

## PROGRESSO E ARRANJO ESPACIAL DO MOSAICO DOURADO EM FAVA<sup>1</sup>

MARCONDES ARAÚJO DA SILVA<sup>2</sup>, GAUS SILVESTRE DE ANDRADE LIMA<sup>3</sup>, IRAILDES PEREIRA ASSUNÇÃO<sup>3</sup>, FRANCISCO FERRAZ LARANJEIRA<sup>4</sup>, SAMI JORGE MICHEREFF<sup>5\*</sup>

**RESUMO** - O mosaico dourado, originado pelo *Bean golden mosaic virus* (BGMV), causa sérios prejuízos aos produtores de fava (*Phaseolus lunatus* L.) do Nordeste brasileiro. Nessa ótica, este trabalho teve como objetivo analisar os aspectos temporais e espaciais da doença em duas áreas experimentais (A e B com 1.360 m<sup>2</sup>, cada uma) cultivadas com fava, localizadas no município de Rio Largo, Alagoas. A avaliação da incidência da doença foi realizada pela inspeção visual de todas as plantas aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP). As epidemias foram comparadas em relação à incidência inicial ( $y_0$ ), incidência máxima ( $y_{max}$ ), taxa de progresso da doença (TPD) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). O arranjo espacial da doença foi analisado pelas técnicas do mapeamento por áreas isópatas, *ordinary runs*, ajuste à distribuição beta-binomial e autocorrelação espacial. Pela análise das curvas de progresso da doença os valores foram significativamente ( $P \leq 0,05$ ) superiores na área B, possivelmente associado a maior exposição às populações de mosca-branca provenientes de áreas externas ao ensaio. A agregação dentro das linhas aumentou com o período após o plantio e incremento da incidência da doença em ambas as áreas. Na área A houve ligeira predominância da agregação dentro das linhas, enquanto na área B predominou de maneira marcante a agregação de plantas doentes nas entre linhas.

**Palavras-Chave:** *Bean golden mosaic virus*. *Phaseolus lunatus*. Epidemiologia.

## PROGRESS AND SPATIAL PATTERN OF GOLDEN MOSAIC IN FABA BEAN

**ABSTRACT** - The Golden mosaic, caused by *Bean golden mosaic virus* (BGMV), causes severe losses to faba beans (*Phaseolus lunatus* L.) growers in the Northeastern region of Brazil. This study aimed at analyzing the temporal and spatial aspects of the disease at two experimental plots (A and B with 1360 m<sup>2</sup> each) cultivated with faba beans located in Rio Largo, Alagoas. The evaluation of the disease incidence was done by visual inspection of all plants at 30, 60, 90, 120 and 150 days after planting (DAP). The epidemics were compared with respect to initial incidence ( $y_0$ ), maximum incidence ( $y_{max}$ ), rate of disease progression (RDP), and area under the disease progress curve (AUDPC). The spatial pattern of the disease was analyzed by isopath mapping, *ordinary runs*, fitting the beta-binomial distribution and spatial autocorrelation. The analysis of the progress curves showed that the epidemic was significantly ( $P \leq 0.05$ ) faster in plot B, probably associated with increased exposure to whitefly populations from areas external to assay. The within rows aggregation increased along with the period after planting and the increase in the disease incidence in both areas. In plot A, there was a slight predominance of aggregation within the rows while, in plot B, the across rows aggregation of sick plants was prevalent.

**Key words:** *Bean golden mosaic virus*. *Phaseolus lunatus*. Epidemiology.

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 09/08/2012; aceito em 09/02/2015.

<sup>2</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia/Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife/PE, Brasil, marcondesagronomo@gmail.com.

<sup>3</sup>Professor Associado da Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, BR 104 Km 85, s/n CEP 57100-000, Rio Largo/AL, Brasil.

<sup>4</sup>Pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Rua Embrapa, s/n CEP 44.380-000, Cruz das Almas/BA, Brasil.

<sup>5</sup>Professor Associado da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife/PE, Brasil, sami@depa.ufpe.br.

## INTRODUÇÃO

A região Nordeste é responsável por 97% da produção brasileira de fava (*Phaseolus lunatus* L.), atingindo, em 2013, área plantada de 24.581 ha e produção de 7.693 t. Os estados da Paraíba, Ceará e Pernambuco se destacam como principais produtores dessa leguminosa (IBGE, 2015), a qual apresenta grande potencial para fornecer proteína vegetal à população, constituindo uma fonte alternativa de alimento e de renda complementar para os pequenos agricultores (SOARES et al., 2010).

A ocorrência de doenças tem dificultado o cultivo de fava e afetado a qualidade dos grãos, resultando em sérios prejuízos aos produtores (CARVALHO et al., 2010). Entre as doenças mais importantes no Nordeste brasileiro está o mosaico dourado (CARVALHO et al., 2010), causado por membros do gênero *Begomovirus*, que possuem genoma de DNA fita simples, bipartido e transmitidos por mosca-branca (*Bemisia tabaci* Gennadius) de modo persistente (circulativo, não-propagativo) a uma ampla gama de plantas dicotiledôneas (FAUQUET et al., 2005). Vários *Begomovirus* podem causar mosaico dourado em *Phaseolus*, mas o *Bean golden mosaic virus* (BGMV) tem se destacado como o principal e único descrito nesse gênero de leguminosa no Brasil. Esse vírus provoca intenso mosaico amarelo nas plantas, podendo torná-las deformadas e anãs. As perdas podem chegar a 100% em feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) se a infecção ocorrer no início do desenvolvimento da cultura. Quanto a incidência da doença e a extensão das perdas estas variam de acordo com a população de moscas-brancas, condições ambientais e práticas culturais (GARRIDO-RAMIREZ et al., 2000).

Apesar da importância do mosaico dourado na cultura da fava não existem estudos envolvendo a epidemiologia dessa doença. O estudo epidemiológico constitui uma ferramenta importante para ampliar o entendimento de como as doenças se manifestam nos hospedeiros e como outros fatores influenciam no seu desenvolvimento. O conhecimento das características de uma epidemia, progresso temporal e arranjos espaciais possibilitam uma visão mais completa da estrutura e do comportamento de patossistemas (MADDEN et al., 2007).

A curva de progresso de uma doença é o resultado da sua dinâmica no tempo e representa o efeito de interações complexas entre hospedeiros, patógenos, vetores, ambiente e manejo cultural. Complementar ao estudo da curva de progresso o estudo do padrão espacial constitui ferramenta importante para o entendimento da dinâmica de epidemias, revelando a forma como a doença se dissemina e ajudando no desenvolvimento de programas de controle (MADDEN et al., 2007).

Em vista do desconhecimento sobre a epidemiologia do mosaico dourado da fava, o presente trabalho teve como objetivo analisar os aspectos

temporais e espaciais da doença.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Áreas experimentais e condições dos plantios

O experimento foi conduzido no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), localizado no município de Rio Largo (AL), no período de maio a dezembro de 2009. Foram estabelecidas duas áreas experimentais (A e B), cada uma com 1.360 m<sup>2</sup> (Figura 1). As áreas eram distanciadas em aproximadamente 45 m e haviam sido cultivadas com feijoeiro-comum no período anterior ao início dos experimentos. Nas bordas das áreas experimentais, na época de semeadura e durante a condução dos cultivos, haviam diversas espécies de plantas invasoras (Figura 1), como picão-grande (*Blainvillea rhomboides* Cass.), amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla* L.), guanxuma (*Sida* sp.), feijão de rolinha (*Macroptilium* spp. Benth.), calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.) e mussambê (*Cleome affinis* D.C.) descritas como hospedeiras da mosca-branca (CHAGAS et al., 1981) e em alguns casos como hospedeiras do BGMV (ASSUNÇÃO et al., 2006). Próximo das duas áreas havia plantio de milho (*Zea mays* L.) e na borda da área A plantio de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] (Figura 1).

O solo das áreas experimentais foi classificado como Latossolo Amarelo Coeso Distrófico (textura franca arenosa, de relevo plano e boa drenagem). Quanto ao preparo constou de uma aração e uma gradagem. Na adubação em fundação foram aplicados 300 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK (05-17-30) e 25 kg.ha<sup>-1</sup> do fertilizante FTE-BR 12 Nutriplant<sup>®</sup> como fonte de micronutrientes de acordo com a análise de solo.

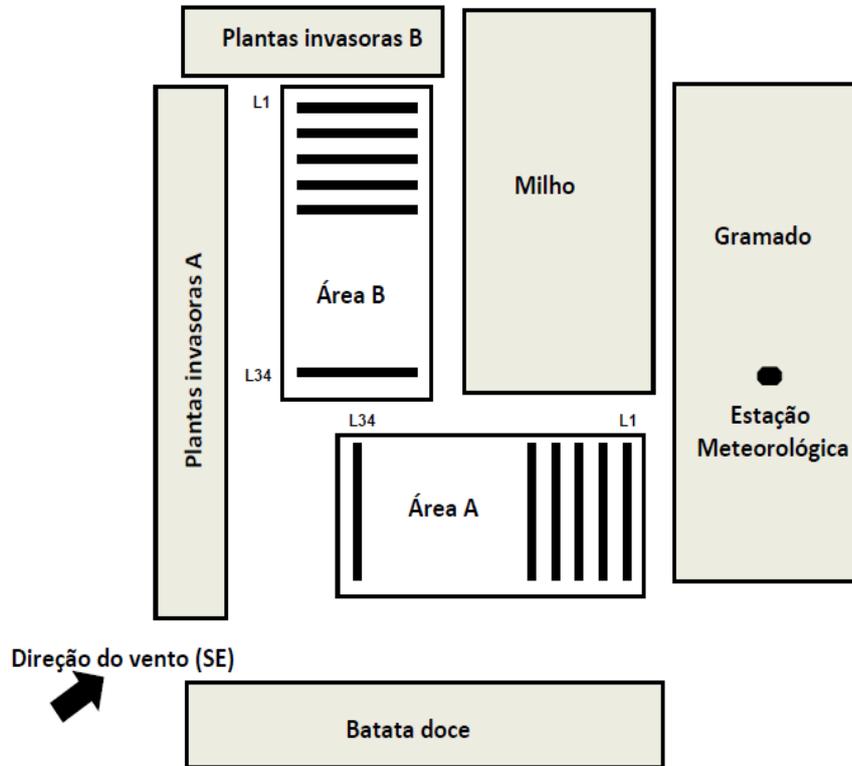
O plantio da fava (cv. Rajada) foi efetuado no mesmo dia nas duas áreas experimentais, em covas com espaçamento de 1,0 m x 1,0 m, resultando em 34 linhas x 40 plantas/linha e total de 1.360 plantas/área. Em cada cova foram distribuídas quatro sementes e o desbaste realizado três semanas após a emergência das plântulas, sendo mantida uma planta por cova. Para controlar as plantas invasoras dentro das áreas experimentais foram efetuadas capinas manuais no período anterior ao estágio de floração da fava. Durante o ciclo de cultivo não foram efetuadas pulverizações de fungicidas e inseticidas.

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e direção do vento foram registrados diariamente em estação meteorológica automática situada a 20 m das áreas experimentais.

A incidência do mosaico dourado foi quantificada pela inspeção visual de todas as plantas de cada área, uma vez que os sintomas são característicos e que o BGMV é o único *Begomovirus* relatado para essa cultura no Brasil. Em complemento, ao longo

do ensaio 50 plantas assintomáticas e 50 plantas sintomáticas foram testadas em cada área para a presença do BGMV por meio da técnica de PCR (*Polymerase Chain Reaction*), utilizando-se DNA extraído de cada planta e os *primers* PAL1v1978/

PAR1C496 descritos por Rojas et al. (1993). A composição das reações, bem como as condições de amplificação, foram as mesmas descritas por Assunção et al. (2006).



**Figura 1.** Representação esquemática das áreas de plantio de fava (A e B) utilizadas no estudo epidemiológico do mosaico dourado em Rio Largo, Alagoas.

A incidência do mosaico dourado foi avaliada aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio (DAP) em cada área de plantio. Curvas de progresso e de taxas absolutas de progresso do mosaico dourado na fava foram plotadas, utilizando-se os valores de incidência no tempo, em cada área. Os dados de incidência da doença ( $y$ ), originais ou linearizados para  $\ln(y)$ ,  $\text{monit}(y) = \ln[1/(1-y)]$ ,  $\text{logit}(y) = \ln[y/(1-y)]$  e  $\text{gompit}(y) = -\ln[-\ln(y)]$  (MADDEN et al., 2007) foram ajustados a modelos de regressão linear simples, tendo tempo em DAP como variável independente. Utilizando o melhor ajuste, foi estimada a taxa de progresso da doença (TPD), determinada pelo parâmetro  $b$  da equação de regressão. Adicionalmente, utilizando os dados originais de incidência da doença, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (MADDEN et al., 2007).

As epidemias nas duas áreas foram comparadas em relação à incidência inicial ( $y_0$ ), incidência máxima ( $y_{\text{max}}$ ), taxa estimada de progresso da doença (TPD) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), pelo teste  $t$  ao nível de 5% de probabilidade.

O arranjo espacial do mosaico dourado foi analisado através do exame visual de sintomas em

todas as plantas das áreas A e B. Os dados originais foram utilizados na caracterização do arranjo espacial pelas técnicas do mapeamento por áreas isópatas, análises de *ordinary runs*, ajuste à distribuição beta-binomial e autocorrelação espacial (MADDEN et al., 2007). Para examinar a presença de agregação espacial pelo ajuste das frequências dos dados à distribuição beta-binomial as áreas foram fracionadas em 340 quadriláteros com cada um contendo quatro plantas (2 linhas x 2 plantas).

O mapeamento por áreas isópatas foi realizado considerando a posição de cada planta (sintomática e assintomática) na área com o auxílio do programa SURFER 6.04 (Golden Software Inc., Golden, Colorado, USA, 1997).

Com a análise de *ordinary runs* foi investigada a existência de agregação entre plantas sintomáticas imediatamente adjacentes dentro de cada linha e entre linhas. Um *run* ( $U$ ) foi descrito como a sucessão de uma ou mais plantas sintomáticas ou assintomáticas. O número esperado de *runs*  $E(U)$  sob a hipótese nula de aleatoriedade foi dado por  $E(U) = 1 + [2m(N-m)/N]$ , onde  $m$  é o número de plantas com sintomas e  $N$  o número total de plantas por linha ou entre linha. O desvio padrão de  $U$ , sob a hipótese de

nulidade, foi dado por  $S(U) = \frac{(2m(N-m)) (2m(N-m) - N)}{(N^2(N-1))^{0.5}}$ . Um teste normal padrão Z, onde  $Z(U) = [U - E(U)] / S(U)$ , foi utilizado para determinar a significância da agregação de plantas sintomáticas, sendo que valores de Z menores que -1,64 ( $P=0,05$ ) indicam rejeição à hipótese de nulidade (arranjo aleatório) em favor da hipótese alternativa (arranjo agregado). Com os resultados obtidos foi calculada a porcentagem de linhas apresentando agregação entre plantas sintomáticas adjacentes dentro de cada área.

Para examinar a presença de agregação nos quadriláteros, os dados de frequência de plantas sintomáticas nos quadriláteros foram utilizados para ajuste à distribuição beta-binomial com o auxílio do programa BBD (MADDEN; HUGUES, 1994). A análise possibilita a obtenção do valor normal padrão (Z) e a respectiva probabilidade (P) para o teste  $C(\alpha)$ , associado à distribuição beta-binomial, sendo que valores de  $Z \geq 1,64$  ou  $P(Z) \leq 0,05$  indicam que o arranjo de plantas sintomáticas segue a distribuição beta-binomial (agregado), enquanto valores de  $Z < 1,64$  ou  $P(Z) > 0,05$  indicam que o arranjo de plantas sintomáticas segue a distribuição binomial (aleatório).

A presença e a orientação da agregação de plantas sintomáticas nas áreas foram examinadas pela análise de autocorrelação espacial, utilizando-se o programa LCOR2 (GOTTWALD et al., 1992). A localização espacial  $[x,y]$  de cada planta sintomática ou assintomática na área foi utilizada como dado de entrada para análise, sendo calculados: os padrões de proximidade de posições lag positivamente (SL+) e negativamente correlacionados (SL-), determinados pelo número de lags  $[x,y]$  significativamente maiores (SL+) ou menores (SL-) que o esperado pela chance a  $\mu = 0,05$ ; o tamanho de “cluster” principal de SL+,

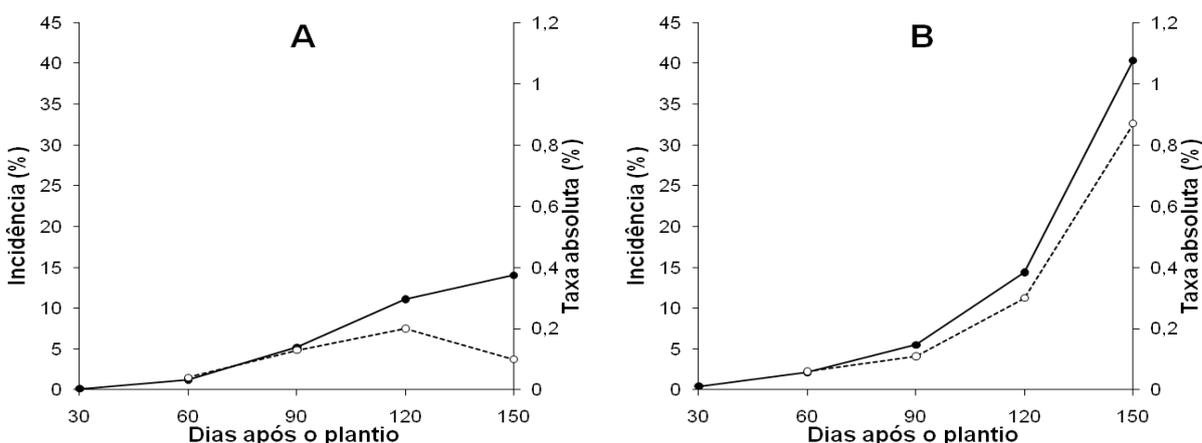
obtido pelo número de SL+ contíguos à posição lag  $[0,0]$  que forma um grupo discreto; a força de agregação, determinada pelo número de SL+ no “cluster” principal dividido pelo número total de SL+; e a orientação da agregação, definida pelo número de SL+ entre plantas adjacentes dentro das linhas (linha) e entre linhas (colunas), contíguos com a posição de origem, definida pelo lag  $[0,0]$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o experimento a temperatura média foi de  $24,2 \pm 1,4$  °C, a umidade relativa do ar média de  $86,2 \pm 5,0$  %, precipitação total de 1.688,4 mm e vento predominante na direção Sudeste (Figura 1).

Nenhum produto de amplificação foi observado nas amostras de DNA provenientes de plantas de fava assintomáticas, ao contrário do verificado em plantas sintomáticas, demonstrando que a inspeção visual dos sintomas é suficiente para identificar plantas infectadas pelo BGMV.

Pela análise das curvas e taxas absolutas de progresso do mosaico da fava (Figura 2) verificou-se que até 90 DAP a doença apresentou comportamento similar nas duas áreas, mas a partir dos 120 DAP houve aumento acentuado da incidência da doença na área B, comparado ao verificado na área A. Essa diferença pode ser decorrente do aumento da população da mosca-branca nas parcelas com plantas invasoras próximas a área B. Essa hipótese é sustentada ainda pela redução da precipitação pluviométrica e elevação da temperatura (BYRNE; BELLOWS JR., 1991), aliados a direção do vento, o que foi registrado a partir de meados do mês de setembro, que correspondeu aos 120 DAP.



**Figura 2.** Curvas de progresso (linhas inteiras) e taxas absolutas de progresso (linhas pontilhadas) da incidência do mosaico dourado em duas áreas de plantio de fava (A e B) em Rio Largo, Alagoas.

O progresso da doença foi melhor descrito pelo modelo de Gompertz, no qual o tempo em DAP foi utilizado como variável independente e os dados de incidência em proporção (y) linearizados pela transformação  $y = -\ln[-\ln(y)]$  como variável depen-

dente. Esse modelo permitiu excelente ajuste das curvas para as duas áreas analisadas, com valores de  $R^2$  de 96,4% e 95,7% nas áreas A e B, respectivamente (Tabela 1). O modelo Logístico propiciou excelente ajuste aos dados da curva de progresso da

doença na área B ( $R^2 = 99,3\%$ ), mas um ajuste inferior na área A ( $R^2 = 90,5\%$ ), além de apresentar, nesta área, um valor elevado de Quadrado Médio do Resíduo (0,48657), motivo pelo qual não foi selecionado.

Segundo Madden et al. (2007), os parâmetros da curva de progresso não podem ser comparados utilizando-se diferentes transformações.

**Tabela 1.** Comparação de modelos para descrever as curvas de progresso do mosaico dourado em duas áreas de plantio de fava, Rio Largo, Alagoas.

Modelo <sup>a</sup>	Área A		Área B	
	R <sup>2</sup> (%) <sup>b</sup>	QMR <sup>c</sup>	R <sup>2</sup> (%)	QMR
Linear	96,1	0,00019	78,5	0,00777
Exponencial	89,6	0,50215	98,9	0,04566
Monomolecular	95,8	0,00024	74,2	0,01557
Logístico	90,5	0,48657	99,3	0,03291
Gompertz	96,4	0,01212	95,7	0,02724

<sup>a</sup>Linear ( $y = y_0$ ); Exponencial ( $y = \ln(y)$ ); monomolecular ( $y = \ln[1/(1-y)]$ ); logístico ( $y = \ln[y/(1-y)]$ ); gompertz ( $y = -\ln[-\ln(y)]$ ) (MADDEN et al., 2007).

<sup>b</sup>Coefficiente de determinação.

<sup>c</sup>Quadrado médio do resíduo.

As duas áreas de plantio de fava apresentaram diferenças significativas ( $P=0,05$ ) em relação a todos os componentes das curvas de progresso do mosaico dourado avaliados. A área B apresentou valores de incidência inicial ( $y_0$ ), incidência máxima ( $y_{max}$ ), taxa de progresso da doença estimada pelo modelo de Gompertz (TPD) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) significativamente superiores aos verificados na área A (Tabela 2). Esse resultado pode estar associado a maior proximidade da área B às parcelas com plantas invasoras, comprovadas hospedeiras da mosca-branca (CHAGAS et al., 1981; ASSUNÇÃO et al., 2006), que podem ter servido como reservatórios para os vetores, os quais tiveram

sua dispersão favorecida para área B pela direção predominante do vento (Figura 1). Cabe ressaltar que o vento é muito importante na disseminação da mosca-branca dentro da lavoura, uma vez que esse inseto tem pouca habilidade para dirigir o vôo (BYRNE; BELLOWS JR., 1991). Adicionalmente, algumas espécies de invasoras (*Macrotillium* spp. e *C. mucunoides*) são relatadas como hospedeiras do BGMV. O conhecimento da relação entre a distância da fonte de vírus e a incidência da doença em uma cultura suscetível é de grande importância para reduzir a incidência de virose baseada na redução de plantas fontes de vírus (GROVES et al., 2002).

**Tabela 2.** Incidência inicial ( $y_0$ ), incidência máxima ( $y_{max}$ ), taxa de progresso (TPD) e área abaixo da curva de progresso (AACPD) do mosaico dourado em duas áreas de plantio de fava (A e B), Rio Largo, Alagoas.

Área de plantio	$y_0$ <sup>a</sup> (%)	$y_{max}$ <sup>b</sup> (%)	TPD <sup>c</sup> (gompit/dia)	AACPD <sup>d</sup>
A	0,14 b <sup>c</sup>	14,04 b	0,0103 b	739,8 b
B	0,44 a	40,36 a	0,0142 a	1.273,5 a

<sup>a</sup> Avaliada aos 30 dias após o plantio, considerando a porcentagem de plantas com sintomas em relação ao total de plantas avaliadas.

<sup>b</sup> Avaliada aos 150 dias após o plantio, considerando a porcentagem de plantas com sintomas em relação ao total de plantas avaliadas.

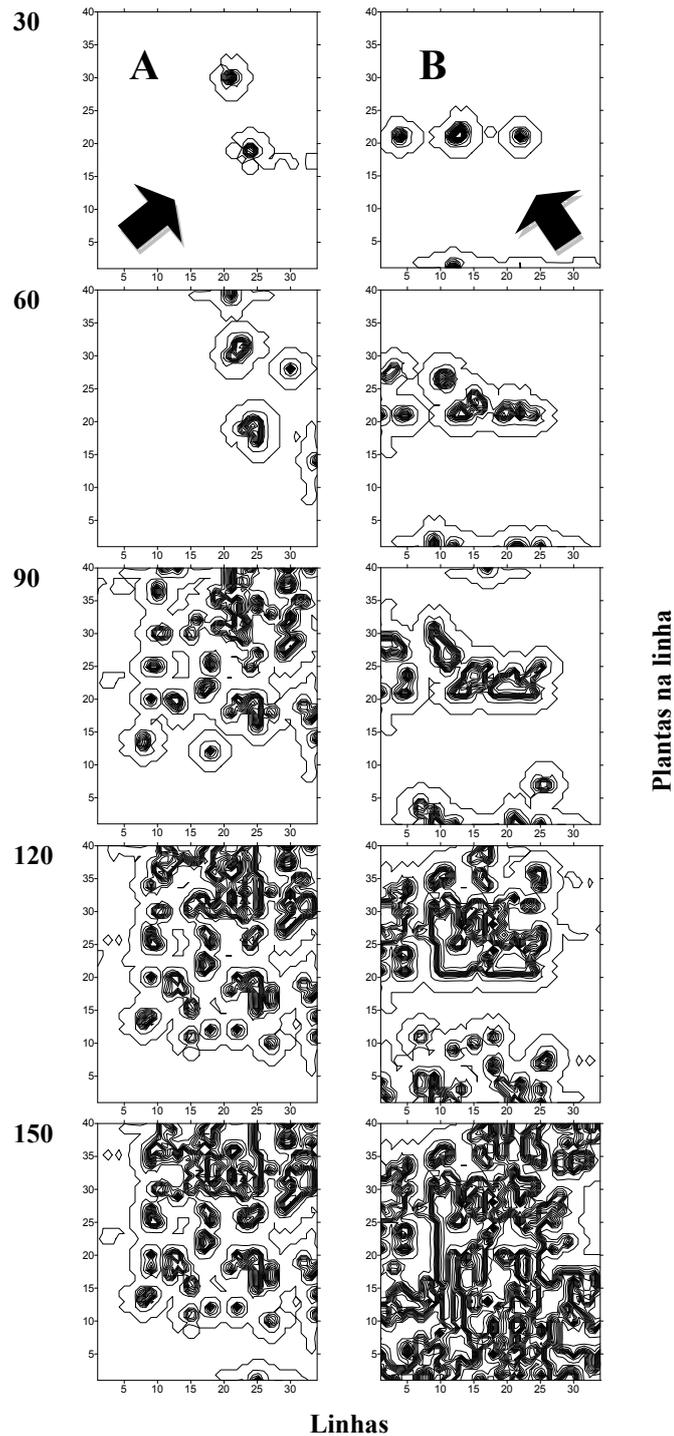
<sup>c</sup> Estimada pelo parâmetro b da equação de regressão linear simples, tendo tempo em dias após o plantio como variável independente e os dados de incidência em proporção (y), linearizados pela transformação de Gompertz [ $y = -\ln[-\ln(y)]$ ], como variável dependente (MADDEN et al., 2007).

<sup>d</sup> Calculada conforme Madden et al. (2007).

<sup>e</sup> Valores seguidos por letras distintas na coluna diferem significativamente entre si pelo teste Z para diferença entre proporções ( $P=0,05$ ).

Pelo mapeamento de áreas isópatas foi possível a distinção dos possíveis padrões de arranjo espacial da doença somente nas primeiras avaliações, até 90 DAP, quando na área A os focos de plantas com sintomas da doença foram mais evidentes dentro das linhas de plantio (entre plantas), enquanto na área B

entre as linhas de plantio (Figura 3). O mapeamento das áreas de plantio possibilitou rápida visualização do arranjo das plantas com e sem sintomas de mosaico dourado, sendo por isso considerado como o primeiro elemento de uma análise.



**Figura 3.** Mapas de áreas isópatas de dois cultivos de fava (A e B) apresentando plantas com sintomas de mosaico dourado, avaliados em cinco períodos após o plantio (30, 60, 90, 120 e 150 dias), em Rio Lago (AL). Pontos escuros indicam plantas doentes. Setas indicam direção predominante do vento (SE). Na área A a corrente de vento advém principalmente de área de plantio de batata-doce, enquanto na área B a corrente de vento advém de área com plantas invasoras hospedeiras de mosca-branca e BGMV.

Pela análise de *ordinary runs*, até 90 DAP 23,5% das linhas da área A apresentavam agregação de plantas sintomáticas, enquanto 47,1% das linhas da área B apresentavam agregação nesse período (Tabela 3). Nas duas áreas de plantio a porcentagem de linhas apresentando agregação de plantas sintomáticas dentro das linhas se elevou ao longo do tempo, sendo que na última avaliação (aos 150 DAP)

foram registrados 61,8% e 88,2% de linhas com agregação nas áreas A e B, respectivamente (Tabela 3).

Pelo ajuste à distribuição beta-binominal, considerando quadriláteros com quatro plantas, na área A somente as duas últimas avaliações (120 e 150 DAP) evidenciaram arranjo agregado de plantas com sintomas de mosaico dourado, enquanto na área

B esse padrão ficou evidente a partir da terceira avaliação (90 DAP) (Tabela 3). Por outro lado, verificou-se que em baixos níveis de incidência da doença, como nas primeiras avaliações, predominou um arranjo aleatório de plantas doentes, uma vez que os resultados obtidos de Z não foram significativos ( $P > 0,05$ ) para o teste  $C(\alpha)$ , não havendo ajuste à distribuição beta-binomial. A análise beta-binomial indica a presença ou ausência de agregação de plantas doentes, sem fornecer informações sobre o tamanho, proximidade, efeitos ou direção da agregação das plantas doentes (ANDRADE; MICHEREFF, 2000).

Pela análise de autocorrelação espacial, nas duas áreas a agregação de plantas sintomáticas dentro das linhas aumentou com o período após o plantio e incremento da incidência da doença, não sendo verificado o mesmo na área B, quando considerada a agregação de plantas sintomáticas nas entre linhas no último período de avaliação (Tabela 3). Na área A houve ligeira predominância da agregação de plantas sintomáticas dentro das linhas, enquanto na área B predominou de maneira marcante a agregação de plantas nas entre linhas. Os resultados encontrados

podem estar relacionados principalmente com o arranjo das linhas de plantio das plantas de fava nas suas respectivas áreas, onde as linhas de plantio da área A estavam na direção perpendicular às linhas da área B, favorecido pela direção do vento, influenciando na dispersão do vetor e conseqüentemente na agregação da doença no campo. De acordo com Madden et al. (1982), os arranjos espaciais de plantas com viroses são influenciados pela interação de vários fatores, principalmente pelo ambiente e vetores.

Aos 60 DAP uma planta de fava sintomática presumivelmente disseminou o mosaico dourado até a terceira planta adjacente dentro da linha na área A e até a primeira planta adjacente dentro da linha na área B. Aos 150 DAP na área A ocorreu disseminação da doença até a vigésima planta adjacente dentro da linha, enquanto que na área B somente até a nona planta (Tabela 3). Quando considerada a disseminação da doença entre plantas nas entre linhas aos 90 DAP houve disseminação até a terceira linha adjacente na área A, enquanto na área B até a décima sexta linha.

**Tabela 3.** Arranjo espacial do mosaico dourado em duas áreas de plantio de fava (A e B), em Rio Largo, analisado pelas técnicas de “ordinary runs”, ajuste à distribuição beta-binomial [teste  $C(\alpha)$ ] e autocorrelação espacial.

Área	DAP <sup>a</sup>	Ordinary runs <sup>c</sup> Linhas agregadas (%)	Teste $C(\alpha)$ <sup>d</sup>		Autocorrelação espacial Orientação da agregação <sup>e</sup>	
			Z	P(Z)	Entre plantas	Entre linhas
A	30	0,0	na <sup>f</sup>	na	0	0
	60	14,7	na	na	3	2
	90	23,5	1,36	0,087	7	3
	120	58,8	3,29	<0,001	15	14
	150	61,8	5,83	<0,001	20	19
B	30	0,0	na	na	0	0
	60	29,4	0,109	1,000	1	13
	90	47,1	2,821	0,002	2	16
	120	55,9	6,317	<0,001	8	24
	150	88,2	5,071	<0,001	9	14

<sup>a</sup> Dias após o plantio.

<sup>b</sup> Incidência = porcentagem de plantas com sintomas em relação ao total de 1.360 plantas da área.

<sup>c</sup> Calculado conforme Madden et al. (1982), considerando 40 plantas/linha e 34 linhas por área. Porcentagem de linhas com agregação de plantas sintomáticas.

<sup>d</sup> Distribuição normal padrão (Z) do teste  $C(\alpha)$  e probabilidade associada [P(Z)]. Valores de Z  $\geq 1,64$  ou P (Z)  $\leq 0,05$  indicam rejeição de  $H_0$ ; arranjo segue a distribuição binomial (aleatório) em favor de  $H_1$ ; arranjo segue a distribuição beta-binomial (agregado). Valores estimados com o auxílio do programa BBD (MADDEN; HUGUES, 1994).

<sup>e</sup> Número de SL+ dentro das linhas (linha) e entre linhas (coluna) definido pela posição lag [0,0]. Valores estimados com o auxílio do programa LCOR2 (GOTTWALD et al., 1992).

<sup>f</sup> Não aplicável.

A predominância do arranjo agregado indica que a infecção das plantas de fava com o mosaico dourado pode ter sido originária de uma fonte próxima, ou mesmo, dentro da área de plantio. A hipótese mais provável é que as infecções ocorreram principalmente através de inóculo primário transmitido por mosca-branca entrando na parcela, oriundos das plantas invasoras infectadas com mosaico dourado próximas a área B. Por outro lado, a transmissão secundária planta a planta por vetores dentro das

parcelas exerceu influência na epidemia, principalmente na área B, onde a agregação de plantas doentes, indicativa desse processo, foi detectada em grandes proporções. Estudos realizados nas culturas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) (NARANJO; FLINT, 1995) e meloeiro (*Cucumis melo* L.) (TONHASCA Jr. et al., 1994a; GOULD; NARANJO, 1999) também constataram que a mosca-branca apresentou uma distribuição agregada nos campos.

Embora descrições estatísticas não propiciem,

*per se*, uma explicação dos mecanismos responsáveis pelos arranjos espaciais, arranjos agregados de plantas doentes sugerem que houve disseminação planta a planta ou que o inóculo estava espacialmente agregado (MADDEN et al., 2007), corroborando com os dados encontrados neste trabalho. Quanto à disseminação, arranjos agregados são mais caracteristicamente associados com fontes de inóculo próximas, ou mesmo, dentro de populações do hospedeiro, enquanto arranjos aleatórios geralmente resultam do inóculo chegando a uma população de plantas de uma fonte distante (BURDON, 1987).

A relação espacial entre indivíduos doentes, quando combinada com conhecimentos biológicos e ambientais sobre o patossistema, auxilia na compreensão do processo temporal da doença e dos fatores que influenciam a dispersão no campo (GRAY et al., 1986). O mapeamento espacial indicou a ocorrência de dispersão secundária do mosaico dourado dentro da área de plantio, com a participação da mosca-branca como vetor. O controle das plantas invasoras hospedeiras do BGMV, localizadas nas bordas das áreas de plantio de fava, pode reduzir drasticamente a fonte de inóculo e a população do inseto vetor (mosca-branca). A utilização de inseticidas para o controle da mosca-branca pode alterar o padrão de dispersão do inseto, diminuindo a agregação do patógeno por ele transmitido (TRUMBLE, 1985; TONHASCA Jr. et al., 1994b).

A utilização de quebra-ventos pode ser estudada como possível alternativa para reduzir o influxo do vetor nas áreas de plantio de fava. O vôo a longa distância da mosca-branca ocorre de maneira passiva em uma corrente de ar. Como a altura do vôo da mosca-branca carregada de ovos é baixa a utilização de quebra vento pode ser uma maneira de minimizar a incidência do mosaico dourado (BREWSTER et al., 1997).

## CONCLUSÕES

A incidência do mosaico dourado em fava é maior em área próxima a parcelas com plantas invasoras hospedeiras do *Bean golden mosaic virus*.

O arranjo espacial de plantas de fava com sintomas de mosaico dourado é predominantemente agregado.

E a intensidade de agregação de plantas de fava com sintomas de mosaico dourado é influenciada pelo tempo após o plantio e pela incidência da doença.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. E. G. T.; MICHHEREFF, S. J. Arranjo espacial da murcha-de-fusário do tomateiro no Agreste de Pernambuco. **Summa Phytopathologica**,

São Paulo, v. 26, n. 3, p. 316-319, 2000.

ASSUNÇÃO, I. P. et al. Diversidade genética de begomovírus que infectam plantas invasoras na região Nordeste. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 239-244, 2006.

BREWSTER, C. C. et al. Simulating the dynamics of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) in an organic cropping system with a spatiotemporal model. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 26, n. 3, p. 603-616, 1997.

BURDON, J. J. **Diseases and plant population biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 208 p.

BYRNE, D. N.; BELLOWS JR., T. S. Whitefly biology. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 36, p. 431-457, 1991.

CARVALHO, E. M. S.; CENTURION, M. A. P. C.; CARVALHO, P. R. S. Doenças. In: LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; ARAÚJO, A. S. F. (Orgs.). **A cultura do feijão-fava no Meio Norte do Brasil**. Teresina: EDUFPI, 2010. p. 191-205.

CHAGAS, C. M.; BARRADAS, M. M.; VICENTE, M. Espécies hospedeiras do vírus-do-mosaico-dourado do feijoeiro (VMDF). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 48, n. 1-4, p. 123-127, 1981.

FAUQUET, C. M. et al. **Virus taxonomy**: classification and nomenclature of viruses - eight report of the International Committee on the Taxonomy of Viruses. 2. Ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. 1259 p.

GARRIDO-RAMIREZ, E. R.; SUDARSHANA, M. R.; GILBERTSON, R. L. *Bean golden yellow mosaic virus* from Chiapas, Mexico: Characterization, pseudorecombination with other bean-infecting geminiviruses and germplasm screening. **Phytopathology**, Palo Alto, v. 90, n. 11, p. 1224-1232, 2000.

GOTTWALD, T. R.; RICHIE, S. M.; CAMPBELL, C. L. LCOR2 - Spatial correlation analysis software for the personal computer. **Plant Disease**, St. Paul, v. 76, n. 2, p. 213-215, 1992.

GOULD, J. R.; NARANJO, S. E. Distribution and sampling of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) and *Eretmocerus eremicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) on cantaloupe vines. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 92, n. 2, p. 402-408, 1999.

GRAY, S. M.; MOYER, J. W.; BLOOMFIELD, P. Two-dimensional distance class model for quantita-

tive description of virus-infected plant distribution lattices. **Phytopathology**, Palo Alto, v. 76, n. 2, p. 243-248, 1986.

GROVES, R. L. et al. The role of weed hosts and tobacco thrips, *Frankliniella fusca*, in the epidemiology of *Tomato spotted wilt virus*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 86, n. 6, p. 573-582, 2002.

HUGHES, G.; MADDEN, L. V. Using the beta-binomial distribution to describe aggregated patterns of disease incidence. **Phytopathology**, Palo Alto, v. 83, n. 7, p. 759-763, 1993.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Produção Agrícola 2013**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

MADDEN, L. V. et al. Evaluation of tests for randomness of infected plants. **Phytopathology**, Palo Alto, v. 72, n. 2, p. 195-198, 1982.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G. BBD - Computer software for fitting the beta-binomial distribution to disease incidence data. **Plant Disease**, St. Paul, v. 78, n. 5, p. 536-540, 1994.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 2007. 432 p.

NARANJO, S.; FLINT, H. M. Spatial distribution of adult *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cotton and development of fixed-precision sequential sampling plans for estimating population density. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 24, n. 2, p. 261-270, 1995.

ROJAS, M. R. et al. Use of degenerated primers in the *Polymerase Chain Reaction* to detect whitefly-transmitted Geminiviruses. **Plant Disease**, St. Paul, v. 77, n. 4, p. 340-347, 1993.

SOARES, C. A. et al. Aspectos sócio-econômicos. In: LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; ARAÚJO, A. S. F. (Orgs.). **A cultura do feijão-fava no Meio Norte do Brasil**. Teresina: EDUFPI, 2010. p. 237-268.

TONHASCA JUNIOR, A.; PALUMBO, J. C.; BYRNE, D. N. Distribution patterns of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cantaloupe fields in Arizona. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 23, n. 4, p. 949-954, 1994a.

TONHASCA JUNIOR, A.; PALUMBO, J. C.; BYRNE, D. N. Aggregation patterns of *Bemisia tabaci* in response to insecticide applications. **Entomologia**

**Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 72, n. 3, p. 265-272, 1994b.

TRUMBLE, J. T. Implications of changes in arthropod distribution following chemical application. **Research on Population Ecology**, Tokyo, v. 27, n. 2, p. 277-285, 1985.