

EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DA PODRIDÃO NEGRA E DA ALTERNARIOSE DO REPOLHO NO AGRESTE DE PERNAMBUCO*

SIMONE S. AZEVÊDO**, SAMI J. MICHEREFF*** & ROSA L.R. MARIANO***

Área de Fitossanidade, Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, CEP 52171-900, Recife, PE, fax: (81) 3302-1205, e-mail: michereff@uol.com.br

(Aceito para publicação em 04/09/2001)

Autor para correspondência: Sami J. Michereff

AZEVEDO, S.S., MICHEREFF, S.J. & MARIANO R.L.R. Epidemiologia comparativa da podridão negra e da alternariose do repolho no Agreste de Pernambuco. Fitopatologia Brasileira 27:017-026. 2002.

RESUMO

A podridão negra causada por *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, e a alternariose causada por *Alternaria brassicicola* constituem importantes doenças do repolho no estado de Pernambuco. Em virtude do desconhecimento sobre a epidemiologia dessas doenças a nível regional, foi efetuada a análise comparativa das epidemias com ênfase nos aspectos temporais e espaciais, em 1997 e 1998, cada ano em uma área de plantio diferente, localizadas no município de Camocim de São Félix, Agreste de Pernambuco. Em cada área, a intervalos semanais, foram avaliadas 1.920 plantas quanto à incidência e severidade das duas doenças, bem como efetuado o mapeamento espacial de plantas assintomáticas e sintomáticas. Os valores iniciais (y_0) e máximos (y_{max}) de incidência e severidade, as taxas estimadas de progresso da doença (k) e as áreas abaixo das curvas de progresso das doenças (AACPD),

apresentaram pequena variação entre as doenças, sendo as diferenças mais evidentes entre os anos de plantio. As maiores intensidades das doenças foram observadas em 1998, uma vez que próximo à área de plantio havia grande quantidade de plantas e restos culturais infetados, o que não ocorreu em 1997. Pelas análises de “ordinary runs”, ajuste à distribuição beta-binomial e autocorrelação espacial, na maioria das situações, foi constatado um arranjo aleatório de plantas doentes nas avaliações iniciais, evoluindo posteriormente para um arranjo agregado, indicando que as doenças podem ter sido originadas de aloinfecções pela chegada de inóculo externo, seguidas de autoinfecções decorrentes da disseminação planta-a-planta.

Palavras-chave adicionais: *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, *Alternaria brassicicola*, *Brassica oleracea* var. *capitata*, progresso, arranjo espacial.

ABSTRACT

Comparative epidemiology of black rot and *Alternaria* black spot of cabbage in the Agreste of Pernambuco

The black rot caused by *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and *Alternaria* black spot caused by *Alternaria brassicicola* are significant cabbage diseases in the State of Pernambuco, Brazil. A lack of knowledge on the epidemiology of these diseases at a regional level motivated a comparative analysis of the epidemics in relation to temporal and spatial aspects. The study was performed in 1997 and 1998, on different plantations, each year, located in Camocim de São Félix, Agreste of Pernambuco. In each area, 1,920 plants were evaluated at weekly intervals for incidence and severity of both diseases. Healthy and diseased plants were spatially mapped. There are only small variations between the diseases in terms of the initial (y_0) and maxi-

mum (y_{max}) values for incidence and severity, the estimated rates of disease progress (k) and the area under disease progress curves (AUDPC). Differences were more evident between years. The highest disease intensities were observed in 1998, due to a large number of infected plants and debris next to the plantation, a fact not observed in 1997. The use of “ordinary runs”, adjustment to the β -binomial distribution, and spatial autocorrelation analyses, in most of the situations evidenced an initial randomised pattern of diseased plants, which later became aggregated, thus indicating that the diseases may have originated from aloinfections through an external inoculum arrival followed by autoinfections caused by plant-to-plant dissemination

INTRODUÇÃO

A podridão negra causada por *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Pammel) Dowson, e a alternariose causada por *Alternaria brassicicola* (Schwn.) Wilt. e/ou *Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc., constituem importantes doenças do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*

L.) no Estado de Pernambuco (Azevêdo *et al.*, 2000). Essas doenças causam reduções consideráveis na produtividade e na qualidade do produto a nível mundial, tendo sido registradas reduções na produtividade de até 60% devido à ocorrência de podridão negra (Dzhalilov & Tiwari, 1995) e 50% devido à alternariose (Ramsey & Smith, 1961).

A podridão negra pode ser observada em qualquer estágio de desenvolvimento da planta e caracteriza-se por lesões amarelas, em forma de “V”, com o vértice voltado para o centro da folha. A alternariose causa danos nas fases de sementeira e planta adulta, formando lesões necróticas

*Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Universidade Federal Rural de Pernambuco. (2000)

** Bolsista da CAPES

*** Bolsista do CNPq

circulares, concêntricas e com halo clorótico. Apesar da importância dessas doenças para a cultura do repolho, estudos epidemiológicos em condições naturais de infecção não existem no Brasil e são escassos mundialmente. Dentre os estudos necessários, merece destaque a comparação entre as epidemias dessas duas doenças, com ênfase na compreensão da dinâmica temporal e espacial.

A comparação de epidemias é um instrumento de pesquisa que, além de indicar semelhanças e diferenças existentes entre epidemias, permite definir modelos e princípios gerais para um grande número de fenômenos epidemiológicos, servindo para aferir hipótese e teorias, sustentando-as ou refutando-as, em função dos resultados obtidos (Kranz, 1988). No estudo de epidemias, a dinâmica temporal das doenças de plantas tem sido mais enfatizada, pois o progresso de doenças é frequentemente a manifestação mais facilmente visualizada. Os aspectos espaciais, apesar de importantes, são geralmente menos óbvios e, conseqüentemente, pouco investigados (Jeger, 1990).

Na análise temporal de doenças, a curva de progresso é a melhor representação de uma epidemia. Interpretar o formato dessas curvas e determinar seus componentes, como intensidade inicial de doença, taxa de progresso, intensidade final, bem como a área abaixo da curva de progresso, são fundamentais para se efetuar o manejo de epidemias (Bergamin Filho, 1995).

A análise do arranjo espacial de plantas doentes tem possibilitado o entendimento da dinâmica de epidemias, principalmente quanto ao padrão do inóculo inicial, os mecanismos de dispersão do patógeno, o efeito de práticas biológicas e culturais, bem como o efeito de fatores ambientais na infecção e dispersão de patógenos e doenças. Além disso, no desenvolvimento de protocolos de amostragem de doenças, o conhecimento do arranjo espacial de plantas doentes é fundamental para a obtenção de estimativas precisas da intensidade da doença (Jeger, 1990). Várias técnicas podem ser utilizadas para caracterizar o arranjo espacial de plantas doentes, dependendo do tipo de dado coletado e do conhecimento sobre o local onde as observações foram realizadas (Campbell & Madden, 1990).

Em vista do desconhecimento sobre a dinâmica da podridão negra e alternariose do repolho, na região Agreste de Pernambuco, o presente trabalho teve como objetivo analisar comparativamente as epidemias dessas doenças em dois anos de cultivo, com ênfase nos aspectos temporais e espaciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em 1997 e 1998, cada ano em uma área de plantio diferente, localizadas no município de Camocim de São Félix, mesorregião Agreste do estado de Pernambuco. Na área utilizada em 1997, não havia sido efetuado plantio de repolho na safra anterior, bem como não haviam restos culturais infetados próximo à área de plantio. Na área utilizada em 1998, haviam sido efetuados

dois plantios sucessivos de repolho e havia grande quantidade de plantas e restos culturais infetados próximo à área de plantio. Nos dois plantios foram utilizadas mudas da cultivar de repolho Midori, produzidas em canteiros na propriedade e transplantadas quando se encontravam com 21 dias de idade. Em 1997, o transplante das mudas foi efetuado em 15/04, enquanto em 1998 foi realizado em 26/04, sendo que as áreas experimentais mediam 40 × 24 m, contendo 40 linhas x 48 plantas/linha. Nos dois anos o transplante foi efetuado no sistema de sulcos, com espaçamento de 1,00 m entre linhas e 0,50 m entre covas, sendo que em cada cova foram distribuídos 250 g de esterco bovino curtido e 200 g de NPK (10-20-10). Durante todo o ciclo da cultura, a irrigação foi efetuada por sulco, duas vezes ao dia. Os demais tratamentos culturais seguiram as recomendações oficiais, com exceção da aplicação de fungicidas, não efetuada nas áreas experimentais.

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluvial total foram obtidos diariamente em estação meteorológica situada a cerca de 5 km das áreas experimentais.

Avaliação das doenças

Nas duas áreas de plantio, a incidência e a severidade da podridão negra e da alternariose do repolho foram avaliadas nas 1.920 plantas da parcela, a intervalos de sete dias. A incidência foi determinada pela porcentagem de plantas com sintomas da doença em relação ao total de plantas avaliadas, enquanto a severidade foi estimada pela porcentagem de área foliar lesionada por cada doença, em cinco folhas basais por planta, com o auxílio de escalas diagramáticas para podridão negra (Azevedo *et al.*, 2000) e alternariose (Conn *et al.*, 1990).

Para verificação da espécie predominante de *Alternaria* causadora da alternariose, foram efetuadas coletas de folhas com sintomas. Em laboratório, fragmentos de lesões foram retirados das folhas e mantidos em câmara úmida por 72 h. Posteriormente, foram feitas preparações microscópicas e observadas ao microscópio ótico, sendo efetuadas as identificações.

Curvas de progresso das doenças

Curvas de progresso e de taxas absolutas de progresso da podridão negra e da alternariose foram plotadas, utilizando-se os valores de incidência e severidade no tempo, em cada parcela (ano). As taxas absolutas de progresso das doenças foram calculadas conforme Campbell & Madden (1990). Foi efetuada a análise de correlação Pearson ($P=0,05$) entre incidência, severidade ou taxas absolutas de progresso das doenças com as variáveis ambientais, considerando intervalos de sete e 14 dias antes da avaliação das doenças.

Os dados de intensidade das doenças em proporção (y), originais ou as formas linearizadas dos modelos exponencial [$y = \ln(y)$], monomolecular [$y = \ln[1/(1-y)]$], logístico [$y = \ln[y/(1-y)]$] e de Gompertz [$y = -\ln[-\ln(y)]$]

(Campbell & Madden, 1990) foram ajustados a modelos de regressão linear simples, tendo tempo em dias após o transplantio (DAT) como variável independente. Os melhores ajustes foram selecionados com base no maior coeficiente de determinação da regressão (R^2) para reciprocidade entre valores observados e previstos de incidência ou severidade da doença, menor quadrado médio do resíduo (QMR) e ausência de tendências indesejáveis no gráfico de dispersão de resíduos. Utilizando os melhores ajustes, foi estimada a taxa de progresso da doença (k), determinada pelo parâmetro b da equação de regressão. Adicionalmente, utilizando os dados originais de intensidade das doenças, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença normalizada ($AACPD$), pela expressão: $AACPD = \{ \sum [(y_i + y_{i+1})/2] \cdot (t_{i+1} - t_i) \} / n$, onde y_i e y_{i+1} são os valores de incidência ou severidade observados em duas avaliações consecutivas, $t_{i+1} - t_i$ o intervalo entre avaliações e n a duração do período de avaliação (Fry, 1978).

Considerando as curvas de progresso, as epidemias foram em relação às quantidades iniciais (y_0) e máximas (y_{max}) de incidência e severidade das doenças, taxas absolutas de progresso das doenças, taxas estimadas de progresso das doenças (k) e áreas abaixo das curvas de progresso das doenças ($AACPD$).

Arranjo espacial das doenças

A partir do mapeamento das plantas assintomáticas e sintomáticas de podridão negra ou alternariose, foram determinados os arranjos espaciais das plantas doentes em cada área experimental e período de avaliação, através de três níveis hierárquicos: entre plantas individuais adjacentes, dentro de quadriláteros e entre quadriláteros. Com a análise de “ordinary runs” (Campbell & Madden, 1990), foi investigada a existência de agregação entre plantas doentes imediatamente adjacentes dentro das linhas, considerando-se linhas combinadas. Um “run” (U) é descrito como a sucessão de uma ou mais plantas doentes ou assintomáticas. O número esperado de “runs” $E(U)$ sob a hipótese nula de aleatoriedade é dado por $E(U) = 1 + [2m(N-m)/N]$, onde m é o número de plantas sintomáticas e N é o número total de plantas por linhas combinadas. O desvio padrão de U , sob a hipótese de nulidade, é dado por $S(U) = \{ [(2m(N-m))(2m(N-m)-N)] / (N^2(N-1)) \}^{0.5}$. Um teste normal padrão Z , onde $Z(U) = [U - E(U)] / S(U)$, foi utilizado para determinar a significância da agregação de plantas doentes, 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).

Para examinar a presença de agregação dentro de quadriláteros, os dados de incidência da doença de cada área experimental foram fracionados em quadriláteros de nove plantas (três linhas \times três colunas) e analisados quanto ao ajuste à distribuição beta-binomial, por meio do programa BBD (Madden & Hughes, 1994). Foram obtidos o índice de dispersão ($I\beta = \text{variância observada/variância binomial}$) da distribuição beta-binomial e a probabilidade associada [P

($I\beta$)], calculada pela comparação dos graus de liberdade $\times I\beta$ com a distribuição Qui-quadrado. Valores de $I\beta$ sem diferença significativa de 1 ($P>0,05$) indicam que o arranjo da doença segue o padrão aleatório, enquanto valores de $I\beta$ significativamente maiores que 1 ($P\leq 0,05$) indicam que o arranjo da doença segue o padrão agregado.

O arranjo de plantas doentes entre quadriláteros foi examinado pela análise de autocorrelação espacial, utilizando-se o software LCOR2 (Gottwald *et al.*, 1992). A localização espacial $[x,y]$ de cada quadrilátero e a respectiva incidência de doença, considerando quadriláteros com nove plantas, foram utilizadas como dado de entrada para a análise de autocorrelação espacial em cada área e período de avaliação. O programa calculou: 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 $\infty = 0,05$; o tamanho do “cluster” principal, expresso 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+; a orientação da agregação, definida pelo número de SL+ dentro das linhas e entre linhas, definido pelo “lag” $[0,0]$.

RESULTADOS

Curvas de progresso das doenças

As curvas de progresso e de taxas absolutas de progresso da incidência e da severidade da podridão negra e da alternariose do repolho em Camocim de São Félix, nos anos de 1997 e 1998, encontram-se representadas na Figura 1.

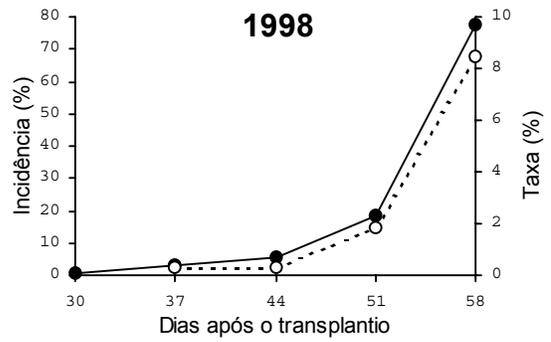
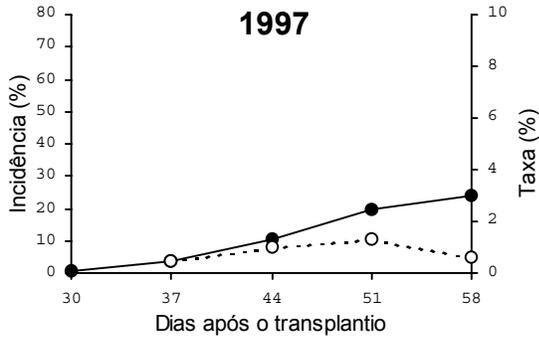
Os valores iniciais (y_0) e máximos (y_{max}) de incidência e severidade apresentaram pequena variação entre as doenças, sendo as diferenças mais evidentes entre os anos de plantio. Com exceção de y_0 para incidência da podridão negra em 1997, os demais valores de y_0 e y_{max} para incidência e severidade foram maiores em 1998 que 1997 (Figura 1). Aos 58 dias após o transplantio (DAT), foram verificados y_{max} de incidência de podridão negra de 24,20 e 77,60% em 1997 e 1998, respectivamente, enquanto para alternariose foram verificados y_{max} de 16,50 e 70,05% nos mesmos períodos. Em relação à severidade, os valores de y_{max} para podridão negra atingiram 0,66 e 11,48% em 1997 e 1998, respectivamente, enquanto para alternariose atingiram 1,02 e 6,08%.

A única espécie de *Alternaria* encontrada nas áreas de plantio foi *A. brassicicola*, que se caracteriza por apresentar micélio escuro, conidióforos retos ou algumas vezes ramificados, conídios freqüentemente em cadeia, usualmente sem apêndice, cor marrom-oliváceo claro a escuro, podendo ter de um a 11 septos, mais freqüentemente menos de seis (Ellis, 1971).

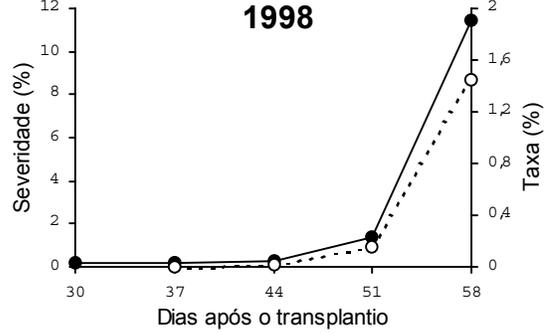
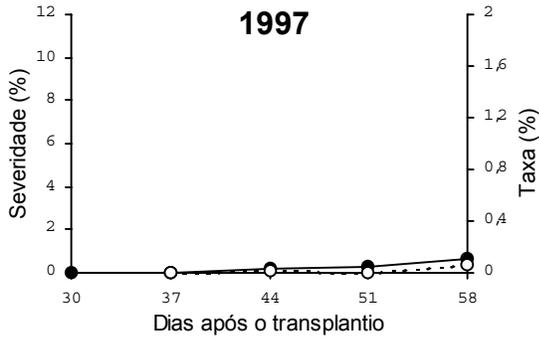
Os cursos diários da temperatura média, precipitação pluviométrica total e umidade relativa do ar média durante os períodos experimentais, nos dois anos de cultivo, são

Podridão Negra

Incidência

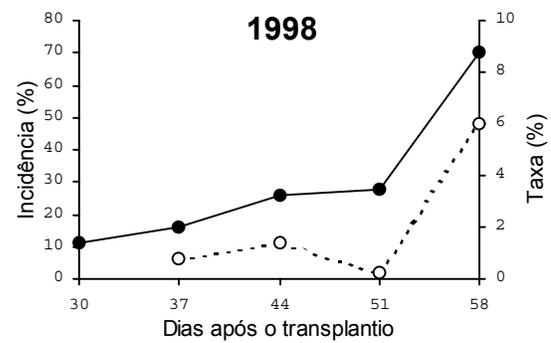
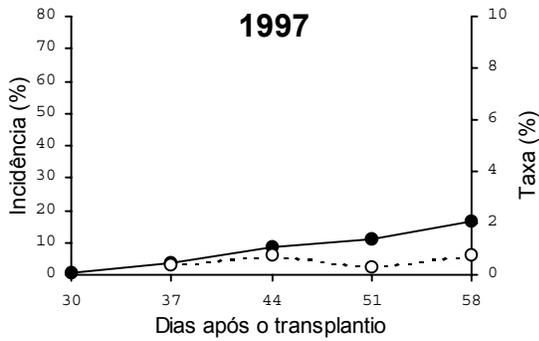


Severidade



Alternariose

Incidência



Severidade

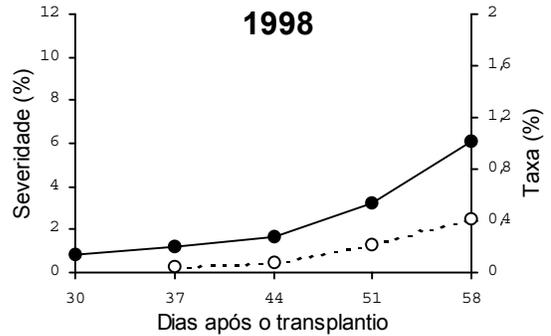
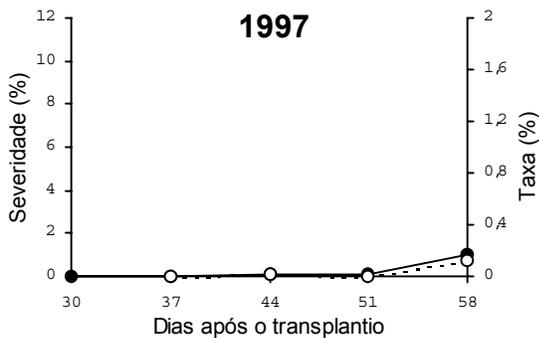


FIG. 1 - Curvas de progresso (linhas inteiras) e taxas absolutas de progresso (linhas pontilhadas) da incidência e da severidade da podridão negra e da alternariose do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) em Camocim de São Félix, PE, em dois anos de cultivo (1997 e 1998).

apresentados na Figura 2. A temperatura e a umidade relativa do ar foram similares nesses períodos, sendo respectivamente de $25,06 \pm 0,74$ °C e $82,64 \pm 6,89\%$ em 1997, e $25,79 \pm 0,97$ °C e $79,30 \pm 6,20\%$ em 1998. Entretanto, houve uma grande diferença na precipitação pluviométrica entre os períodos experimentais nos dois anos, sendo verificada uma pluviosidade mais elevada em 1997 (274,7 mm) que em 1998 (65,4 mm).

Em 1997, foram constatadas correlações significativas ($P \leq 0,05$) entre as taxas absolutas de incidência da podridão negra e as temperaturas ($r=0,98$) e as umidades relativas do ar ($r=0,97$) médias nos 14 dias que antecederam as avaliações da doença, bem como entre as taxas absolutas de severidade da alternariose e as temperaturas médias nos sete dias que antecederam as avaliações dessa doença ($r=0,96$). Em 1998, as temperaturas médias nos 14 dias que antecederam as avaliações da alternariose correlacionaram-se significativamente ($P \leq 0,05$) com os valores de incidência ($r=0,88$), severidade ($r=0,96$) e taxa absoluta de severidade ($r=0,97$) dessa doença.

O ajuste dos modelos de regressão com dados de incidência e severidade da podridão negra e da alternariose originais ou linearizados para os modelos exponencial, monomolecular, logístico e de Gompertz, nos anos de 1997 e 1998, foram comparados em termos de coeficiente de

determinação e quadrado médio do resíduo (Tabela 1). Com um mesmo modelo, não se obteve um bom ajuste dos dados de progresso das doenças em todas as situações. Em 1997, o progresso da incidência das doenças foi melhor descrito quando os valores originais foram utilizados, sendo que a taxa estimada de progresso (k) da podridão negra foi de 0,009/dia, não diferindo significativamente ($P \leq 0,05$) do verificado para alternariose (0,006/dia) quando analisado pelo intervalo de confiança. Em 1998, a incidência foi melhor descrita pelo modelo exponencial, sendo que pelo intervalo de confiança o valor de k da podridão negra (0,167/dia) foi significativamente ($P \leq 0,05$) superior ao verificado para alternariose (0,061/dia) (Tabela 1).

Em relação à severidade, com exceção do verificado para alternariose em 1998 ($0,85 \leq R^2 \leq 0,98$), os dados originais ou linearizados para os diferentes modelos não possibilitaram bons ajustes ($0,50 \leq R^2 \leq 0,82$). Entretanto, para efeito de comparação das taxas de progresso das doenças, em 1997 foram considerados os dados originais, enquanto em 1998 os dados linearizados foram considerados para o modelo exponencial. As doenças não apresentaram diferenças significativas ($P \leq 0,05$) nos valores de k quando comparadas dentro de cada ano (Tabela 1) pelo intervalo de confiança.

Quando comparada uma mesma doença em relação

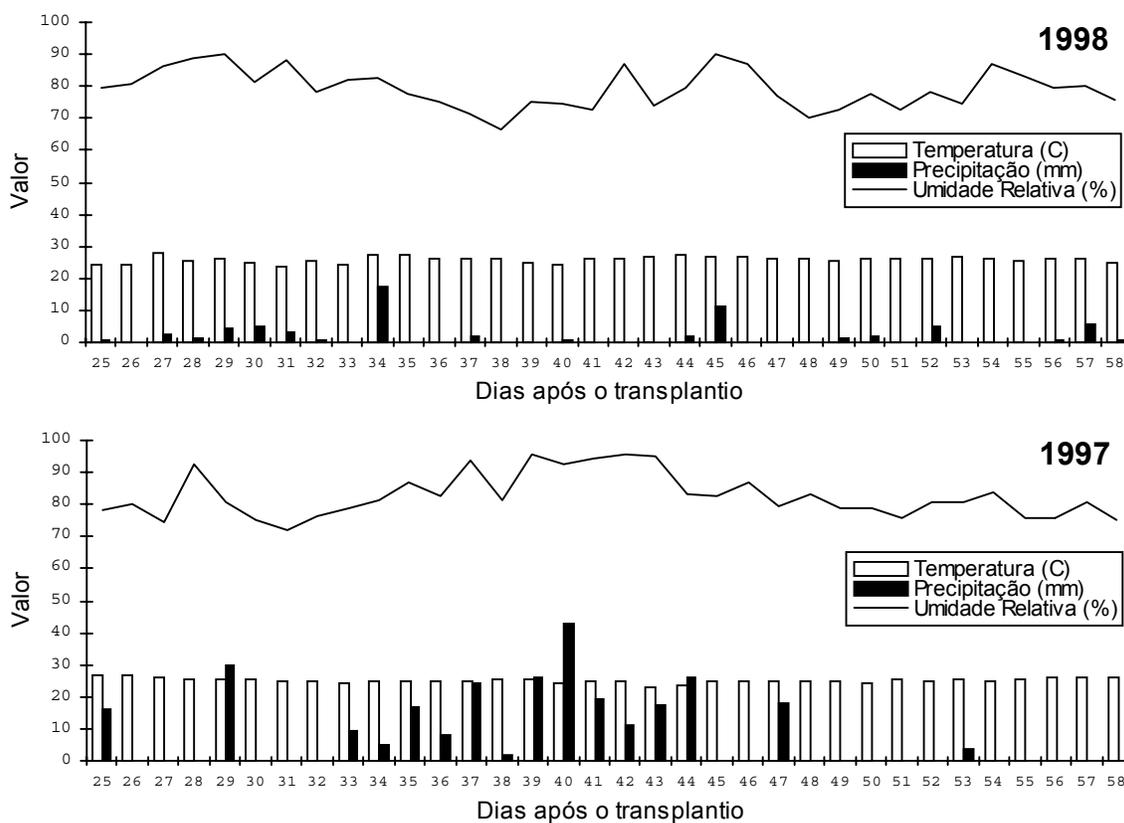


FIG. 2 - Curso diário da temperatura média, precipitação total e umidade relativa do ar média em Camocim de São Félix (PE), durante os períodos experimentais nos dois anos de cultivo de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) (1997 e 1998).

TABELA 1 - Comparação de modelos lineares para descrever as taxas estimadas de progresso (*k*) da podridão negra e da alternariose do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) em Camocim de São Félix (PE), em dois anos de cultivo (1997 e 1998)

Modelo ^a	Podridão negra						Alternariose					
	Incidência			Severidade			Incidência			Severidade		
	<i>k</i>	<i>R</i> ^{2b}	<i>QMR</i> ^c	<i>k</i>	<i>R</i> ²	<i>QMR</i>	<i>k</i>	<i>R</i> ²	<i>QMR</i>	<i>k</i>	<i>R</i> ²	<i>QMR</i>
	1997											
Dados originais	0,009	0,98	0,018	<0,001	0,82	0,001	0,006	0,98	0,009	<0,001	0,60	0,003
Exponencial	0,123	0,91	0,506	0,008	0,50	0,103	0,100	0,90	0,422	0,023	0,50	0,290
Monomolecular	0,010	0,97	0,022	<0,001	0,50	0,001	0,006	0,98	0,011	<0,001	0,50	0,002
Logístico	0,133	0,92	0,493	0,008	0,50	0,001	0,106	0,91	0,418	0,023	0,50	0,293
Gompertz	0,045	0,97	0,099	0,002	0,50	0,020	0,034	0,96	0,088	0,005	0,50	0,059
	1998											
Dados originais	0,024	0,68	0,211	0,003	0,58	0,037	0,019	0,78	0,127	0,002	0,85	0,010
Exponencial	0,167	0,98	0,283	0,104	0,71	0,842	0,061	0,93	0,210	0,073	0,98	0,127
Monomolecular	0,045	0,61	0,465	0,003	0,56	0,040	0,033	0,69	0,287	0,002	0,85	0,010
Logístico	0,213	0,95	0,632	0,107	0,71	0,880	0,094	0,86	0,482	0,075	0,98	0,137
Gompertz	0,097	0,81	0,596	0,029	0,66	0,260	0,057	0,79	0,379	0,019	0,96	0,052

^aExponencial ($y = \ln(y)$); monomolecular ($y = \ln[1/(1-y)]$); logístico ($y = \ln[y/(1-y)]$); gompertz ($y = -\ln[-\ln(y)]$) (Campbell & Madden, 1990).

^bCoefficiente de determinação.

^cQuadrado médio do resíduo.

aos dois anos de cultivo, os progressos da incidência foram melhores descritos pelo modelo exponencial, enquanto da severidade pelos dados originais (Tabela 1). Pela análise do intervalo de confiança, os valores de *k* para incidência e severidade da podridão negra foram significativamente ($P \leq 0,05$) superiores em 1998 comparadas a 1997, o mesmo sendo verificado em relação ao progresso da severidade da alternariose. Por outro lado, o valor de *k* para incidência da alternariose foi significativamente ($P \leq 0,05$) superior em 1997.

Os valores de área abaixo da curva de progresso (*AACPD*) da incidência da doença foram bastante distintos entre as duas doenças nos dois anos de cultivo, sendo que em 1997 a podridão negra atingiu valor mais elevado que a alternariose, enquanto em 1998 foi verificado o contrário (Tabela 2). Em relação à severidade, os valores de *AACPD* das duas doenças foram similares dentro do mesmo ano de cultivo. Entretanto, quando comparados os dois anos de cultivo, os valores de *AACPD* observados em 1998 para a severidade das duas doenças foram cerca de dez vezes superiores aos constatados em 1997 (Tabela 2).

Arranjo espacial das doenças

O primeiro nível de hierarquia espacial examinado foi o arranjo de plantas doentes imediatamente adjacentes, pela análise de “ordinary runs”. Em relação à podridão negra, nos dois anos de cultivo as plantas doentes apresentaram inicialmente um arranjo aleatório ($Z \geq -1,64$; $P = 0,05$) dentro das linhas de plantio, que evoluiu para agregado ($Z < -1,64$; $P = 0,05$) nas avaliações subseqüentes. Em 1997, a agregação de plantas com podridão negra foi primeiramente verificada aos 44 DAT, enquanto em 1998 aos 51 DAT (Tabela 3). As plantas com alternariose em 1997 apresentaram um arranjo similar ao verificado para a

podridão negra no mesmo ano, em todas as avaliações. Entretanto, em 1998, ficou evidente o arranjo agregado de plantas doentes imediatamente adjacentes em todas as avaliações (Tabela 4).

O arranjo de plantas doentes dentro de quadriláteros, pela análise da adequação à distribuição beta-binomial, foi o segundo nível de hierarquia espacial examinado. Houve predominância do arranjo agregado de plantas doentes, indicado pelos valores de índice de dispersão ($I\beta$) significativamente maiores que 1 ($P \leq 0,05$) na maioria das avaliações, tanto para podridão negra quanto para alternariose. Em relação à podridão negra, o arranjo aleatório de plantas doentes foi verificado nas duas primeiras avaliações (30 e 37 DAT) em 1997, enquanto apenas na primeira avaliação em 1998 (Tabela 3). Quanto à alternariose, o arranjo agregado de plantas doentes foi verificado em todas as avaliações, nos dois anos de plantio (Tabela 4).

O terceiro nível de hierarquia espacial investigado foi o arranjo de plantas doentes entre quadriláteros, pela

TABELA 2 - Área abaixo da curva de progresso (*AACPD*) da podridão negra e da alternariose do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) em Camocim de São Félix (PE), em dois anos de cultivo (1997 e 1998)

Doença	Ano	<i>AACPD</i> ^a	
		Incidência	Severidade
Podridão negra	1997	328,13	5,60
	1998	459,38	52,25
Alternariose	1997	225,40	5,57
	1998	774,72	66,22

^aCalculada conforme Shaner & Finney (1977) e normalizada conforme Fry (1978)

TABELA 3 - Arranjo espacial da podridão negra do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) em Camocim de São Félix (PE), em dois anos de cultivo (1997 e 1998), analisado por “ordinary runs”, ajuste à distribuição beta-binomial e autocorrelação espacial

DAT ^a	Incidência ^b (%)	“Ordinary runs” ^c		Beta binomial ^d		Autocorrelação espacial					
		<i>U</i>	<i>Z(U)</i>	<i>I_β</i>	<i>P(I_β)</i>	“Lags” significantes ^e		“Cluster” Principal ^f	Força de agregação ^g	Orientação da agregação ^h	
						SL+	SL-			Dentro linhas	Entre linhas
1997											
30	0,75	65	53,04	1,07	0,219	1	0	0	<0,01	1	0
37	3,80	168	6,53	1,11	0,136	1	0	0	<0,01	0	0
44	10,75	349	-4,11	2,10	<0,001	53	0	15	0,28	13	5
51	19,85	460	-12,44	2,84	<0,001	48	0	15	0,31	13	2
58	24,20	533	-12,27	2,77	<0,001	89	1	19	0,21	13	6
1998											
30	0,55	57	72,42	0,98	0,555	5	0	0	<0,001	1	1
37	2,95	140	9,80	1,23	0,015	9	0	0	<0,001	6	0
44	5,30	204	0,61	1,49	<0,001	9	0	4	0,44	5	1
51	18,30	536	-4,68	1,42	<0,001	9	0	5	0,55	5	1
58	77,60	580	-7,45	2,84	<0,001	38	0	9	0,24	8	2

^aDias após o transplantio.^bPorcentagem de plantas com sintomas em relação ao total de 1.920 plantas em cada parcela.^c“Runs” observados (*U*) e distribuição normal padrão de “runs” [*Z(U)*]. Valores de *Z* < -1,64 a *P*=0,05 indicam rejeição de *H*₀: arranjo aleatório, em favor de *H*₁: arranjo agregado de plantas doentes.^dÍndice de dispersão (*I_β* = variância observada/variância binomial) da distribuição beta-binomial e probabilidade associada [*P(I_β)*], calculada pela comparação dos graus de liberdade x *I_β* com a distribuição Qui-quadrado. Valores de *I_β* sem diferença significativa de 1 (*P* > 0,05) indicam que o arranjo da doença segue o padrão aleatório, enquanto valores de *I_β* significativamente maiores que 1 (*P* ≤ 0,05) indicam que o arranjo da doença segue o padrão agregado.^eNúmero de [x,y] “lags” significativamente maiores (SL+) ou menores (SL-) que o esperado pela chance a *∞* = 0,05.^fNúmero de SL+ contíguos à posição “lag” [0,0] que forma um grupo discreto.^gNúmero de SL+ no “cluster” principal dividido pelo número total de SL+.^hNúmero de SL+ dentro das linhas e entre linhas, definido pelo “lag” [0,0].

análise de autocorrelação espacial. Nos dois anos de cultivo, as plantas com podridão negra apresentaram um arranjo aleatório nas duas primeiras avaliações (30 e 37 DAT), indicado pela ausência de “cluster” principal e de força de

agregação, evoluindo nas demais avaliações (44, 51 e 58 DAT) para um arranjo agregado (Tabela 3). Em 1997, as plantas com alternariose apresentaram um arranjo similar ao verificado para a podridão negra. Entretanto, em 1998,

TABELA 4 - Arranjo espacial da alternariose do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) em Camocim de São Félix (PE), em dois anos de cultivo (1997 e 1998), analisado por “ordinary runs”, ajuste à distribuição beta-binomial e autocorrelação espacial

DAT ^a	Incidência ^b (%)	Ordinary “runs” ^c		Beta binomial ^d		Autocorrelação espacial					
		<i>U</i>	<i>Z(U)</i>	<i>I_β</i>	<i>P(I_β)</i>	“Lags” significantes ^e		“Cluster” Principal ^f	Força de agregação ^g	Orientação da agregação ^h	
						SL+	SL-			Dentro linhas	Entre linhas
1997											
30	0,90	72	45,54	1,29	0,003	1	0	0	<0,01	1	0
37	3,40	158	8,92	1,36	<0,001	1	0	0	<0,01	1	0
44	8,85	306	-2,38	1,54	<0,001	20	0	10	0,30	10	4
51	11,25	367	-3,68	1,62	<0,001	34	0	10	0,34	12	3
58	16,50	480	-5,81	1,64	<0,001	34	0	10	0,34	11	3
1998											
30	10,90	290	-11,41	2,70	<0,001	54	31	14	0,26	13	5
37	16,16	417	-10,34	2,73	<0,001	21	23	12	0,57	10	3
44	26,10	510	-15,19	1,90	<0,001	12	11	10	0,83	10	0
51	27,95	629	-9,83	3,74	<0,001	131	0	22	0,17	13	9
58	70,05	632	-11,07	1,95	<0,001	17	14	12	0,70	11	1

^aDias após o transplantio.^bPorcentagem de plantas com sintomas em relação ao total de 1.920 plantas em cada parcela.^c“Runs” observados (*U*) e distribuição normal padrão de “runs” [*Z(U)*]. Valores de *Z* < -1,64 a *P*=0,05 indicam rejeição de *H*₀: arranjo aleatório, em favor de *H*₁: arranjo agregado de plantas doentes.^dÍndice de dispersão (*I_β* = variância observada/variância binomial) da distribuição beta-binomial e probabilidade associada [*P(I_β)*], calculada pela comparação dos graus de liberdade x *I_β* com a distribuição Qui-quadrado. Valores de *I_β* sem diferença significativa de 1 (*P* > 0,05) indicam que o arranjo da doença segue o padrão aleatório, enquanto valores de *I_β* significativamente maiores que 1 (*P* ≤ 0,05) indicam que o arranjo da doença segue o padrão agregado.^eNúmero de [x,y] “lags” significativamente maiores (SL+) ou menores (SL-) que o esperado pela chance a *∞* = 0,05.^fNúmero de SL+ contíguos à posição “lag” [0,0] que forma um grupo discreto.^gNúmero de SL+ no “cluster” principal dividido pelo número total de SL+.^hNúmero de SL+ dentro das linhas e entre linhas, definido pelo “lag” [0,0].

somente o arranjo agregado foi verificado em todas as avaliações da alternariose (Tabela 4). Em relação à orientação da agregação de plantas de repolho com sintomas de podridão negra e alternariose, em todas as situações predominou a agregação de plantas doentes dentro das linhas, embora também tenha sido detectada a agregação entre linhas com menor intensidade em várias situações (Tabelas 3 e 4).

Os resultados obtidos nas análises de autocorrelação espacial e “ordinary runs” foram similares para as duas doenças (Tabelas 3 e 4), diferindo apenas em relação ao início da agregação da podridão negra em 1998, que ocorreu aos 44 DAT pela primeira análise (Tabela 3).

Considerando os diferentes métodos de análise de arranjo espacial das doenças, com exceção do verificado para alternariose em 1997, pela análise de autocorrelação espacial ($r=0,91$), não foram constatadas correlações significativas ($P=0,05$) entre o aumento da incidência e o grau de agregação de plantas doentes.

DISCUSSÃO

As epidemias de podridão negra e alternariose em repolho no Agreste de Pernambuco, na maioria das variáveis analisadas, apresentaram muita similaridade nos dois anos avaliados, apesar das doenças serem causadas por patógenos bastante distintos. A constatação de *A. brassicicola* como agente da alternariose nas duas safras, deve-se, provavelmente, às condições de temperatura da região Agreste, uma vez que essa espécie predomina em repolho em temperaturas próximas a 25 °C, enquanto *A. brassicae* é adaptada a climas mais amenos, requerendo temperaturas em torno de 15 °C para causar infecção (Humpherson-Jones & Phelps, 1989).

Embora as condições ambientais na safra 1997 tenham sido extremamente favoráveis à ocorrência de epidemias de podridão negra e alternariose em repolho, principalmente devido à elevada pluviosidade, que na maioria das vezes é correlacionada positivamente com a elevada intensidade dessas doenças (Verma & Saharan, 1994; Kocks & Zadoks, 1996; Kocks *et al.*, 1999), essa expectativa não se concretizou quando comparada aos níveis das doenças verificados na safra 1998, quando a pluviosidade foi muito inferior. Esses resultados indicam a grande adaptabilidade dos patógenos às diferentes condições ambientais, bem como a possibilidade de outros fatores terem sido determinantes para a ocorrência de elevados níveis das doenças em 1998.

As maiores intensidades da podridão negra e da alternariose na safra 1998 podem estar associadas à presença de maior quantidade de inóculo na época de plantio ou chegada de inóculo externo durante o ciclo da cultura, uma vez que próximo à área de plantio havia grande quantidade de plantas e restos culturais infetados, o que não ocorreu na safra 1997. Como a podridão negra é uma doença policíclica com número limitado de ciclos por ano (Kocks, 1998; Kocks *et al.*, 1998b), a densidade do inóculo de *X. campestris* pv.

campestris em restos culturais e no solo pode ter uma função crítica no desenvolvimento poliético da doença (Dzhalilov & Tiwari, 1995; Kocks & Zadoks, 1996; Kocks *et al.*, 1998a). A alternariose é uma doença policíclica com grande capacidade de produção de inóculo secundário. Entretanto, sua intensidade no campo está relacionada, dentre outros fatores, com o nível de inóculo em restos culturais doentes (Humpherson-Jones, 1989), com a permanência de propágulos do patógeno no solo sob forma de microesclerócios e clamidosporos, e com infecções em hospedeiros cultivados e ervas daninhas (Verma & Saharan, 1994). Adicionalmente, estudos envolvendo a disseminação da podridão negra e da alternariose em plantios de repolho têm evidenciado a necessidade de numerosos focos iniciais para que ocorram epidemias severas (Fontem *et al.*, 1991; Kocks *et al.*, 1998b), reforçando a importância dos restos culturais infetados na epidemia das doenças. Outro aspecto a ser considerado é que na área utilizada em 1997 não havia sido efetuado plantio de repolho na safra anterior (1996), o que freqüentemente provoca a diminuição do inóculo inicial de *X. campestris* pv. *campestris* (Kocks, 1998) e *A. brassicicola* (Verma & Saharan, 1994).

A dificuldade na obtenção de estimativas precisas das taxas de progresso da severidade das doenças, como verificado na maioria das situações utilizando os dados originais ou transformados para os modelos exponencial, monomolecular, logístico e de Gompertz, pode estar associada aos baixos valores das proporções de severidade, muitos deles inferiores a 0,05, como verificado em outros patossistemas (Plaut & Berger, 1981). Apesar do modelo de Gompertz ter sido apropriado para estimar taxas epidêmicas com valores muito baixos de severidade da alternariose em repolho na Flórida (Fontem *et al.*, 1991), bem como para a podridão negra, cujos os sítios de infecção tornam-se menos suscetíveis com a idade (Kocks & Ruissen, 1996), no presente estudo essas características do modelo de Gompertz não ficaram evidentes na maioria das vezes.

Para efeito de comparação, considerando o modelo de Gompertz, as taxas de progresso da severidade da podridão negra no Agreste de Pernambuco ($0,002 \leq k \leq 0,029$) foram menores que as verificadas por Kocks & Ruissen (1996) ao analisarem o progresso dessa doença na Holanda ($0,03 \leq k \leq 0,14$). Em relação à alternariose, considerando o modelo logístico, as taxas de progresso da severidade em Pernambuco ($0,023 \leq k \leq 0,075$) também foram menores que as obtidas por Fontem *et al.* (1991) na Flórida ($0,06 \leq k \leq 0,11$). Em ambas as situações, os menores valores observados em Pernambuco podem ser devido à metodologia utilizada, uma vez que as epidemias foram analisadas sob condições naturais de infecção, enquanto nos estudos realizados na Flórida e na Holanda os patógenos foram inoculados artificialmente, sendo esperado um progresso mais acentuado das doenças. Além disso, as condições ambientais, as características das cultivares de repolho e dos isolados do patógeno podem ter influenciado nas diferenças dos resultados.

No estudo do arranjo espacial de plantas de repolho com sintomas de podridão negra e/ou alternariose, foram consideradas as análises de “ordinary runs”, ajuste à distribuição beta-binomial e autocorrelação espacial, ficando evidente não haver somente um padrão de arranjo espacial das doenças no campo. Em relação à podridão negra, esses resultados assemelham-se ao verificado por Kocks *et al.* (1999) e divergem do constatado por Strandberg (1973) que verificou grande agregação de plantas doentes em todas as situações analisadas.

Mudanças no arranjo espacial de plantas doentes no tempo, como verificado no presente estudo na maioria das situações, parecem ser comuns em outros patossistemas (Campbell & Madden, 1990; Jeger, 1990). A predominância do arranjo aleatório de plantas doentes no início das estações de cultivo, evoluindo para agregado no decorrer das avaliações, como verificado no presente estudo, pode indicar que as doenças foram originadas de aloinfecções pela chegada de inóculo externo à área de plantio e, posteriormente, seguidas por uma fase durante a qual as aloinfecções foram complementadas por autoinfecções decorrentes da disseminação secundária planta-a-planta do inóculo, assemelhando-se ao verificado na Holanda por Kocks *et al.* (1998b) e Kocks *et al.* (1999), quando analisaram o progresso espacial da podridão negra em plantios de repolho. Apesar da aparente distinção entre os processos de alo e autoinfecção, esses podem ter ocorrido simultaneamente durante todo o ciclo das culturas nas áreas analisadas.

A presença de grandes “clusters” de agregação de plantas doentes, constatada na maioria das situações no Agreste de Pernambuco, pode indicar que plantas infetadas serviram como fontes para infecções subsequentes dentro da mesma estação de cultivo (Gottwald *et al.*, 1996) e que os inóculos secundários dos patógenos foram disseminados a curtas distâncias (Kocks *et al.*, 1998b). Portanto, as elevadas incidências das doenças sugerem a presença de múltiplos focos dentro das áreas de plantio, originados de sementes ou mudas infetadas, restos culturais infetados e/ou estruturas de sobrevivência dos patógenos no solo. Caso essas fontes de inóculo sejam disponíveis em grande quantidade dentro da área de plantio, muitas vezes podem apresentar um arranjo aleatório e não permitir a distinção entre o efeito da chegada de inóculo exógeno e o efeito da disseminação secundária a curta distância (Kocks *et al.*, 1998b).

A predominância da agregação de plantas doentes dentro das linhas, como evidenciada pela análise de autocorrelação espacial em relação à podridão negra e à alternariose, é mais um forte indício da disseminação planta-a-planta do inóculo (Gottwald *et al.*, 1996) e assemelha-se ao constatado por Strandberg (1973) para a podridão negra em repolho.

A similaridade dos resultados obtidos entre as análises de “ordinary runs” e autocorrelação espacial é surpreendente, pois, conforme evidenciado por Gottwald *et al.* (1996), “ordinary runs” têm limitações devido a ser unidimensional, detectar a agregação da doença somente entre plantas imediatamente adjacentes e não permitir a verificação de

processos espaciais, que podem somente ser detectados por análises baseadas em distância. Além disso, a análise de “ordinary runs” e o ajuste à distribuição beta-binomial indicam apenas a presença ou ausência de agregação, sem fornecer informações sobre o tamanho, proximidade, efeitos ou direção da agregação das plantas doentes, o que é obtido pela análise de autocorrelação espacial.

A ausência de correlações significativas entre incidência das doenças e grau de agregação de plantas tem sido constatada em outros patossistemas, embora Kocks *et al.* (1998b) e Kocks *et al.* (1999) tenham obtidos correlações significativas entre essas variáveis ao analisarem o progresso espaço-temporal da podridão negra em repolho.

Como a dispersão é resultante das características reprodutivas, dispersivas e interativas de um patógeno, enquanto o arranjo de unidades básicas reflete a heterogeneidade das condições do campo e as fontes de inóculo (Gaunt & Cole, 1992), estudos adicionais sobre a dispersão do inóculo de *X. campestris* pv. *campestris* e *A. brassicicola* necessitam ser realizados nas condições do Agreste de Pernambuco para o melhor entendimento da dinâmica das doenças e o estabelecimento de medidas de controle adequadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro, e aos agricultores do Agreste de Pernambuco, que permitiram a realização do presente estudo em suas propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, S.S., MICHEREFF, S.J. & MARIANO, R.L.R. Levantamento da intensidade da podridão negra e da alternariose do repolho no Agreste de Pernambuco e determinação do tamanho das amostras para quantificação dessas doenças. *Summa Phytopathologica* 26:299-306. 2000.
- BERGAMIN FILHO, A. Curvas de progresso da doença. In: Bergamin Filho, A., Kimati, H. & Amorim, L. (Eds.) *Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos*. 3. ed. São Paulo. Agronômica Ceres. 1995. v.1, pp.602-626.
- CAMPBELL, C.L. & MADDEN, L.V. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. New York. John Wiley & Sons. 1990.
- CONN, K.L., TEWARI, J.P. & AWASTHI, R.P. A disease assessment key for *Alternaria* blackspot in rapeseed and mustard. *Canadian Plant Disease Survey* 70:19-22. 1990.
- DZHALILOV, F.S. & TIWARI, R.D. Soil and cabbage plant debris as infection sources of black rot. *Archives für Phytopathologische und Pflanzenschutz* 28:383-387. 1995.
- FONTEM, D.A., BERGER, R.D., WEINGARTNER, D.P. & BARTZ, J.A. Progress and spread of dark leaf spot in cabbage. *Plant Disease* 75:269-274. 1991.
- FRY, W.E. Quantification of general resistance of potato cultivars

- and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology* 68:1650-1655. 1978.
- GAUNT, R.E. & COLE, M.J. Spatial analysis of wheat stripe rust epidemics. *Crop Protection* 11:131-137. 1992.
- GOTTWALD, T.R., CAMBRA, M., MORENO, P., CAMARASA, E. & PIQUER, J. Spatial and temporal analyses of citrus tristeza virus in eastern Spain. *Phytopathology* 86:45-55. 1996.
- GOTTWALD, T.R., RICHIE, S.M. & CAMPBELL, C.L. LCOR2 - Spatial correlation analysis software for the personal computer. *Plant Disease* 76:213-215. 1992.
- HUMPHERSON-JONES, F.M. Survival of *Alternaria brassicae* and *Alternaria brassicicola* on crop debris of oilseed rape and cabbage. *Annals of Applied Biology* 115:45-50. 1989.
- HUMPHERSON-JONES, F.M. & PHELPS, K. Climatic factors influencing spore production in *Alternaria brassicae* and *Alternaria brassicicola*. *Annals of Applied Biology* 114:449-459. 1989.
- JEGER, M.J. Mathematical analysis and modeling of spatial aspects of plant disease epidemics. In: Kranz, J. (Ed.) *Epidemics of Plant Diseases: Mathematical Analysis and Modeling*. 2. ed. Heidelberg. Springer-Verlag. 1990. pp.53-95.
- KOCKS, C.G. Black rot cabbage in The Netherlands: studies on spatial and temporal development (Ph.D. Thesis). Wageningen. Wageningen Agricultural University. 1998.
- KOCKS, C.G. & RUISSSEN, M.A. Measuring field resistance of cabbage cultivars to black rot. *Euphytica* 91:45-53. 1996.
- KOCKS, C.G., RUISSSEN, T.A., ZADOKS, J.C. & DUIJKERS, M.G. Survival and extinction of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in soil. *European Journal of Plant Pathology* 104:911-923. 1998a.
- KOCKS, C.G. & ZADOKS, J.C. Cabbage refuse piles as sources of inoculum for black rot epidemics. *Plant Disease* 80:789-792. 1996.
- KOCKS, C.G., ZADOKS, J.C. & RUISSSEN, T.A. Response of black rot in cabbage to spatial distribution of inoculum. *European Journal of Plant Pathology* 104:713-723. 1998b.
- KOCKS, C.G., ZADOKS, J.C. & RUISSSEN, T.A. Spatio-temporal development of black rot (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) in cabbage in relation to initial inoculum levels in field plots in The Netherlands. *Plant Pathology* 48:176-188. 1999.
- KRANZ, J. The methodology of comparative epidemiology. In: Kranz, J. & Rotem, J. (Eds.) *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology*. Heidelberg. Springer-Verlag. 1988. pp.279-290.
- MADDEN, L.V. & HUGHES, G. BBD - Computer software for fitting the beta-binomial distribution to disease incidence data. *Plant Disease* 78:536-540. 1994.
- PLAUT, J.L. & BERGER, R.D. Infection rates in three pathosystems initiated with reduced disease severities. *Phytopathology* 71:917-921. 1981.
- RAMSEY, G.B. & SMITH, M.A. Market diseases of cabbage, cauliflower, turnips, cucumbers, melons and related crops. Washington. U.S. Department of Agriculture. 1961.
- STRANBERG, J. Spatial distribution of cabbage black rot and the estimation of diseased plant populations. *Phytopathology* 63:998-1003. 1973.
- VERMA, P.R. & SAHARAN, G.S. Monograph on *Alternaria* Diseases of Crucifers. Saskatoon. Minister of Supply and Services Canada. 1994.