distribuídas em canaviais de todo o mundo, destacando-se *Pratylenchus zeae* Graham, encontrada em maior frequência (Bellè et al., 2017; Moura, 2018; Oliveira & Asmus, 2018; Dinardo-Miranda et al., 2019).

A distribuição espacial dos fitonematoides no campo é frequentemente descrita como agregada, o que significa que há dependência espacial entre as populações nos pontos amostrados (Barros et al., 2017; Ortiz et al., 2010). Portanto, para uma adequada análise da distribuição dos fitonematoides no solo em culturas agrícolas é preciso realizar uma amostragem representativa, o que geralmente requer altos custos, dificultando o conhecimento da real distribuição espacial desses organismos. Essas dificuldades têm impacto direto na adoção de medidas eficazes para manejo das doenças causadas por fitonematoides (Moura et al., 1999).

De maneira geral, os nematoides possuem baixa mobilidade no campo e, portanto, demoram safras para mostrarem os prejuízos econômicos (Ortiz et al., 2010). Dessa forma, o manejo dos nematoides deverá ser conduzido com o uso de práticas localizadas, ou seja, a adoção de medidas baseadas na filosofia da agricultura de precisão, onde os insumos sejam aplicados apenas onde são necessários, com ganhos econômicos e ambientais consideráveis (Santana-Gomes et al., 2014).

O padrão de distribuição espacial desses parasitas pode ser visto por dois componentes, macro e micro. O macro é observado em escala generalizada de campo e afetado por variáveis ambientais (Maranhão et al., 2018). O componente micro tem ocorrência em uma escala

menor (reboleiras) e é extremamente relacionado com o ciclo de vida e estratégia de alimentação do parasito (Inomoto, 2016).

A distribuição está correlacionada com a movimentação do nematoide no solo, que é influenciada por fatores físicos e químicos do solo, condições ambientais e a presença de lâmina de água (Ortiz *et al.*, 2010; Barros *et al.*, 2016; Francilino *et al.*, 2017). O fluxo de água no solo pode ser influenciado pela precipitação, evaporação, irrigação, entre outras variáveis. No entanto, a prática da irrigação é um grande responsável pela movimentação e dispersão do nematoide no perfil do solo (Fujimoto *et al.*, 2010; Barros *et al.*, 2016; Lima, 2019), embora seja vista como uma atividade benéfica para a agricultura, especialmente em áreas com baixos índices de pluviosidade (Campos *et al.*, 2014).

O efeito da irrigação na distribuição de fitonematoides em áreas de cultivos de cana-de-açúcar ainda é pouco investigado (Ferraz e Brown, 2016; Lima, 2019), levando ao questionamento de como a irrigação poderia interferir na distribuição dos fitonematoides e, com base nessas informações, possibilitando um manejo mais eficiente do controle das doenças causadas por estes importantes parasitas.

Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar variações populacionais na distribuição espacial e temporal de populações do gênero *Meloidogyne* e *Pratylenchus* em raízes de cana-de-açúcar em áreas irrigada e não irrigada.

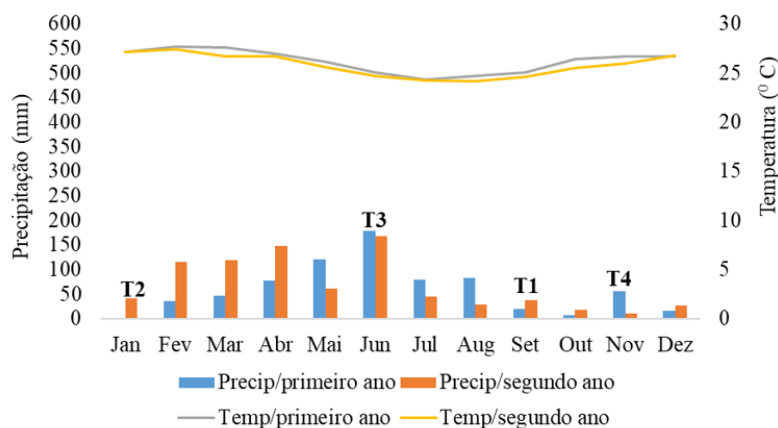
MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os estudos foram realizados em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, na Usina Cruangi II (07°30'19"S e 35°19'06"W), no município de Timbaúba, localizado na mesorregião da Mata Norte do Estado de Pernambuco, entre setembro de 2014 e novembro de 2015. As áreas para o estudo foram escolhidas com base no histórico da usina em relação a problemas com fitonematoides. As coletas foram realizadas em duas áreas, sendo uma não irrigada e a outra irrigada por meio de aspersão, efetuada empiricamente, ao longo do ciclo de cultivo, apenas para manutenção da cultura. O clima foi caracterizado de acordo com a classificação climática de Köppen (Alvares *et al.*, 2013) em As: quente e úmido, com chuvas de outono a inverno, e temperaturas que variam em torno de 25°C (Fig. 1).

Amostragem do solo

A amostragem foi efetuada em duas áreas: Área 1 - Tabuleiro irrigado; Área 2 - Tabuleiro não irrigado, por ocasião da renovação do canavial, em quatro períodos: um mês antes do plantio da cana, quando não havia cultura na área (setembro/2014) (T1), aos 4 (T2) e 9 (T3) meses após plantio, e aos 14 (T4) meses, por ocasião da colheita (Fig. 1). Em cada área, foi delimitada uma malha de 36 pontos com espaçamento de



T1 - um mês antes do plantio da cana-de-açúcar; T2 - 4 meses; T3 - 9 meses; T4 - 14 meses.

Figura 1. Distribuição mensal da precipitação e temperatura média de 2014 e 2015 no município de Timbaúba no Estado de Pernambuco.

Tabela 1. Caracterização física dos solos nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar na Usina Cruangi II (Timbaúba, PE).

Áreas	Composição Granulométrica (%)						GF (%)	Densidade (g/cm ³)	P (%)	Umidade (%)	CH (cm/h)
	Areia	Argila	Silte	Silte/ Argila	Argila/ Nat	Classif, Textural Areia					
1	87,40	7,10	5,50	0,77	3,60	Franca	49,29	1,42	44,53	3,53	24,11
2	89,40	6,60	4,00	0,61	2,60	Areia	60,61	1,48	43,08	2,30	30,24

Área 1 - Tabuleiro Irrigado; Área 2 - Tabuleiro não irrigado; GF - Grau de flocculação; P - Porosidade; Umidade (%) - Água Disponível; CH - Condutividade Hidráulica.

Tabela 2. Caracterização química de solos de áreas cultivadas com cana-de-açúcar na Usina Cruangi II (Timbaúba, PE).

Áreas	pH	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺² + Mg ⁺²	Ca ⁺²	Al ⁺³	H + Al	C, O	M, O
	(água-1:2,5)	(mg/dm ³)								
			Cmol ₀ /dm ³							g/kg
1	6,9	41	0,05	0,14	4,50	2,40	0,00	2,43	8,60	14,83
2	6,4	22	0,04	0,12	3,40	2,20	0,10	2,93	7,02	12,11

Área 1 - Tabuleiro Irrigado; Área 2 - Tabuleiro não irrigado; pH - Potencial hidrômetro; P - Fósforo; Na⁺ - Sódio; K⁺ - Potássio; Ca⁺² + Mg⁺² - Cálcio + Magnésio; Ca⁺² - Cálcio; Al⁺³ - Alumínio; H + AL - Hidróxido + Alumínio; C,O, - Carbono Orgânico; M,O - Matéria Orgânica.

12,5 × 12,5 m, georreferenciada com GPS (eTrex 20x, Garmin®). Foram amostrados aproximadamente 1 kg de solo deformado em cada ponto, na camada 0-25 cm. Em seguida, parte das amostras de solo foram transportadas para laboratórios para análises físicas e químicas, com o intuito de caracterizar as duas áreas (Tabelas 1 e 2), utilizando a metodologia de Donagema *et al.* (2011), enquanto que outra parte das amostras de solo foi utilizada para a extração dos nematoides.

Extração dos nematoides

Foram coletadas e processadas 144 amostras de solo nos quatro diferentes períodos, totalizando 280 amostras. O processamento das amostras de solo seguiu a metodologia de Jenkins (1964). As suspensões de nematoides obtidas das amostras foram mantidas sob refrigeração (4 a 6°C), realizando-se a contagem de espécimes do gênero *Meloidogyne* e *Pratylenchus* com o auxílio de lâminas de Peters sob microscópio de luz, utilizando-se a média de duas leituras. A identificação foi realizada somente em nível de gênero e fundamentou-se na morfologia e biometria do nematoide, conforme chaves de identificação de Mai *et al.* (1996) e Mekete *et al.*

(2012).

Análise estatística e geoestatística

Os dados das contagens de *Meloidogyne* e *Pratylenchus* foram submetidos à análise descritiva, sendo avaliados quanto à distribuição Normal, através do teste de aderência à normalidade de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância e os que apresentaram elevados coeficientes de variação sofreram transformação logarítmica log(x+1). A estrutura da dependência espacial do número de nematoides foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas. A análise geoestatística dos dados foi realizada com os valores obtidos por meio de contagem dos nematoides nas diferentes épocas de amostragem. Foi utilizado o programa GS+ - Geostatistics for the Environmental Sciences (Robertson, 1998), para estudo da estrutura de dependência espacial, através de semivariogramas construídos com base nas semivariâncias experimentais estimadas por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que γ^* é o valor da semivariância estimada a partir dos dados experimentais; $N(h)$ é o número de pares de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separadas por uma distância h (Journel e Huijbregts, 1978).

Os parâmetros do semivariograma teórico foram representados através do alcance (a), patamar ($C_1 + C_0$) e efeito pepita (C_0), ajustados de modo a minimizar os erros quadráticos médios, considerando o modelo matemático esférico, gaussiano e exponencial. A avaliação do grau de dependência espacial (GDE) foi realizada observando-se a proporção do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C_1$), adotando-se a seguinte classificação: forte ($GDE < 25\%$), moderada ($25 < GDE \leq 75\%$) e fraca ($GDE > 75\%$) (Cambardella *et al.*, 1994).

Os modelos ajustados foram submetidos à validação cruzada, utilizando-se o critério de Jack-Knifing (Vauclin *et al.*, 1983), observando-se os valores médios dos erros normalizados, os quais devem estar próximo a zero e com desvio padrão próximo à unidade, sendo também observado o valor do coeficiente de determinação (R^2). Em seguida, foi efetuada a krigagem dos dados sob a hipótese da krigagem ordinária no modelo GEO-EAS (Englund e Sparks, 1991). Os mapas que representam a distribuição espacial foram confeccionados com o auxílio do software Surfer 7.0 (Golden Software, 1999). Para os semivariogramas que apresentaram efeito pepita puro, foram construídos mapas pelo método do inverso do quadrado da distância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações climáticas das áreas amostrais durante o estudo mostraram precipitação média de 238 mm para as duas áreas amostradas. A temperatura variou de 20 a 31 °C, com a maior precipitação em T3, em contraste com T1 e T4 (Fig. 1). O resumo da estatística descritiva dos dados referentes às populações dos dois gêneros de nematoides nos quatro períodos de coleta encontra-se na Tabela 3.

As densidades populacionais de ambos os gêneros estudados foi relativamente baixa se comparado ao limiar econômico de 2500 de *P. zeae* por 50 g de raízes de cana-de-açúcar descrito por Dinardo-Miranda *et al.* (2008) em áreas de cultivos de cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil, onde o solo e as temperaturas são mais

favoráveis à cultura e, consequentemente, aos fitonemátoides. No entanto, na região Nordeste, e particularmente nas áreas de estudo, o cultivo em solos arenosos e o estresse por altas temperaturas e déficits hídricos restringem o desenvolvimento das plantas como também a tolerância aos nematoides (Li *et al.*, 2014). Assim, é esperado um baixo nível populacional de fitonemátoides, seja pela redução da oferta de raízes para alimentação do parasito, seja pela perturbação do equilíbrio natural da cadeia alimentar do solo devido ao estresse promovido pelas altas temperaturas e baixa disponibilidade de água (Cardoso *et al.*, 2016).

Em relação aos espécimes do gênero *Meloidogyne*, o modelo exponencial proporcionou o melhor ajuste para a maioria das amostragens nas duas áreas estudadas (Fig. 2). Os valores obtidos para o efeito pepita, patamar, alcance, covariância, média e desvio padrão encontram-se na Tabela 4.

A ocorrência de maiores alcances (a) de *Meloidogyne* na área irrigada deve estar associado ao fato da irrigação promover a continuidade do bulbo de umedecimento nas faixas molhadas, principalmente em solos arenosos, propiciando o forte grau de dependência espacial (GDE) observado. O efeito pepita puro (C_0) é menor na área não irrigada, mostrando que a irrigação aumenta a variabilidade em micro escala na concentração de *Meloidogyne*. O patamar ($C_0 + C_1$) é maior na área irrigada, concordando que a irrigação tende a incrementar o grau de variabilidade da concentração do nematoide (Tabela 4). Resultados semelhantes foram observados por Brida *et al.* (2016) em estudo de variabilidade espacial de *M. javanica* em soja, bem como por Dinardo-Miranda e Fracasso (2009) em estudos com *M. javanica* em áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

Para o gênero *Pratylenchus*, os semivariogramas foram ajustados por meio dos modelos esféricos e exponenciais (Fig. 3). Os valores relativos ao efeito pepita, patamar, alcance, covariância, média e desvio padrão, nas duas áreas amostradas encontram-se na Tabela 5.

Observa-se nas análises dos semivariogramas que, de maneira geral, os pontos amostrais apresentam independência em relação às concentrações dos espécimes do gênero *Pratylenchus* na escala de amostragem adotada, embora, ao longo do experimento, a dependência

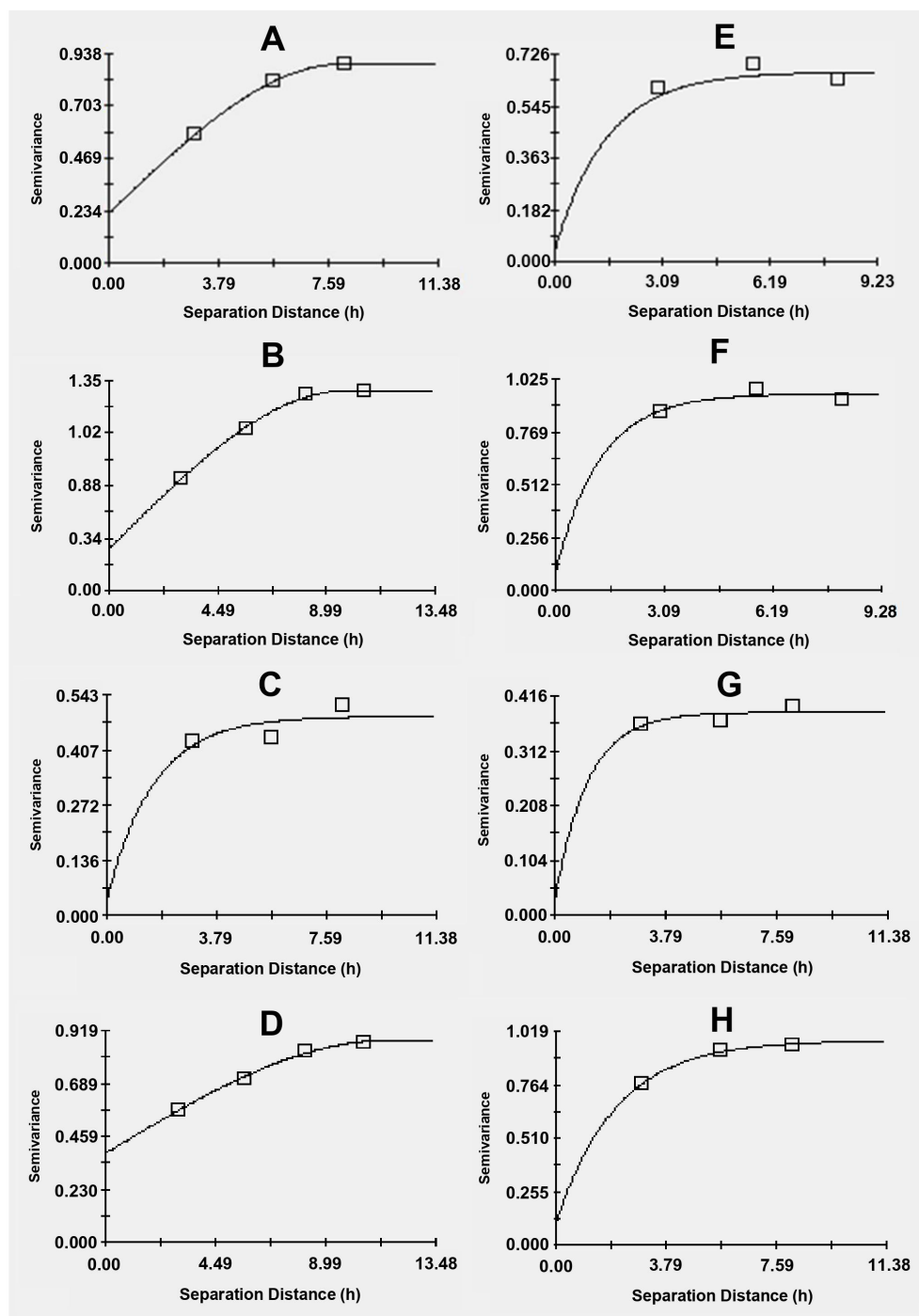
Tabela 3. Estatística descritiva da quantidade de espécimes dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* e o coeficiente de variação após transformação Log (x+1) na região do Litoral Norte do Estado de Pernambuco.

Áreas	<i>Meloidogyne</i>				<i>Pratylenchus</i>			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
<i>Área 1</i>								
Média	98,61	196,02	390,06	79,44	359,94	156,08	326,86	138,69
Variância	9452,64	2091,18	139536,85	5160,43	71043,37	16961,16	70109,27	12011,76
Desvio								
Padrão	97,22	174,18	373,55	71,84	266,54	130,24	264,78	109,60
Curtose	0,41	2,83	1,96	-0,09	1,08	1,22	3,16	1,40
1,º Quartil	27,50	127,39	118,75	30,00	181,75	64,50	132,75	60,00
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00
Mediana	69,00	144,05	266,00	60,00	283,00	112,50	272,00	120,00
Máximo	360,00	539,50	1596,00	250,00	1080,00	495,00	1232,00	486,00
3,º Quartil	147,00	231,62	545,00	128,50	439,00	210,00	480,00	206,25
Amplitude	360,00	549,50	1596,00	250,00	1050,00	465,00	1232,00	486,00
Ampl,								
Inter, Q	119,50	154,23	426,25	98,50	257,25	145,50	347,25	146,25
Erro Max								
ABS	0,12	0,10	0,12	0,11	0,10	0,14	0,08	0,08
<i>Área 2</i>								
Média	144,56	238,08	443,31	98,39	149,16	147,33	445,67	219,78
Variância	18351,05	104225,79	348360,68	14903,27	1539,92	12855,49	68729,49	90510,63
Desvio								
Padrão	135,47	322,84	590,22	122,08	122,65	113,38	262,16	300,85
Curtose	0,78	25,41	7,67	9,50	6,44	0,37	3,72	20,20
1,º Quartil	59,75	106	104,75	0,00	122,74	80,00	277,50	64,50
Mínimo	0,00	0	0	0,00	135,10	0,00	78,00	0,00
Mediana	100,50	180	286	66,00	115,09	142,50	409,50	132,00
Máximo	525,00	1978	2759	630,00	169,28	440,00	1404,00	1760,00
3,º Quartil	187,75	250	465,75	148,50	121,91	202,50	570,00	245,00
Amplitude	525,00	1978	2759	630,00	264,18	440,00	1326,00	1760,00
Ampl,								
Inter, Q	128,00	144	361	148,50	122,50	292,50	180,50	109,17
Erro Max								
ABS	0,13	0,2	0,2	0,18	0,07	0,05	0,21	0,11

espacial tenha ocorrido entre os pontos amostrais com maiores alcances. Nesses pontos, a maior proporção de dependência espacial foi maior na área irrigada do que na área não irrigada, uma vez que a irrigação favorece a continuidade da faixa de umedecimento. Verifica-se que o patamar (C0+C1) também é maior na área irrigada, corroborando que a irrigação tende a incrementar os graus de variabilidade da concentração de *Pratylenchus* (Tabela 5). Resultados semelhantes foram relatados por Freitas *et al.* (2019) em estudos da distribuição espacial de *P. brachyurus* em área de cultivo de soja no Estado do Maranhão.

O efeito pepita puro que foi observado nos períodos T1 e T2 na área 1 e T1, T2 e T3 na área 2 para *Pratylenchus* reflete a independência

espacial, indicando que é preciso que se use um espaçamento menor do que foi utilizado no experimento para que seja possível realizar a caracterização da dependência espacial dos isolados de *Pratylenchus*. Considerando que o número de amostras influi diretamente na geração de mapas por krigagem; um maior número de amostras, além do menor espaçamento, poderia permitir a construção de um mapa mais detalhado, mesmo se a população do nematoide estiver baixa. A construção de mapas confiáveis desde T1 poderá direcionar com maior precisão o manejo um mês antes do plantio, reduzindo a população inicial do nematoide antes do plantio, já que após, a população tende a aumentar (Maranhão *et al.*, 2018).



Períodos: T = A e E; T2 = B e F; T3 = C e G; T4 = D e H

Figura 2. Semivariogramas teórico e experimental do número de espécimes do gênero *Meloidogyne* em solo cultivado com cana-de-açúcar em área 1 (A, B, C, D) e em área 2 (E, F, G, H) da Usina Cruangi II, em quatro diferentes épocas de amostragens.

Para os semivariogramas experimentais de ambos os gêneros de nematoide que possuíam valores de efeito pepita puro, foram

construídos mapas de distribuição por meio do método do inverso do quadrado da distância (Fig. 4 e 5). Os mapas obtidos permitiram visualizar

Tabela 4. Parâmetros dos semivariogramas teóricos e validação cruzada de *Meloidogyne*.

						Jack-Knifing	
Coleta	Modelo	C ₀	C ₁	A	GDE	Média	DP
Área 1							
T1	Esférico	0,2222	0,8920	8,070	Forte	0,012	0,936
T2	Exponencial	0,2680	1,2900	9,800	Forte	0,025	1,218
T3	Exponencial	0,0350	0,4900	4,830	Forte	-0,18	1,07
T4	Esférico	0,3850	0,8750	11,48	Moderada	-0,036	0,966
Área 2							
T1	Exponencial	0,038	0,6640	4,49	Forte	0,043	0,997
T2	Exponencial	0,086	0,9520	3,78	Forte	-0,028	0,902
T3	Exponencial	0,024	0,3850	3,39	Forte	0,020	1,02
T4	Exponencial	0,097	0,9750	6,15	Forte	-0,017	1,01

Área 1 - Tabuleiro Irrigado; Área 2 - Tabuleiro não irrigado; C₀ - Efeito Pepita Puro; C₁ - variância estrutural; a - alcance; GDE - Grau de dependência Espacial; Parâmetros J-K - Parâmetros de Jack-Knifing; DP - Desvio Padrão.

Tabela 5. Parâmetros dos semivariogramas teóricos e validação cruzada de *Pratylenchus*.

Coleta	Modelo	C ₀	C ₁	A	GDE	Jack-Knifing	
						Média	DP
Área 1							
T1	Pepita puro						
T2	Pepita puro						
T3	Esférico	0,1551	0,4410	8,040	Moderada	-0,042	1,008
T4	Exponencial	0,0130	0,5980	4,580	Forte	-0,028	0,791
Área 2							
T1	Pepita puro						
T2	Pepita puro						
T3	Pepita puro						
T4	Exponencial	0,034	0,4120	2,97	Forte	0,013	0,950

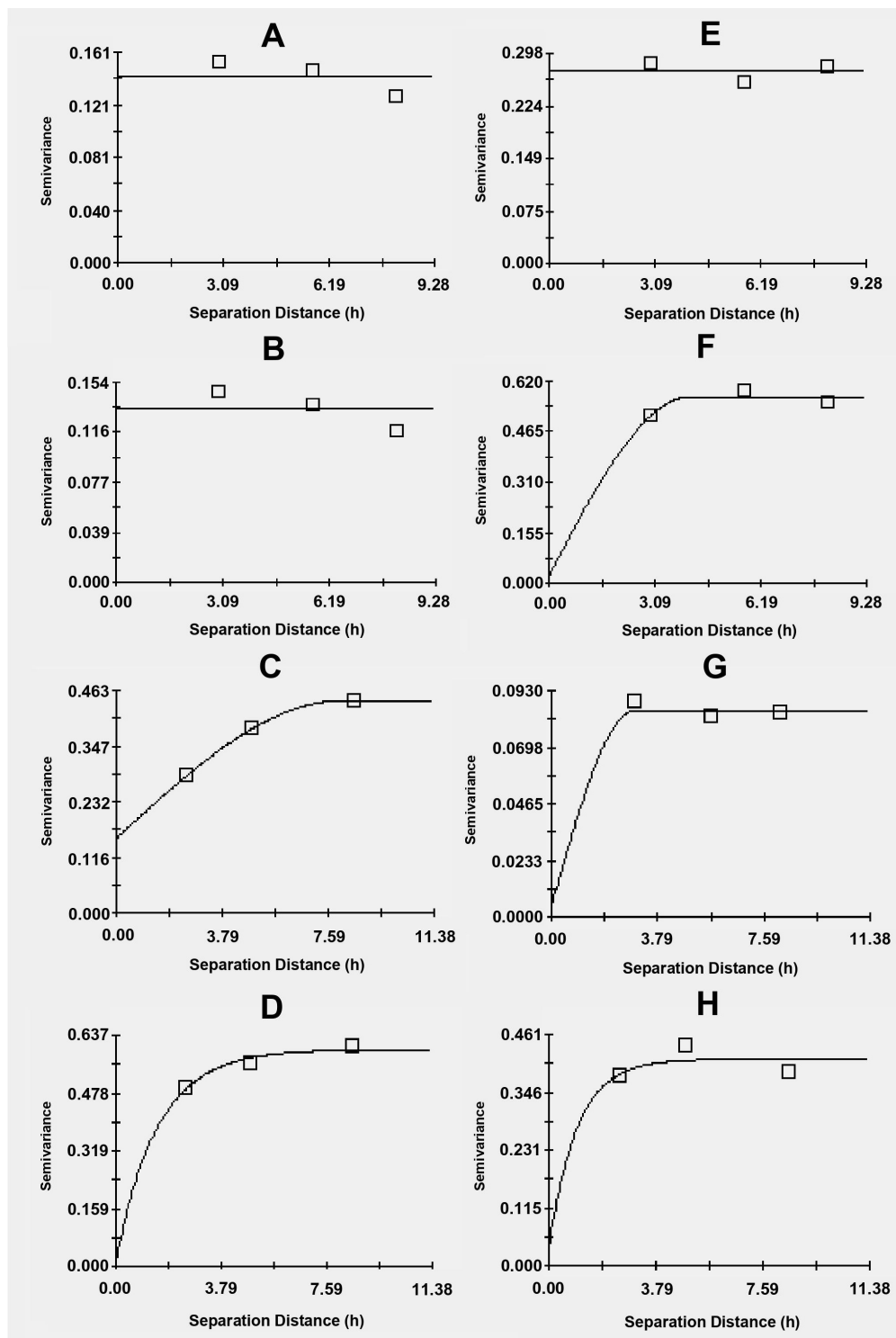
Área 1 - Tabuleiro Irrigado; Área 2 - Tabuleiro não irrigado; C₀ - Efeito Pepita Puro; C₁ - variância estrutural; a - alcance; GDE - Grau de dependência Espacial; Parâmetros J-K - Parâmetros de Jack-Knifing; DP - Desvio Padrão.

zonas de distribuição espacial distintas para cada nematoide, embora a variabilidade espacial de ambos os gêneros tenha apresentado aumento gradual entre as amostragens (Fig. 4 e 5).

Em relação à mudança na distribuição de *Meloidogyne* nas áreas 1 e 2, destaca-se o período T3 na área 2, o que corresponde à elevada população do nematoide (Fig. 4) associada à maior precipitação (Fig. 1). A elevada quantidade de *Meloidogyne* observada no período T3 ocorreu posteriormente à época de período chuvoso, que é uma condição favorável à reprodução do uma condição corroborando Pezzoni-Filho et al. (2018) em estudos com *M. exigua* raça 3. Outros

estudos também demonstram que a disponibilidade de água no solo é o principal fator que impulsiona a densidade populacional dos nematoides (Kardol et al., 2010; Thakur et al., 2017).

Apesar de os nematoides do gênero *Pratylenchus* terem hábito migratório e Fujimoto et al. (2010) relatarem uma possível interação da chuva com o estabelecimento do parasitismo, há também o fator de estímulo da planta hospedeira, a qual ativa mecanismos neuromusculares nas formas infectivas, aumentando as chances de parasitismo, conforme visto em Francilino et al. (2017), que conduziram ensaios com *P. coffeae*.



Períodos: T = A e E; T2 = B e F; T3 = C e G; T4 = D e H

Figura 3. Semivariogramas teórico e experimental do número de espécimes do gênero *Pratylenchus* em solo cultivado com cana-de-açúcar na área 1 (A, B, C, D) e na área 2 (E, F, G, H) da Usina Cruangi II, em quatro diferentes épocas de amostragens.

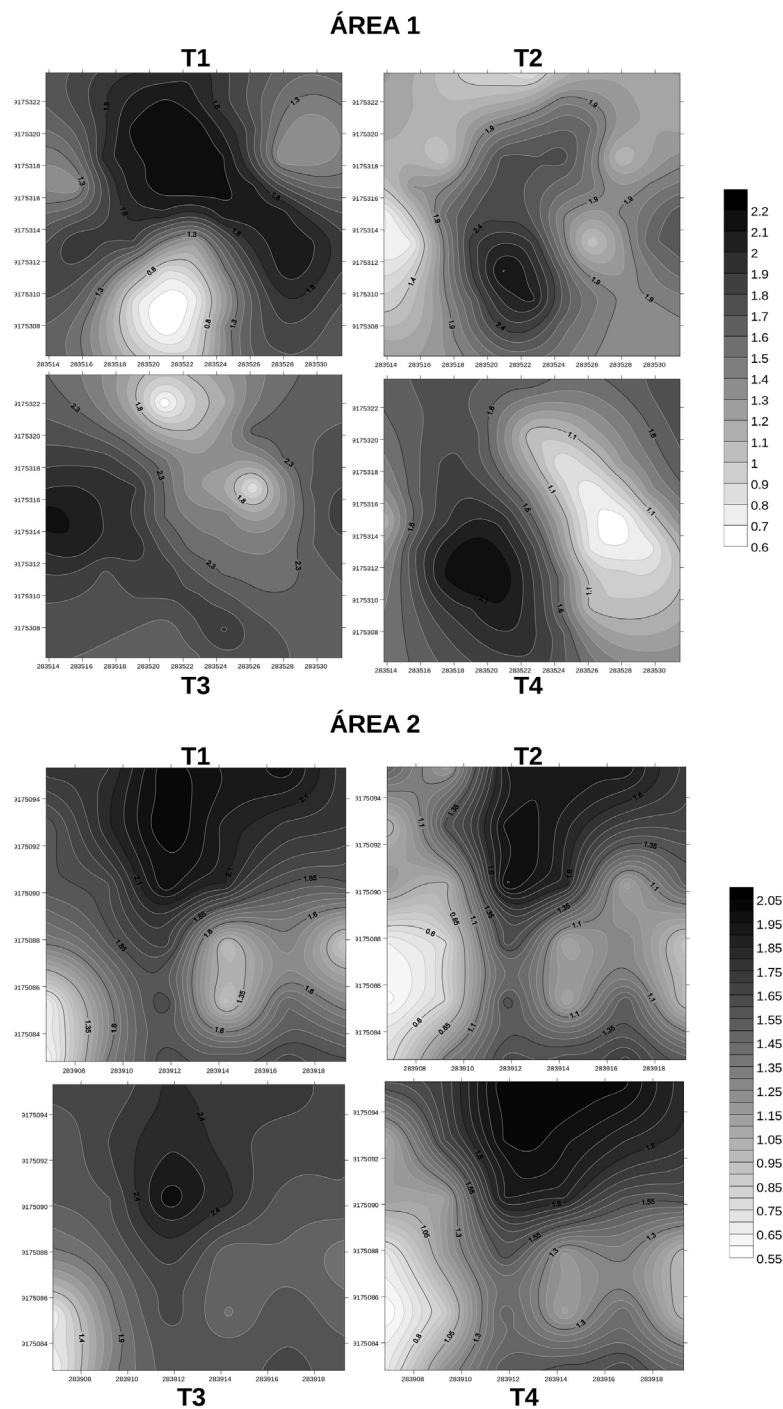


Figura 4. Mapas de contorno que representam o número de espécimes do gênero *Meloidogyne* nas quatro épocas de amostragens nas áreas 1 e 2 da Usina Cruangi II (Timbaúba, PE).

Além de favorecer os microambientes no solo para o desenvolvimento dos nematoides, por meio do aumento da disponibilidade de água no solo (Song *et al.*, 2016), a irrigação interfere em outras propriedades físicas do solo, a exemplo da

porosidade, favorecendo a mobilidade e elevação da densidade populacional desses parasitas (Cardoso *et al.*, 2016).

Informações das complexas interações de populações fitonematoides com o solo e a planta

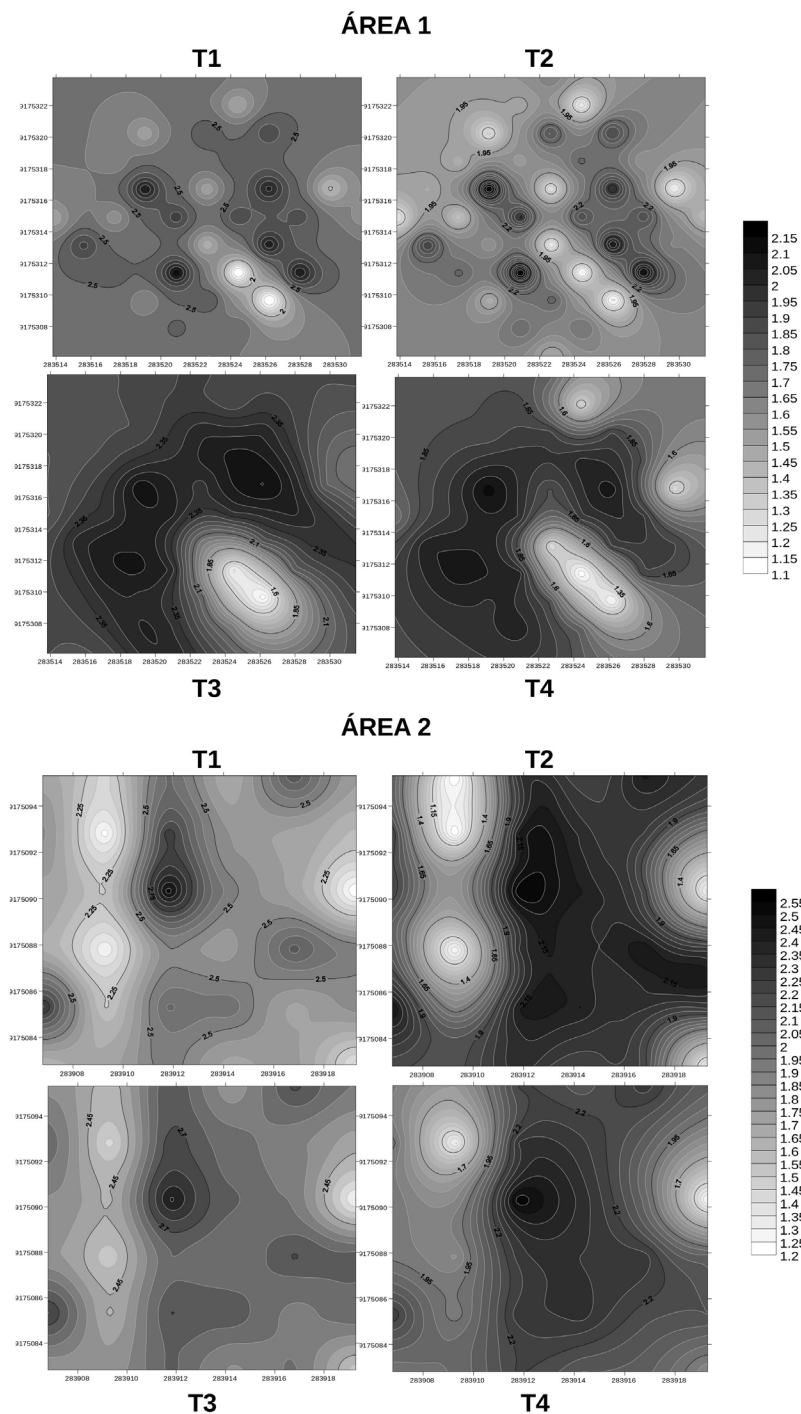


Figura 5. Mapas de contorno que representam o número de espécimes do gênero *Pratylenchus* nas quatro épocas de amostragens nas áreas 1 e 2 da Usina Cruangi II (Timbaúba, PE).

hospedeira utilizadas em conjunto com a geoestatística constituem importante ferramenta nas tomadas de decisões para o manejo de nematoides em plantios de cana-de-açúcar. Em solos arenosos com altas temperaturas e baixa

disponibilidade de água, como no caso dos tabuleiros costeiros da área de estudo; devido ao hábito sedentário, os nematoides do gênero

Meloidogyne tendem a ficarem mais agregados nas faixas molhadas, permitindo um

manejo mais localizado e uma provável maior eficiência de produtos nematicidas aplicados por irrigação. Por exemplo, estudos de fertirrigação com vinhaça demonstraram efeito supressor da vinhaça em populações de *Meloidogyne* no solo (Pedrosa et al., 2005). Por outro lado, o manejo de nematoides de hábito migrador, como é o caso de *Pratylenchus*, irá requerer um manejo mais amplo, ou um maior número de amostras para melhor eficiência.

Baseando-se nos resultados obtidos, conclui-se que a irrigação afeta a distribuição espacial de populações de fitonematoides, mas o efeito varia com o tipo do nematoide. Além disso, nos endoparasitas do gênero *Meloidogyne* a irrigação auxilia como agente de agregação e nos endoparasitas do gênero *Pratylenchus* atua permitindo sua disseminação na área ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., J. L. Stape, P. C. Sentelhas, J. L. De Moraes Gonçalves, and G. Sparovek. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:711-728.
- Barbosa, B. F. F., J. M. Santos, P. L. M. Soares, and J. C. Barbosa. 2009. Avaliação comparativa da agressividade de *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* à variedade SP 911049 de cana-de-açúcar. *Nematologia Brasileira* 33:243-247.
- Barros, A. C. B.; R. M. Moura, and E. M. R. Pedrosa. 2005. Estudo de interação variedade-nematicida em cana-de-açúcar em solo naturalmente infestado por *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus zeae*. *Nematologia Brasileira* 29:39-46.
- Barros, P. A.; E. M. R. Pedrosa; E. F. F. Silva; J. H. Miranda; M. M. Rolim; M. F. L. David. 2016. Dinâmica populacional de fitonematoides sob regimes de fluxo de água em colunas de solo. *Nematropica* 46:244-260.
- Barros, P.A.; E. M. R. Pedrosa; M. O. Cardoso; and M. M. Rolim. 2017. Relationship between soil organic matter and nematodes in sugarcane fields. *Semina. Ciências Agrárias* 38:551-560.
- Bellé, C., S. Kulczynski, P. R. Kuhn, L. P. Donini, and C. B. Gomes. 2017. Reaction of sugarcane genotypes to parasitism of *Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus zeae*. *Revista Caatinga* 30:530-535.
- Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Karlen, R. F. Turco, and A. E. Konopk. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal* 58:1501-1511.
- Campos, P. F., J. Alves Júnior, D. Casaroli, P. R. Fontoura, and A. W. P. Evangelista. 2014. Variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar no cerrado goiano. *Engenharia Agrícola* 34:1139-1149.
- Cardoso, M. S. O., E. M. R. Pedrosa, M. M. Rolim, L. S. C. Oliveira, and A. N. Santos. 2016. Relationship between nematode assemblages and physical properties across land use types. *Tropical Plant Pathology* 41:107-114.
- Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). 2020. Acompanhamento da safra brasileira. Cana-de-açúcar. v. 7 - Safra 2019/20, Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Brasília. 62p.
- Coolen, W. A., and C. J. D'Herde. 1972. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. Ghent: State Agriculture Research Centre, 77p.
- Dias-Arieira, C. R., D. A. Santos, E. R. Souto, F. Biela, F. M. Chiamolera, T. P. L. Cunha, S. M. Santana, and H. H. Puerari. 2010. Reação de variedades de cana-de-açúcar aos nematoides-das-galhas. *Nematologia Brasileira* 34:198-203.
- Dinardo-Miranda, L. L., A. C. M. Vasconcelos, and M. G. A. Landell. 2008. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 882p.
- Dinardo-Miranda, L. L., and J. V. Fracasso. 2009. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. *Scientia Agrícola* 66:188-194.
- Dinardo-Miranda, L. L., J. V. Fracasso, and I. D.

- Miranda. 2019. Danos causados por *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus zeae* a cultivares de cana-de-açúcar. *Summa Phytopathologica* 45:146-156.
- Donagema, G. K., D. V. B. Campos, S. B. Calderano, W. G. Teixeira, and J. H. M. Viana. 2011. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 225p.
- Englund, E. J., and A. Sparks. 1991. Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). Users's guide. Las Vegas: U.S. Environmental Monitoring Systems Laboratory, EPA/600/4-88/033a.
- Ferraz, L. C. C. B., and D. J. F. Brown. 2016. Nematologia de plantas: fundamentos e importância. Manaus: Norma, 251p.
- Ferreira, R. J., P. L. M. Soares, R. B. Carvalho, J. M. Santos, E. S. P. Batista, and J. C. Barbosa. 2017. Espécies de *Bacillus* no controle de nematoides das galhas e no desenvolvimento de cana-de-açúcar. *Nematropica* 47:106-113.
- Francilino, A. H., E. M. R. Pedrosa, E. F. F. Silva, M. M. Rolim, M. S. O. Cardoso, and S. R. V. L. Maranhão. 2017. Effects of water flow, plant-based baits, and soil pore volume on *Pratylenchus coffeae* mobility. *Nematropica* 47:63-73.
- Freitas, J. R. B., D. B. Teixeira, M. R. Moitinho, J. F. Silva Júnior, D. S. Siqueira, B. F. F. Barbosa, P. L. M. Soares, and G. T. Pereira. 2019. Distribuição espacial de *Pratylenchus brachyurus* em área de soja no leste do Maranhão. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14:e5627.
- Fujimoto, T., S. Hasegawa, K. Otake, and T. Mizukubo. 2010. The effect of soil water flow and soil properties on the motility of second-stage juveniles of the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Soil Biology e Biochemistry* 42:1065-1072.
- Golden Software. 1999. 619 p. Surfer 7.0 – User's Guide. New York: Golden Software.
- Inomoto, M. M. 2016. Manejo cultural de nematoides. Pp. 257-286 in R. Galbieri, and J. L. Belot (ed.). *Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle*. Cuiabá, MT: Instituto Mato-Grossense do Algodão.
- Jenkins, W. R. 1964. A rapid centrifugal flotation technique for extracting nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 48:692.
- Journel, A. G., and C. J. Huijbregts. Mining Geostatistics. London: Academic Press, 600p.
- Kardol, P., M. A. Cregger, C. E. Campany, and A. T. Classen. 2010. Soil ecosystem functioning under climate change: plant species and community effects. *Ecology* 91:767-781.
- Li, Y., Z. Cao, C. Hu, J. Li, and H. Yang. 2014. Response of nematodes to agricultural input levels in various reclaimed and unreclaimed habitats. *European Journal of Soil Biology* 60:120–129.
- Lima, D. F. 2019. Efeito da irrigação na distribuição espacial de nematoides em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Tese de doutorado, Universidade federal Rural de Pernambuco. 81p.
- May, W. F., P. G. Mullin, H. H. Lyon, K. Loeffle. 1996. Plant-parasitic nematodes: A pictorial key to genera. 5th Ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Mekete, T., A. Dababat, N. Sekora, F. Akyazi, E. Abebe. 2012. Identification key for agriculturally important plant-parasitic nematodes Prepared for the International Nematode Diagnosis and Identification Course 2012 - A manual for nematology. CIMMYT, Mexico, D.F.
- Maranhao, S. R. V. L.; E. M. R. Pedrosa; L. M. P. Guimaraes; A. Chaves; D. A. H. S. Leitão; and T. F. S. Vicente. 2018. Nematode abundance and diversity in sugarcane fields in Brazil. *Tropical Plant Pathology* 43:485-498.
- Mitiku, M. 2018. Plant-parasitic nematodes and their management: a review. *Innovative Techniques in Agriculture* 3:558-569.
- Moura, R. M. 2018. A questão nematoide da cana-de-açúcar no nordeste e o controle integrado. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica* 15:49-57.
- Moura, R. M., E. M. R. Pedrosa, S. R. V. L. Maranhão, A. M. Moura, M. E. A. Macedo, and E. G. Silva. 1999. Nematóides associados à cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil. *Nematologia Brasileira* 23:92-99.
- Nascimento, M. R. R., W. O. P. Rodrigues, and M. M. Schlindwein. 2015. Reflexos do setor canavieiro para o crescimento econômico da microrregião de dourados em Mato Grosso

- do Sul. Organizações Rurais e Agroindustriais 17:149-162.
- Oliveira, C. S., and G. L. Asmus. 2018. Reação de cultivares de sorgo sacarino a *Meloidogyne javanica*, *Rotylenchulus reniformis* e *Pratylenchus brachyurus*. Revista de Agricultura Neotropical 5:68-73.
- Ortiz, B. V., P. Goovaerts, G. Vellidis, and D. Sullivan. 2010. Geostatistical modeling of the spatial variability and risk areas of southern root-knot nematodes in relation to soil properties. Geoderma 156:243-252.
- Pedrosa, E. M. R., P. H. S. Albuquerque, A. C. Cunha, M. M. Rolim. 2005. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 9:197-201.
- Pezzoni-Filho, J. C., A. Lima de Brida, D. A. de Campos-Moraes, S. R. Siciliano-Wilcken, C. R. Lopes-Zimback, and E. L. Furtado. 2018. *Meloidogyne exigua* (Meloidogynidae) em clones de seringueira em duas épocas do ano. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria 19:593-606
- Robertson, G. P. 1998. GS+: geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 152p.
- Santana-Gomes, S. M., C. R. Dias-Arieira, F. Biela, M. Ragazzi, L. F. Fontana, and H. H. Puerari. 2014. Crop succession in the control of *Pratylenchus brachyurus* in soybean. Nematropica 44:200-206.
- Silva, M., M. A. Bandeira, S. R. V. L. Maranhão, R. M. Carvalho, and E. M. R. Pedrosa. 2016. Comportamento de genótipos RB de cana-de-açúcar ao parasitismo dos nematoides das galhas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 11:73-79.
- Sohlenius, B., S. Boström, and M. Viketoft, 2011. Effects of plant species and plant diversity on soil nematodes – a field experiment on grassland run for seven years. Nematology 13:115–131.
- Song, M., X. Li, S. Jing, L. Lei, J. Wang, and S. Wan. 2016. Responses of soil nematodes to water and nitrogen additions in an old-field grassland. Applied Soil Ecology 102:53-60.
- Thakur, M. P., D. Tilman, O. Purschke, M. Ciobanu, J. Cowles, F. Isbell, P. D. Wragg, and N. Eisenhauer. 2017. Climate warming promotes species diversity, but with greater taxonomic redundancy, in complex environments. Science Advances 3:e1700866.
- Vauclin, M., S. R. Vieira, G. Vachaud, and D. R. Nielsen. 1983. The use of cokriging with limited field soil observations. Soil Science Society of America Journal 47:175-184. field infested with *Meloidogyne incognita*. Journal of Nematology 47(3):276-277.

Received:

28/IV/2020

Accepted for publication:

6/VIII/2020

Recibido:

Aceptado para publicación: