



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE DOUTORADO**

**EPIDEMIOLOGIA DA PODRIDÃO VERMELHA DO SISAL NO  
ESTADO DA BAHIA**

**KATIA CRISTINA LEÃO DE MAGALHÃES ABREU**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
JULHO – 2010**

# **EPIDEMIOLOGIA DA PODRIDÃO VERMELHA DO SISAL NO ESTADO DA BAHIA**

**KATIA CRISTINA LEÃO DE MAGALHÃES ABREU**  
Engenheira Agrônoma  
Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, 1982

Tese de Doutorado submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Fitotecnia.

**Orientadora: Profa. Dr<sup>a</sup>. Ana Cristina Fermino Soares**  
**Co- orientador: Dr. Francisco Ferraz Laranjeira**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2010

### FICHA CATALOGRÁFICA

A162 Abreu, Kátia Cristina Leão de Magalhães.  
Epidemiologia da podridão vermelha do sisal no  
Estado da Bahia. / Kátia Cristina Leão de Magalhães  
Abreu.\_ 2010.  
100 f; il.

Orientadora: Ana Cristina Fermino Soares.

Co-orientador: Francisco Ferraz Laranjeira.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal  
do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências  
Agrárias, Ambientais e Biológicas. Área de  
Concentração: Fitopatologia.

1. Sisal – Brasil – Nordeste. 2. Sisal – fitopatologia. I.  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – Centro de Ciências  
Agrárias, Ambientais e Biológicas.. II. Título.

## COMISSÃO EXAMINADORA

---

Dra. Ana Cristina Fermino Soares  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB  
(Orientadora)

---

Dra. Maria de Fátima Silva Pinto Peixoto  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB

---

Dr. Aristóteles Pires de Matos  
Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical

---

Dr. Samy Jorge Michereff  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRP

---

Dr. Zilton José Maciel Cordeiro  
Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias em .....

Conferindo o Grau de Doutor em Ciências Agrárias em

.....

A Aramis, Ricardo e Alexandre, razão atual do meu existir.

Aos meus pais Tereza e Hildebrando (in memoriam) que além de me darem a vida, me moldaram o caráter e sonharam esta conquista antes de mim.

E a D. Eglantina e Cecé que me amam como filha.

## **Dedico**

“Sonho que se sonha só.  
É só um sonho que se sonha só.  
Mas sonho que se sonha junto é realidade.”

Raul Seixas

“Tudo que for importante para você,  
entrega ao Espírito Santo e confia.”  
Tereza Leão de Magalhães

“A felicidade é alcançar o que se  
deseja.”

Hildebrando de Oliveira Magalhães

## **Agradecimentos**

Aos companheiros de todas as viagens Cleômenes e Erivaldo, que foram parte integrante da caminhada até aqui.

À Agência Estadual de Defesa Agropecuária da Bahia (ADAB), representados por Dr. Cássio Ramos Peixoto, Diretor Geral pelo incentivo e apoio logístico e financeiro na realização deste trabalho.

À Prof<sup>a</sup> Ana Cristina Fermino Soares pela orientação, entusiasmo e amizade demonstrada durante todo o tempo.

Ao Dr. Francisco Ferraz Laranjeira pela orientação segura e competente, realização das análises e amizade.

Aos profissionais e colegas do Laboratório de Fitopatologia da UFRB, especialmente Marizete, Lene e Jefferson pela ajuda fundamental na execução dos trabalhos.

Aos colegas do doutorado, especialmente Jeferson e Patricia , que muito contribuíram na coleta de dados e implantação da áreas.

Aos meus sempre “orientadores” Dr. Zilton, Dr. Aristóteles e Dr. Hermes, pelas orientações e sugestões pertinentes.

Aos irmãos queridos Clovis e Fátima pelo apoio, sugestões e incentivo e aos seus filhos Caio, Samantha, Ícaro e Gabriel.

À minha família de Cruz das Almas D. Zinha, Loura, Vina, Gisela e Didi onde nunca me falta uma palavra amiga e um café nas horas de desânimo.

À Oto, Luciana, Maria e Martinha por terem se tornado tão importantes em minha vida.

Aos produtores Srs. Daniel, Martilo, Dermival, José, Venâncio, Manoel, Nen, Hermínio e Enésio que gentilmente cederam as áreas para acompanhamento espaço- temporal da doença e se fizeram parceiros no trabalho e amigos.

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos pela torcida e incentivo constantes.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO	01
<b>Capítulo 1</b>	
INFECÇÃO E COLONIZAÇÃO DE MUDAS DE SISAL ( <i>Agave sisalana</i> Perrine.) POR <i>Aspergillus niger</i>	15
<b>Capítulo 2</b>	
PREVALÊNCIA, INCIDÊNCIA E ARRANJO ESPACIAL DA PODRIDÃO VERMELHA DO SISAL NA BAHIA	34
<b>Capítulo 3</b>	
DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA PODRIDÃO VERMELHA DO SISAL NO ESTADO DA BAHIA	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS	88

## **EPIDEMIOLOGIA DA PODRIDÃO VERMELHA DO SISAL NO ESTADO DA BAHIA**

Autora: Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu

Orientadora: Ana Cristina Fermino Soares

Co- Orientador: Francisco Ferraz Laranjeira

Resumo: O Brasil é o maior produtor mundial de sisal e o estado da Bahia o principal produtor, contribuindo com 94% da produção nacional. A podridão vermelha do sisal é o principal problema fitossanitário da cultura. A doença induz sintomas de amarelecimento e murcha das folhas e descoloração avermelhadas dos tecidos da base do caule que evolui para podridão interna e morte da planta. O presente trabalho se constitui num estudo pioneiro sobre a epidemiologia da podridão vermelha do sisal na Bahia, com os seguintes objetivos: identificar o agente etiológico de lesões observadas em estolões de sisal no campo, estudar a incidência da doença em mudas com e sem estolão, submetidas à inoculação e ferimento, e a probabilidade de ocorrência desta doença em plantas submetidas a condições de estresse: ferimento e período de estiagem; determinar o número mínimo de amostras para quantificação da podridão vermelha do sisal; determinar a prevalência e incidência; caracterizar a distribuição espacial da doença no âmbito da região sisaleira da Bahia; estudar o progresso da podridão vermelha do sisal no tempo e o arranjo espacial das plantas, visando caracterizar a dinâmica da doença em plantios da Microrregião de Serrinha, no Estado da Bahia. O estudo sobre prevalência e incidência foi conduzido em 46 áreas na Microrregião de Serrinha na Bahia por três anos consecutivos (2006 a 2008). A dinâmica espaço-temporal da doença foi estudada em nove áreas localizadas nos municípios de Araci, Barrocas, Conceição do Coité, Retirolândia, São Domingos e Valente, mediante o acompanhamento periódico da evolução dos sintomas em 400 plantas, durante o período de janeiro de 2008 a março de 2010. Para o mapeamento, 400 plantas foram marcadas em cada área e a posição de cada planta em relação às demais e o grau de severidade da doença foram registrados,



de acordo com a escala diagramática, para cada área, em cada avaliação. A distribuição espacial foi determinada com auxílio do programa computacional 2DCORR e a confecção dos mapas de área isópatas para áreas de maior incidência. Foram feitas ainda as análises da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e da taxa absoluta de progresso da doença para se verificar a influência da incidência inicial no progresso da doença em área. A probabilidade de incidência da doença foi de 100% e 5% nas mudas com e sem ferimento, respectivamente, e a severidade foi maior nas mudas com ferimento. Este trabalho também indica que os estolões são suscetíveis a infecção por *Aspergillus niger*. A prevalência da podridão vermelha foi de 100% nos municípios estudados. A incidência média variou entre 5 e 40%. Os mapas de áreas isopátas revelaram tendência à aglomeração das áreas com maiores incidências da doença ao Nordeste e Centro da Região estudada, nos três anos, o que foi confirmado pelo Índice de Dispersão, indicando que embora de ocorrência generalizada, a distribuição espacial da doença é agregada na Microrregião de Serrinha. Entretanto, dentro das áreas de plantio, a doença ocorre de forma aleatória e alternando períodos de aumento e de estabilidade da incidência, sendo a incidência inicial da doença na área responsável por 82 % das diferenças encontradas nas curvas de progresso da doença

Palavras – chave: *Agave sisalana*, *Aspergillus niger*, incidência e severidade estolão, rebentão.

## **EPIDEMIOLOGY OF SISAL RED ROT DISEASE IN THE STATE OF BAHIA, BRAZIL**

Autor: Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu

Advisor: Ana Cristina Fermino Soares

Co-advisor: Francisco Ferraz Laranjeira

**Abstract:** Brazil is the world's greatest producer of sisal (*Agave sisalana Perrine*), and the State of Bahia is the main producer, contributing with 94% of Brazil's production. Sisal red rot disease is the main phytosanitary problem of this crop. This disease causes symptoms of pale green to yellowish and wilted leaves, and a reddish discoloration of internal stem tissue, which later becomes rotten and causes plant death. The present work is a pioneer study on epidemiology of sisal red rot disease in the State of Bahia, Brazil, which aimed to: identify the etiologic agent of lesions observed on sisal stolons in the field, the disease incidence in sisal plants with and without stolons, submitted to injury and inoculation, the probability of disease occurrence in plants submitted to stress conditions: injury and drying period; the minimum number of plant sampling for quantification of sisal red rot disease; disease prevalence and incidence in the field; to establish the spatial and temporal patterns of sisal red rot disease in order to characterize the dynamics of this disease in sisal producing areas of the micro-region of Serrinha, in the State of Bahia. Prevalence and incidence study was conducted in 46 areas in the micro-region of Serrinha, in Bahia, for three consecutive years (2006 to 2008). Disease spatial and temporal analysis was performed in nine sisal producing areas, located in the municipalities of Araci, Barrocas, Conceição do Coité, Retirolandia, São Domingos and Valente, by monitoring the evolution of

symptoms in affected plants and the appearance of new symptomatic plants, during the period from January of 2008 to March of 2010. For mapping the areas, 400 plants were marked in each area and the positions relative to the other were recorded, along with monitoring of plant phytopathological status, according to the disease diagrammatic scale, at each evaluation period and area. The spatial distribution of disease was performed with the aid of software 2DCORR, and also maps of isopath areas of areas with highest incidence were elaborated. In addition, the area under disease progress curve (AUDPC) and the absolute rate of disease progress were estimated to evaluate the influence of initial disease incidence on disease progress in the field. Probability of disease incidence was of 100% and 5% for sisal plants with and without injury, respectively, and severity was also higher in injured plants. Sisal stolons are susceptible to infection by *Aspergillus niger*. Disease prevalence was 100% in studied municipalities. Average incidence of sisal red rot disease in studied municipalities varied between 5 and 40%. Maps of isopath areas revealed a tendency for agglomeration of areas with highest disease incidence in the Northeastern and Central region of the studied sisal micro-region of Serrinha, for the three years evaluated. This result was confirmed by the dispersion index, which indicates that, although it presents a widespread occurrence, disease spatial distribution is aggregated in the micro-region of Serrinha. However, disease occurs randomly within the planting area, alternating with periods of increase in incidence and periods of stability. The initial disease incidence in sisal fields responds for 82% of the differences observed for the disease progress curves.

Key-words: *Agave sisalana*, *Aspergillus niger*, incidence, severity, stolons, seedlings.

## INTRODUÇÃO

### **Importância econômica da cultura do sisal**

A importância da cultura do sisal (*Agave sisalana*) é fruto não só da geração de emprego que possibilita a fixação do homem em regiões semi-áridas, onde vivem comunidades das mais carentes do Brasil, em Estados do Nordeste, mas também porque seus produtos, especialmente a fibra, são importantes fontes de divisas. No período correspondente a safra 2008/2009 foram exportadas 78,6 mil toneladas de fibra de sisal gerando uma receita de 88,6 milhões de dólares. O Brasil, com 47% da produção, seguido da Tanzânia (15%), China (15%) e Quênia (12%) são os maiores produtores mundiais de sisal. Os Estados Unidos e China são os principais importadores, absorvendo 45% e 22% da produção brasileira, respectivamente (SECEX, 2009).

O Nordeste é a única região brasileira produtora e o Estado da Bahia, onde o sisal é o décimo produto da pauta de exportação, é o maior produtor, contribuindo com aproximadamente 94% da produção nacional (CONAB, 2008).

A cultura do sisal gera renda para aproximadamente 700.000 pessoas distribuídas em 74 municípios do semi-árido baiano. Plantios da cultura ocupam cerca de 288.860 ha naqueles municípios, sendo que em mais da metade deles, o sisal se constitui numa das poucas alternativas de produção agrícola e na principal fonte de renda da população (CONAB, 2008).

## A planta

O sisal (*Agave sisalana* Perrine), originário da península de Yucatan (México), adaptou-se muito bem ao semi-árido Nordeste, onde é cultivado em largas extensões.

É uma monocotiledônea da família Agavaceae, subfamília Agavoidea. É uma espécie perene, plurianual, porém monocárpica, fenecendo depois do processo da frutificação, que normalmente demora de 5 a 15 anos para ocorrer e se completar, dependendo das condições ecológicas e dos tratamentos culturais. Tem folhas grandes, que variam de 1,2 a 2,0m de comprimento e cerca de 10 cm de largura, dispostas em espiral, carnosas, duras, de coloração verde-lustrosa, convexas e canaliculadas na parte superior, apresentando ápice pungente, com espinho terminal castanho-escuro, com 4 a 5 mm de largura e 20 a 25 mm de comprimento, bordos retos e tipicamente inermes, às vezes com alguns espinhos rudimentares, raramente com muitos espinhos marginais, e pendão floral de aproximadamente 6 a 9 metros de altura por 15cm de diâmetro. Suas folhas fornecem fibras têxteis de boa qualidade, muito utilizadas nas indústrias de cordoalha em geral. (MEDINA, 1954).

O sistema radicular da planta de sisal é típico das monocotiledôneas, sendo fasciculado, fibroso e em forma de tufo, sem a presença de uma raiz principal. As raízes são de dois tipos: as transportadoras e as assimiladoras ou alimentadoras. As primeiras são longas e bem ramificadas, estendendo-se radialmente da base da planta para as camadas do solo e são responsáveis pela fixação da planta ao solo. Tais raízes podem chegar a mais de três metros de comprimento, enquanto as raízes alimentadoras estão inseridas sobre as transportadoras, são mais finas e sua função é absorver água e nutrientes. O sisal é quase acaulescente, isto é, tem apenas um eixo principal no qual os trofófilos (folhas) se inserem e armazenam água e nutrientes. (SINDIFIBRAS, 2006)

O tipo de propagação mais comum é através de rebentões (filhotes) e bulbilhos. Os filhotes ou rebentões, como normalmente são chamados, são mudas que nascem ao lado das plantas-mãe e se ligam a elas através de estolões. Os bulbilhos são pequenas plantas que se desenvolvem nos pendões florais, após a queda das flores. Tanto um como outro são absolutamente iguais à planta-mãe. (OASHI 1999), o que sob o ponto de vista fitopatológico constitui em

uma desvantagem, aumentando a probabilidade de ocorrência de doenças, em função da estreita base genética da cultura.

O sisal floresce apenas uma vez. A inflorescência é uma panícula de forma variável, em geral oblongo-piramidal contendo entre 25 a 40 ramos principais com média de 40 flores. As flores são hermafroditas e grupadas em cachos situados no final de cada ramo das panículas; o perianto é formado de seis sépalas unidas na base, enquanto o ovário se situa abaixo da inserção das demais partes da flor. A polinização é, em geral, realizada por insetos. Os frutos do sisal são cápsulas com cerca de 3cm de comprimento e 2cm de diâmetro, com três lóculos, nos quais as sementes, delgadas, de forma redondo-triangular, cor preta e bastante leves, se distribuem em duas colunas (SINDIFIBRAS, 2006).

A planta apresenta boa resistência ao ataque de pragas, em função da estrutura da folha que apresenta estômatos em forma de cripta, característicos das plantas com fisiologia CAM (Metabolismo ácido crassuláceo) e de sua rusticidade natural (MEDINA, 1954). Apesar dessas características, na Bahia tem sido constatado um aumento significativo na incidência da podridão vermelha do sisal, Sindifibras (2006), resultando em perdas consideráveis para os produtores.

### **Aspectos gerais da podridão vermelha do sisal**

A podridão vermelha do sisal é também conhecida como podridão do caule do sisal, podridão vermelha do tronco, podridão do cepo, podridão úmida do cepo ou ainda podridão parda do colo. A doença foi constatada pela primeira vez no Brasil no Estado da Paraíba, segundo dados de Machado (1951), citado por Medina (1954). Na Bahia, foi observada pela primeira vez na fazenda Mandacaru, município de Santaluz, em um plantio comercial de 500 hectares (LIMA et al. 1998).

A podridão vermelha do sisal afeta plantas em qualquer estágio de desenvolvimento e induz a descoloração avermelhada dos tecidos internos do caule, evoluindo para podridão, resultando na morte da planta. Externamente as folhas ficam amarelas e murchas (COUTINHO, 2006).

Embora a doença possa ser observada em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, aquelas submetidas a estresse nutricional e ou hídrico se tornam mais predispostas (MEDINA, 1952)

Não existe controle curativo para a podridão vermelha do sisal. Algumas medidas preventivas têm sido recomendadas no manejo da doença, tais como arrancar e queimar plantas sintomáticas, utilizar rebentos provenientes de campos saudáveis para implantação de novos campos e utilizar o resíduo do desfibramento como adubação orgânica para melhorar a fertilidade do solo (SILVA, 2008). Ainda que estas medidas sejam corriqueiramente usadas no controle de patógeno de solos, Mello Junior et. al. (2009) em um experimento conduzido em dois plantios de sisal em diferentes regiões da Bahia, demonstrou que apenas o uso de práticas culturais como arranquio e queima de plantas doentes e desinfestação de ferramentas não são capazes de promover o controle da doença.

Embora desde a década de 50 já houvesse registro da podridão vermelha do sisal no Brasil, não foi encontrado na literatura científica nenhum estudo epidemiológico sobre a mesma. No que pode ser visto como sinal dessa carência de informações, Coutinho et al. (2006), e Suinaga (2006) citando Alves et al. (2004) referem-se de maneira muito geral a uma incidência variando de 5% a 40% nos sisalais brasileiros.

### **O agente etiológico – *Aspergillus niger***

*Aspergillus niger* Van Tieghem foi identificado como o agente causal da podridão vermelha do sisal nos estados da Paraíba e Bahia (COUTINHO et al., 2006; SOARES et al., 2006). É um fungo filamentosos, pertencente à ordem Eurotiales, Família Tricomaceae e Filo Ascomiceto (DEEPAKE, 2009). Possui crescimento aeróbico e é encontrado na serrapilheira e na matéria orgânica em decomposição (SCHUSTER et al., 2002).

Normalmente provoca doenças de pós-colheita tais como podridões em uva, figo, milho e cebola (CIA et al., 2009; FREIRE, 2006; SANTIN et al., 2004, NUNES et al., 1997). Em caju, é o agente etiológico da “Kernel rot” que afeta os frutos verdes, ocasionando a podridão seca da amêndoa (MELLO et al. 1999). Em amendoim, provoca a podridão do colo, principalmente em solos com baixos teores de matéria orgânica, podendo resultar em perdas de produção superiores a 50%, devido a morte de plântulas (MORAES et al., 1997).

É um fungo considerado oportunista, que só penetra em tecidos injuriados do hospedeiro, necessitando de lesões de origem mecânica ou fisiológica para

que se dê a infecção (LIMA et. al.,1998). Roger (1953) citado por Souza Filho et al.(1979), relatam que a capacidade de penetração e colonização de *A. niger* depende do estado em que se encontra o hospedeiro pois, quando submetidas a algum tipo de estresse, as plantas ficam mais predispostas à infecção.

De acordo com Shuster et, al. (2002), o *A. niger* cresce na faixa de temperatura de 6 a 47°C, com ótimo de temperatura variando entre 35 e 37°C, e na faixa de pH entre 1,4 e 9,8. RIPPEL &BALDES 1955, citados por DEEPAKE (2009) ressaltam que essas características além da produção de conidiosporos e sua dispersão pelo ar, garantem que ele frequentemente esteja presente em ambientes com alta temperatura e umidade.

Por ser um fungo necrotrófico, continua seu ciclo de vida sobre a planta senecida ou em restos culturais sobre o solo. O micélio continua a colonizar os tecidos mortos, nutrindo as estruturas reprodutivas, as quais, por sua vez, produzem esporos por tanto tempo quanto existirem nutrientes para o patógeno. Disseminação pelo vento é comum em plantios de amendoim, cultura na qual *A. niger* , é o agente etiológico da podridão da coroa e pode causar perdas superiores a 50% (KUCHAREK, 2005).

### **Estudos epidemiológicos da doença**

“A epidemiologia é o ramo ecológico da Fitopatologia. Trata das populações de plantas e dos patógenos e de suas dinâmicas. Essas dinâmicas resultam de suas interações com os fatores do ambiente e a interferência de várias atividades dos homens, incluindo o controle das doenças” (KRANZ, 2004). Esta definição permite concluir que o estudo epidemiológico é a base para o manejo integrado de uma praga, uma vez que estão envolvidos todos os elementos do tetraedro da doença: patógeno, hospedeiro, ambiente e o homem.

Alguns elementos básicos devem ser definidos antes de se iniciar o estudo epidemiológico mais detalhado da doença: amostragem, prevalência e incidência.

A importância da amostragem advém da impossibilidade de se acessar todo universo amostral. Assim, toma-se uma amostra formada por um determinado número de unidades amostrais, que deverão ser representativas do universo amostral. Incidência, severidade e padrão espacial de doenças dependem dos dados obtidos por amostragens de campo (COOKE, 2006).



A amostragem é uma das mais importantes atividades no estudo de epidemias e no manejo de doenças de plantas, pois permite a obtenção de estimativas representativas das características da epidemia a um custo reduzido, com a maior exatidão e precisão possível, possibilitando o ajuste entre o que é biológica e estatisticamente razoável (MICHEREFF, 2006). Para realização de qualquer sistema amostral, é fundamental que se faça uma amostragem-piloto, onde o estudo da variação da característica estudada possibilita o cálculo do tamanho da amostra (AMORIM, 1995).

Para quantificação de doenças, as plantas devem ser amostradas criteriosamente a fim de que a amostra seja representativa da população original, pois apenas quando uma doença é mensurada corretamente é que se pode demonstrar sua real importância (AMORIM, 1995).

A amostragem para dados de incidência é de fundamental interesse para estudos epidemiológicos que visem diagnósticos precisos e intervenções seguras no manejo integrado de doenças de plantas. As estratégias de manejo integrado dependem do conhecimento da dinâmica da população dos patógenos ou de seus efeitos no campo. Para tanto, medidas precisas da severidade ou da incidência das doenças são essenciais e dependem de planos amostrais específicos (CZERMAINSKI, 2001).

A prevalência diz respeito ao número de áreas encontradas com presença da doença, sendo calculada em termos de porcentagem de áreas com pelo menos uma planta doente em relação ao universo amostrado (XU, 2006).

A incidência é a característica de mais fácil e rápida quantificação, com alta acurácia e precisão. É expressa em números de plantas com murcha, de órgãos com carvão, de raízes com galhas, de galhas por raiz, de folhas e ou frutos com lesão ou de plantas com viroses, sendo uma medida apropriada para avaliação em doenças resultantes do ataque de patógenos de solo que causam murchas e podridões e em estudos de dinâmica populacional (VALE et al. 2004).

Complementar aos dados de prevalência e incidência, podem também ser necessária a determinação da severidade da doença, sendo mais apropriada para quantificar doenças foliares como ferrugens, oídios, míldios e manchas, neste caso, a porcentagem da área de tecido coberto por sintomas retrata melhor a quantidade de doença do que a incidência. Normalmente o cálculo da severidade é trabalhoso caso o número de amostras seja muito grande. Chaves descritivas

são utilizadas para auxiliar neste processo. No entanto, é fundamental que o estágio de desenvolvimento da cultura e órgão da planta amostrado, seja bem definido (BERGAMIN FILHO, 1996).

### **Análise da dinâmica da doença**

O estudo da dinâmica da doença permite a definição de medidas de controle mais precisas, permitindo o estabelecimento do momento mais apropriado a serem implementadas as ações de controle, em função da interação patógeno, hospedeiro e ambiente (VALE, 2004; XU, 2006; JESUS JUNIOR, 2004; BERGAMIN FILHO, 2004).

O estudo epidemiológico das doenças constitui-se em ferramenta importante para ampliar nosso entendimento de como as doenças se manifestam nos hospedeiros e como outros fatores influenciam seu desenvolvimento. O conhecimento amplo de todas as características de uma epidemia, temporais e espaciais, possibilita uma visão mais completa da estrutura e do comportamento de patossistemas. Neste contexto o estudo espaço-temporal, fornece dados que permitem uma melhor compreensão do triângulo da doença (BERGAMIN FILHO et. al. 2004).

Van der Plank (1963), foi o primeiro a propor o uso do estudo do acompanhamento da dinâmica temporal das doenças de plantas, como forma de conhecer o patossistema e suas relações com o meio ambiente e utilizar estes dados no estabelecimento de estratégias de controle das doenças de plantas (XU, 2006, JESUS JUNIOR et. al. 2004).

As curvas de progresso da doença podem ser construídas para qualquer patossistema, seja a cultura anual ou perene; seja o patógeno ou agente etiológico fungo, vírus, nematóide ou outro; seja a epidemia de curta ou longa duração; seja a área de ocorrência da epidemia um continente, um país, uma região, um município, uma área ou mesmo uma única planta ou parte desta (BERGAMIN FILHO, 1995). Características das curvas de progresso da doença como taxa de progresso ( $r$ ), a assíntota máxima, a duração da epidemia e área abaixo da curva de progresso da doença, podem ser usadas para a caracterização das epidemias e na comparação da influência de diversos fatores no comportamento desses sistemas (BARBOSA, 2002).

A curva de progresso temporal da doença é o resultado da dinâmica da doença no tempo e representa o efeito de interações complexas entre hospedeiros, patógenos, ambiente e agricultura (XU, 2006). Complementar ao estudo da curva de progresso temporal, o estudo do padrão espacial constitui uma ferramenta importante para entendimento da dinâmica de epidemias, revelando a forma como a doença se espalha e ajudando no desenvolvimento de programas de controle (SPARKS et. al. 2008). Neste caso, a intensidade da doença é plotada graficamente em relação ao espaço, a partir de uma fonte de inóculo, denominando-se gradiente de doença (JESUS JUNIOR et. al. 2004).

Três classificações são freqüentemente utilizadas quando se discute os padrões espaciais: agregado, aleatório e regular (CAMPBELL e MADDEN, 1990). A dispersão espacial de patógenos e o resultante padrão espacial da doença são determinados pelos mecanismos de dispersão do patógeno e da doença respectivamente (McCARTNEY e FITT, 1998).

Doenças disseminadas pelo vento geralmente apresentam padrão aleatório, porque os propágulos são dispersos a longas distâncias em um curto período de tempo, enquanto que aquelas dispersas por respingos de chuva têm um padrão agregado, por se dispersarem mais lentamente ao redor dos focos primários (BERGAMIN FILHO, 1996).

Doenças veiculadas por patógenos de solo também tendem a resultar em um padrão mais agregado, uma vez que como o patógeno não pode se dispersar a longas distâncias, exceto no caso daquelas que podem ser transportadas em enxurradas, nas partículas do solo, o contágio ocorre principalmente planta a planta (LUCAS, 2006).

O mapa de progresso da doença é outra ferramenta freqüentemente utilizada em análises para se compreender a dinâmica espaço-temporal de epidemias. O mapeamento do progresso da doença através de avaliações periódicas em uma área fornece dados que resultam em retratos de uma mesma epidemia vistos de forma bi ou tridimensional, possibilitando a visualização rápida da dispersão da doença no tempo e no espaço, e permitindo inferir sobre a influências edafoclimáticas neste processo (CAMPBELL e MADDEN, 1990).

Sendo a epidemia uma conseqüência do desenvolvimento de muitos focos individuais de doença, entender como a doença se dispersa a partir de um foco inicial, é fundamental para se estabelecer a dinâmica espaço-temporal da doença

(McCARTNEY et. al. 2006). Os cálculos de índices de dispersão possibilitam através da aplicação de fórmulas matemáticas, definir o padrão de dispersão da doença em: aleatório, quando ocorre de forma randômica na região estudada; agregado, quando ocorrem aglomerações entre áreas com mesmo nível de incidência da doença; ou uniforme, quando a doença se encontra distribuída uniformemente em todas a área estudada.

Alguns modelos epidemiológicos tais como: Logístico, Gompertz e Monomolecular são considerados clássicos no estudo das curvas de progresso. Embora um modelo matemático não explique todas as nuances de um patossistema, é uma ferramenta importante para a comparação de epidemias, distinção de variedades, etc, bem como é auxiliar na quantificação de danos e perdas (BERGAMIN FILHO, 2004).

Nesse contexto de importância da epidemiologia e ausência de estudos sobre o assunto, o presente trabalho teve como base as seguintes hipóteses:

1. A caracterização da distribuição em mesoescala espacial da podridão vermelha do sisal forneceria informações sobre a prevalência e incidência da doença, fornecendo a base para aplicação regional de eventuais estratégias de controle;
2. O conhecimento da dinâmica espaço-temporal da podridão vermelha do sisal forneceria informações que poderiam ser relacionadas às possíveis formas de disseminação da doença e estratégias de dispersão do patógeno

Desta forma, objetivou-se:

- 1) determinar o número mínimo de amostras para quantificação da podridão vermelha do sisal, determinar a prevalência e incidência, e caracterizar a distribuição espacial da doença no âmbito da região sisaleira da Bahia.
- 2) estudar o progresso da podridão vermelha do sisal no tempo bem como o arranjo espacial das plantas visando caracterizar a dinâmica da doença em plantios da Microrregião de Serrinha no Estado da Bahia; e
- 3) determinar o agente etiológico de lesões infectadas em estolões; estudar a infecção por *A. niger* na raiz, caule e estolões de plantas de sisal e avaliar a probabilidade de ocorrência desta doença em plantas submetidas a condições de estresse: ferimento e período de estiagem.

### Referências bibliográficas

- AMORIM, L. Avaliação de doenças. In: BERGAMIN FILHO, A. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. Cap.32, p.647-671.
- BARBOSA, F. F. L., Epidemiologia da clorose variegada dos citros no Estado de São Paulo, Piracicaba, 2002, 158p. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- BERGAMIN FILHO Curvas de progresso da doença. In: BERGAMIN FILHO, A. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. Cap.30, p.602-625.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. São Paulo, Ceres. 1996, 299 p.
- BERGAMIN FILHO, A.; HAU, B. AMORIM, L.; JESUS JUNIOR, W.C Análise espacial de epidemias, Capítulo 5, p. 195 - 236. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas, Belo Horizonte, Ed. Perfil,, 2004, 531p.
- CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L. V. Introduction to plant disease epidemiology. New York: John Wiley, 1990. 532p.
- CIA, P; BENATO, E.A.; VALENTINI, S.R. de T.; ANJOS, V. D. A.; PONZO, F.S.; JULIANA SANCHES, J. ; TERRA, M. M. Radiação ultravioleta no controle pós-colheita de *Colletotrichum gloeosporioides* em uva 'niagara rosada'. **Bragantia** [online]. 2009, vol.68, n.4, p. 1010-1015.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Volume exportado e geração de divisas do sisal em 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 de maio de 2010.
- COOKE, B.M. **Disease assessment and yield loss**, Chapter 2, p. 43-80. In: COOKE, B. K.; JONES, D. G.; KAYE, B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.
- COUTINHO, W.M.; SUASSUNA, N.D.; LUZ, C.H.; SUINAGA, F.A.; SILVA, O.R.R.F. Bole rot of sisal caused by *Aspergillus niger* in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 605, 2006.

CZERMAINSKI, A. B. C.; SANHUEZA, R. M. V. Método de amostragem para estimar incidência de frutos com infecções latentes de *Glomerella cingulata* e *Botryosphaeria dothidea* em pomares de macieiras, **Comunicado Técnico**, n.41, dez. 2001, Bento Gonçalves, RS (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

DEEPAKE, U., (2009) Aero-microbiological studies of Moisture Affected Buildings in the Indoor Environment. Journal of Young Investigators. Vol. 19, Issue 11.

FREIRE, F. C. O.; PARENTE, G. B.; CARDOSO, B. B. Doenças da figueira (*Ficus carica* L.) no Estado do Ceará, Circular Técnica online, n.26, Embrapa Dezembro, 2006, Fortaleza – CE.

JESUS JUNIOR, W.C.; POZZA, A.E.; VALE, F.X.R.; MORA-AGUILERA, G. Análise temporal de epidemias, Capítulo 4, p. 127 - 188. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas, Belo Horizonte, Ed. Perfil, 2004, 531p.

KRANZ, J. Prefácio. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas, Belo Horizonte, Ed. Perfil, 2004, 531p.

KUCHAREK, T. Disease Control Program for peanuts extension Plant Pathology Report n. 12, Gainesville, Florida January, 2005, (Revision n.24)

LIMA, E.F.; MOREIRA, J. de A.N.; BATISTA, F.A.S.; SILVA, O.R.R.F.da; FARIAS, F.J.C.; ARAÚJO, A.E. Podridão vermelha do tronco do sisal (*Agave sisalana* Perr.) causada por *Botryodiplodia theobromae* Pat. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.2, n.2, p.109-112, 1998.

LUCAS, P. **Diseases caused by soil-borne pathogens**, chapter 14, p 373-386. In: COOKE, B. K.; JONES, D. G.; KAYE, B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

McCARTNEY, H.A.; FITT, B.D.L. Dispersal of foliar fungal plant pathogens: mechanisms gradients and spatial patterns. In JONES, D. G.(ed.) the epidemiology of plant diseases. Dordrecht: Kluwer, 1998.

McCARTNEY, H.A.; FITT, B.D.L. WEST, J.S. **Dispersal of foliar plant pathogens: mechanisms, gradients and spatial patterns**, chapter 6, p 159-186. In: COOKE,

B. K.; JONES, D. G.; KAYE, B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

MEDINA, J. C. **O Sisal**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Publicidade Agrícola, 1954, 286p.

MELLO JUNIOR, A.S.; TORRES, C.N.; ABREU, K.C.L.M.; Manejo da cultura do sisal visando o controle da podridão vermelha, resumo n.505, Tropical Plant Pathology, 34, (suplementos), agosto de 2009, Brasília, DF.

MELLO, Q. M. S.; TEIXEIRA, L. M. S.; BLEICHER, E.; RODRIGUES, S. M. M. Artrópodes e microrganismos associados ao cajueiro, Documentos, n.33, Novembro, 1999, Fortaleza: Embrapa, - CNPAT, 27 p.

MICHEREFF, S. J. **Desenvolvimento de sistemas de amostragem aplicados ao manejo de doenças de plantas (Palestra 7)** In: Fitopatologia Brasileira, v. 31 (Suplemento), agosto 2006, Brasília, DF. ISSN 0100-4158.

MORAES, S. A.; GODOY, I.J. Amendoim (*Arachis hypogaea* L.) Controle de doenças. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIN, L. (Eds). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais, p.1-43, 1997.

NUNES, M. E. T.; KIMATI, H. **Doenças do alho e da cebola.** (*Allium sativum* L. e *Allium cepa* L.) Capítulo 7, p.49- 64 In: KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M., Manual de Fitopatologia, v.2: Doenças de plantas cultivadas, ed. 3<sup>a</sup>, Editora Agronômica Ceres, 1997, 776 p. São Paulo, SP.

OASHI, M. da C. G. **Estudo da cadeia produtiva como subsídio para pesquisa e desenvolvimento do agronegócio do sisal na Paraíba**. 1999. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

RIPPEL-BALDES A. Grundzüge der Mikrobiologie, 3rd edn. Springer, Berlin Heidelberg, New York, 1955.

SANTIN, J. A. ; REIS, E. M.; MATSUMURA, A. T. S.; MORAES, M. G. Efeito do retardamento da colheita de milho na incidência de grãos ardidos e de fungos patogênicos, **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.2, p.182-192, 2004.

SPARKS, A.H.; ESKER, P.D.; ANTONY, G.; CAMPBELL, L.; FRANK, E.E.; HUEBEL, L.; ROUSE, M.N.; VAN ALLEN, B.; GARRETT, K.A. Ecology and Epidemiology in R: Spatial Analysis. 2008. The Plant Health Instructor. [www.apsnet.org/education/.../topics/.../doc3/](http://www.apsnet.org/education/.../topics/.../doc3/) acesso em 26 de junho de 2010.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. Exportações Brasileiras, 2009. Disponível em: [www2.desenvolvimento.gov.br](http://www2.desenvolvimento.gov.br) Acesso em: 17 de julho de 2009.

SILVA, O. R. R. F. DA; COUTINHO, W.M.; CARTAXO, W.V.; SOFIATTI, V. SILVA FILHO, J.L.; CARVALHO, O.S.; COSTA, L.B. da **Cultivo do Sisal no Nordeste Brasileiro**, Circular Técnica n. 123, Embrapa, Campina Grande, PB, julho, 2008.

SINDIFIBRAS. **O Projeto Sisal-Apex traz resultados positivos para as exportações baianas de sisal no primeiro trimestre do ano, que cresceram quase 40%**. Disponível em: <[www.braziliansisal.com](http://www.braziliansisal.com)> Acesso em 08 jun 2010.

SCHUSTER E, DUNN-COLEMAN N, FRISVAD J, VAN DIJCK P. (2002). On the safety of *Aspergillus niger* – a review. Applied Microbiology and Biotechnology. Vol. 59, Numbers 4-5, p. 426-435

SOARES, A. C. F.; SALOMÃO, M. S.; ALMEIDA, N. de S.; PEREZ, J. O.; GARRIDO, M. da S. *Aspergillus niger* como agente causal de manchas foliares e podridão do pseudocaule do sisal. In: **XXXIX Congresso Brasileiro de Fitopatologia**, 2006, Salvador, BA.

SOUZA FILHO, F.B.; SANTOS FILHO, H.P.; ROBBS, C.F. Etiologia da queima das folhas do coqueiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.4, n.1, p.5-10, 1979.

SUINAGA, F. A.; SILVA, O. R. R. F.; COUTINHO, W. M. **Cultivo de Sisal na Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro**, Sistemas de Produção 5, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, Campina Grande, PB, 2006, 42 p.

TENG, P.S. **Construction of predictive models**. II. Forecasting crop losses. In: GILLIGAN, C.A. (ed.), *Adeavances in Plant Pathology*. London: Academic Press. V. 3.

VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C. et al. **Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro**, Capítulo 3, p. 89- 123. In: VALE, F.X.R.; JESUS



JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas, Belo Horizonte, Ed. Perfil,, 2004, 531p.

VAN DER PLANK, J.E. Plant Diseases: epidemics and Control. New York: Academic Press, 1963. 349 p.

XU, X. **Modelling and interpreting disease progress in time**, chapter 8, p.21-238, In: COOKE, B. K.; JONES, D. G.; KAYE, B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

Tese de Doutorado

**CAPÍTULO 1**

**INFECÇÃO E COLONIZAÇÃO DE MUDAS DE SISAL (*Agave sisalana* Perrine)  
POR *Aspergillus niger***

## INFECÇÃO E COLONIZAÇÃO DE SISAL (*Agave sisalana* Perrine) POR *Aspergillus niger*

**Autora:** Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu

**Orientadora:** Ana Cristina Fermino Soares

**Resumo:** Para a melhor compreensão do patossistema *Aspergillus niger* / *Agave sisalana* e definição de estratégias de controle da doença, este trabalho teve como objetivos determinar o agente etiológico de lesões observadas em estolões de sisal; estudar a infecção por *A. niger* na raiz, caule e estolões de plantas de sisal e avaliar a probabilidade de ocorrência desta doença em plantas submetidas a condições de estresse: ferimento e período de estiagem. Estolões de sisal foram coletados no campo e observados quanto a presença de sintomas de doença. Foi confirmando o *A. niger* como agente causal da podridão vermelha observada nos estolões de sisal. Na segunda etapa, mudas de sisal com e sem estolão, inoculadas ou não com *A. niger*, foram avaliadas para a presença de sintomas da podridão vermelha nas raízes, estolões e base do caule, sendo utilizadas 24 mudas por tratamento. Aos 114 dias após a inoculação observou-se que 52% e 21% das mudas com e sem estolão, respectivamente, apresentaram sintomas de podridão vermelha. Também foram conduzidos cinco experimentos, em delineamento inteiramente casualizado, com 20 repetições e 4 tratamentos, para estudo da doença em mudas submetidas a um período de 70 dias de estiagem e, posteriormente submetidas a ferimento ou não no caule e inoculadas ou não com *A. niger*. Avaliou-se a incidência e severidade da doença aos 30, 40, 50, 60 e 70 dias após a inoculação. A probabilidade de incidência da doença foi de 100% e 5% nas mudas com e sem ferimento respectivamente, e a severidade foi maior nas mudas com ferimento (teste de Mann-Whitney a  $p < 0,0000001$ ). Os estolões são suscetíveis a infecção, gerando mudas infectadas, mesmo nas condições em que a planta que deu origem ao estolão se encontra sadia, tendo um papel importante na disseminação da doença via mudas do tipo rebentão. A infecção da planta não ocorre pela raiz e depende de uma condição de estresse, a exemplo do ferimento nos tecidos caulinares (caule e estolão). A estiagem de 70 dias nas mudas não foi suficiente para tornar a planta suscetível à infecção por *A. niger*.

**Palavras – chave:** estolão, rebentão, incidência e severidade

**INFECTION AND COLONIZATION OF SISAL (*Agave sisalana* Perrine) BY  
*Aspergillus niger***

**Autora:** Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu

**Advisor:** Ana Cristina Fermino Soares

**Abstract:** For a better understanding of the pathosystem *Aspergillus niger* / *Agave sisalana* and definition of control strategies, this work aimed to study the etiologic agent of lesions observed in stolons of sisal plants, to study the infection of *A. niger* in roots, stem, and stolons of sisal plants and to assess the probability of occurrence of this disease in plants under stress conditions: injury and period of drought. Sisal stolons were obtained in the field and observed for the presence of disease symptoms. *A. niger* was confirmed as the etiologic agent of the red rot symptoms observed on sisal stolons. In a second experiment, sisal seedlings with and without stolons inoculated or not with *A. niger*, were evaluated for the presence of red rot symptoms in roots, stolons, and stem basal parte, being used 24 sisal seedlings for each treatment. After 114 days of inoculation, it was observed that 52% and 21% of seedlings with and without stolons, respectively, showed stem red rot symptoms. Other five experiments were conducted in randomized blocks with 20 replications, and four treatments to study the disease in seedlings submitted to a 70 day period without irrigation, followed by treatments with and without lesions and inoculation with *A. niger*. Disease incidence and severity was evaluated at 30, 40, 50, 60, and 70 days after inoculation. The probability of disease incidence was 100% and 5% in seedlings with and without injury respectively, and severity was higher in seedlings with injured stem (test Mann-Whitney  $p < 0.0000001$ ). Sisal stolons are susceptible to infection, and produce seedlings infected with *A. niger*, even when the plant from which the stolon arose is not infected. Therefore, infected stolons give rise to infected seedlings which have an important role in disease dissemination. Plant infection does not occur through roots and depends on stress conditions, such as injury of stem tissue (stem and stolon). The 70 day period without irrigation was not enough to make plants susceptible to infection by *A. niger*.

Key - words: stolons, suckers, incidence and severity

## INTRODUÇÃO

O sisal (*Agave sisalana* Perrine) é a cultura de maior expressão econômica no semi-árido baiano, sendo a principal fonte de renda para aproximadamente 35 mil famílias de pequenos produtores rurais (SINDIFIBRAS, 2009).

A cultura apresenta boa resistência às condições ambientais adversas do semi-árido (MEDINA, 1954), região caracterizada por temperaturas médias elevadas, cerca de 27°C, pluviosidade média menor que 800 mm anuais, insolação superior a 3.000 horas/ano e umidade relativa em torno de 65% (PEREIRA JUNIOR, 2007). No entanto, como as chuvas não são distribuídas uniformemente, ocorrem períodos de longa estiagem, com chuvas concentradas em dois períodos: nos meses de novembro a janeiro, e em menor intensidade de março a abril.

No entanto, apesar de possuírem o mecanismo adaptativo às condições de seca (metabolismo ácido das crassuláceas), após um período de longa estiagem as plantas de sisal manifestam sintomas de intensa murcha fisiológica, causando o dobramento das folhas na base da planta, fazendo com que fiquem em contato com o solo (Figura 1A), com as primeiras chuvas, as plantas readquirem a turgidez, mas aquelas afetadas pela podridão vermelha não conseguem se recuperar (Figura 1B). (TAIZ E ZEIGER, 2006).

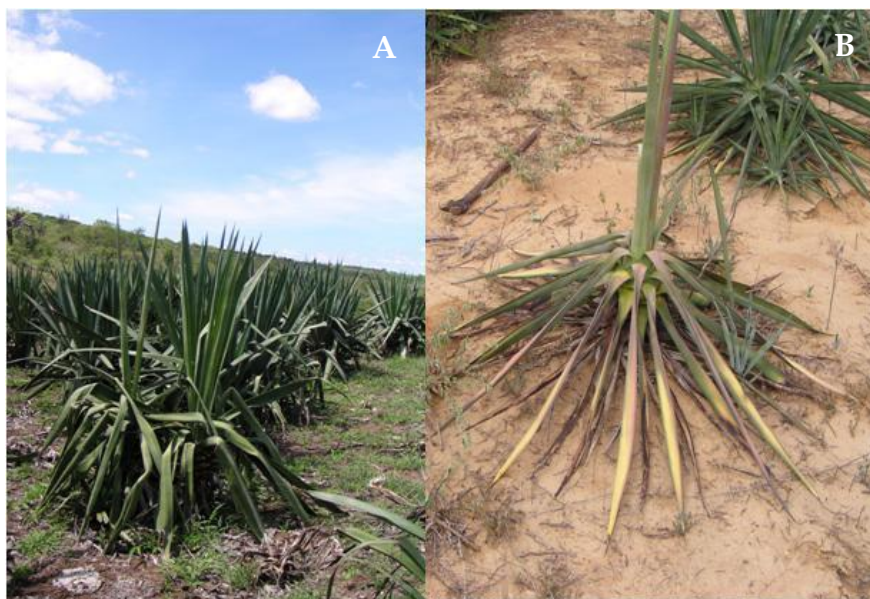


Figura 1. Plantas de sisal com murcha: A) Murcha causada por déficit hídrico; B) Murcha causada pela podridão vermelha do caule, em período de seca.

A podridão vermelha do sisal, também conhecida como podridão vermelha do tronco, podridão do cepo, podridão úmida do cepo ou ainda podridão parda do colo, foi detectada pela primeira vez no Brasil no Estado da Paraíba, segundo dados de Machado (1951), citado por Medina (1954). Na Bahia, foi observada pela primeira vez na fazenda Mandacaru, município de Santaluz, por técnicos da EBDA e Embrapa (LIMA et. al., 1998).

Principal doença que afeta os sisalais da Bahia, a podridão vermelha causa perdas médias que variam de 5% a 35% da produção. Seu agente etiológico é o *Aspergillus niger* van Tieghem. A doença ocorre na planta em qualquer estágio de desenvolvimento. Os primeiros sintomas são a descoloração avermelhada dos tecidos do caule e/ou da base das folhas. Com o progresso da doença, ocorre o apodrecimento dos tecidos internos, e como consequência, o amarelecimento e murcha das folhas, resultando na morte e tombamento da planta (Figuras 2 e 3A). Esta podridão quando evolui em direção ao ápice da planta, atinge as folhas do broto causando uma podridão negra (Figura 3B).

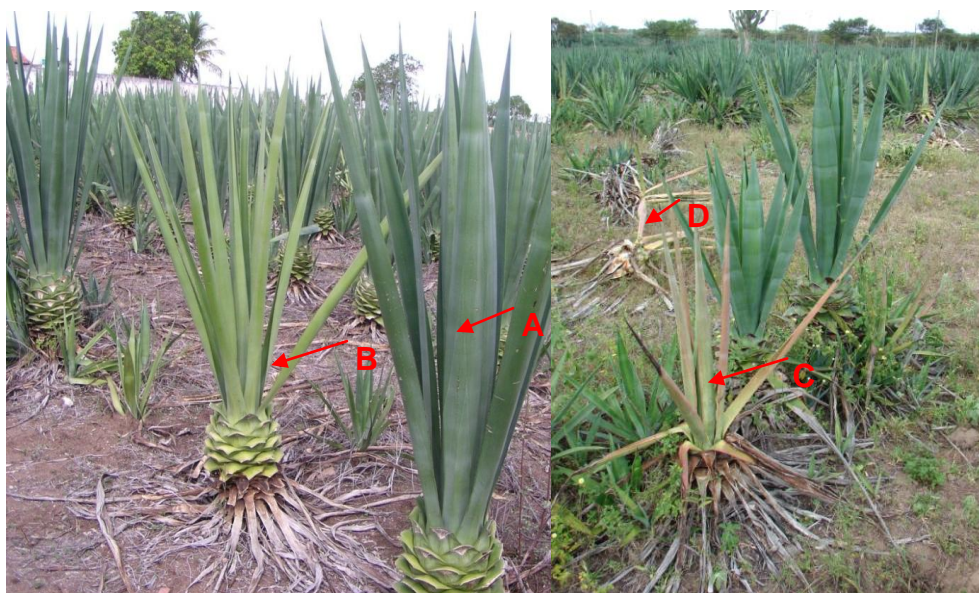


Figura 2. Plantas de sisal com sintomas de podridão vermelha: A) Planta sadia; B) Planta com folhas amarelas; C) Planta com folhas amarelo-avermelhadas e D) Plantas mortas e tombadas.



Figura 3. A) Planta com sintomas internos de podridão vermelha no caule e na base das folhas; B) Sintomas de podridão negra no ápice e folhas novas da planta com podridão vermelha do caule que evoluiu para o ápice.

O *A. niger* foi identificado como o agente causal da podridão vermelha do sisal nos estados da Paraíba e Bahia (COUTINHO et al., 2006; SOARES et al., 2006). É um fungo filamentososo, pertencente à ordem Eurotiales, Família Tricomaceae e Filo Ascomiceto (DEEPAKE, 2009). Possui crescimento aeróbico e é encontrado na serrapilheira e na matéria orgânica em decomposição (SCHUSTER et al., 2002). Além de sobreviver como saprófito, também é parasita. Normalmente, provoca doenças de pós colheita tais como podridões em uva, figo, milho e cebola (CIA et al., 2009; FREIRE, 2006; SANTIN et al., 2004, NUNES et al., 1997). Em caju, é o agente etiológico da “Kernel rot” que afeta os frutos verdes ocasionando a podridão seca da amêndoa (MELLO et al. 1999). Em amendoim, provoca a podridão do colo, principalmente em solos com baixos teores de matéria orgânica, podendo resultar em perdas de produção superiores a 50%, devido a morte das plântulas (MORAES et al., 1997).

É um fungo considerado oportunista, que só penetra em tecidos injuriados do hospedeiro, necessitando de lesões de origem mecânica ou fisiológica para que se dê a infecção (LIMA et al., 1998). ROGER (1953) citado por SOUZA FILHO et al. (1979), relata que a capacidade de penetração e colonização de *A. niger* depende do estado em que se encontra o hospedeiro, pois, quando submetidas a algum tipo de estresse, as plantas ficam mais predispostas à infecção.

Sá (2009) demonstrou que em mudas de sisal, o *A. niger* não penetra pelas raízes e só causa doença quando inoculado no caule com ferimento. Ressalta

também, que neste caso, os sintomas de podridão se manifestaram aos 10 dias, e a morte da planta ocorreu aos 15 dias após a inoculação.

Levando-se em consideração que as mudas de sisal tipo rebentão são formadas a partir de estolões e são as mais utilizadas pelos produtores, e que, a região semi-árida possui longos períodos de estiagem, sendo estes aspectos importantes a serem estudados para a melhor compreensão do patossistema *A. niger* – *A. sisalana*, este trabalho teve como objetivos: a) determinar o agente etiológico de lesões observadas em estolões de sisal no campo; b) estudar a infecção por *A. niger* na raiz, caule e estolões de plantas de sisal e c) avaliar a probabilidade de ocorrência desta doença em plantas submetidas a condições de estresse: ferimento e período de estiagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **Observações em campo e estudo da infecção por *A. niger* em estolões e raízes de plantas de sisal**

Após observação da ocorrência de lesões em estolões de plantas de sisal no campo, com sintomas semelhantes aqueles da podridão vermelha do caule e visando identificar o agente etiológico das mesmas, procedeu-se a coleta de estolões de plantas doentes e saudáveis, separando, por observação visual, os que apresentavam lesões, daqueles que se mostravam saudáveis. O material foi colocado em sacos de plástico e transportado para o laboratório onde foi feito o isolamento do patógeno de todas as lesões observadas nos estolões, conforme metodologia descrita por Sá (2009). Os isolados fúngicos obtidos foram identificados como *A. niger*, pelas características morfológicas das colônias e esporos. Em seguida, um destes isolados de *A. niger* foi cultivado em meio BDA salino (batata dextrose Agar com 6% de NaCl) com incubação à temperatura ambiente ( $28 \pm 2^\circ\text{C}$ ) por 7 dias e utilizado para o preparo da suspensão de conídios e inoculação dos estolões, para confirmação da patogenicidade. Nesta etapa, 16 estolões saudáveis foram desinfestados com hipoclorito de sódio a 1%, seguido de três lavagens em água esterilizada. Destes estolões, oito foram perfurados na superfície com uma agulha de seringa descartável, em quatro pontos equidistantes, causando ferimentos de aproximadamente 0,2 cm de profundidade. Em seguida, quatro estolões com ferimento e quatro sem ferimento foram inoculados mediante aspersão com a



suspensão de esporos, ajustada para uma concentração de  $10^7$  conídios  $\text{mL}^{-1}$ , até o início do escorrimento do inoculo. Quatro estolões (com e sem ferimento) foram mantidos como controle, sem inoculação. Estes foram imediatamente plantados em bandejas de plástico furadas, contendo solo de área de pastagem e mantidos em casa de vegetação, sendo irrigados a cada quatro dias com água corrente.

As mudas provenientes destes estolões foram avaliadas durante todo o período quanto ao desenvolvimento dos sintomas característicos da podridão vermelha. Aos trinta dias, as mudas foram arrancadas e cortadas transversalmente para avaliação dos sintomas internos. Para completar os Postulados de Koch, parte do tecido na região limítrofe da lesão nos estolões e no caule foram retiradas e feito o reisolamento do patógeno, conforme metodologia descrita acima.

### **Infecção por *A. niger* em mudas de sisal**

Para avaliação da capacidade de infecção do *A. niger* em mudas de sisal, foi montado um experimento em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (mudas de sisal com e sem emissão de estolão, inoculadas e não inoculadas) e 24 repetições, em casa de vegetação.

Utilizou-se um isolado de *A. niger* obtido de uma planta de sisal com sintoma da podridão vermelha, oriunda do município de São Domingos (Long.:39:33:52.72; Lat.: -11:27:00.76), no Estado da Bahia, para inoculação às mudas, as quais apresentavam aproximadamente 60 cm de altura. A inoculação foi feita por aspersão de uma suspensão de esporos com concentração de  $10^7$  conídios  $\text{mL}^{-1}$ , nas raízes e/ou estolões, até o início do escorrimento. O inóculo foi obtido de acordo com a metodologia descrita por Sá (2009). Após a inoculação, as mudas foram mantidas por 30 minutos com as raízes e estolões expostos ao ar para que secassem e em seguida, foram plantadas em vasos com capacidade para 10 litros de solo e irrigadas a cada quatro dias, por um período de 114 dias. Ao final deste período, avaliou-se a presença ou ausência de sintomas internos (mediante o corte longitudinal das plantas) e externos (observação visual dos estolões, raízes e base do caule).

Os dados foram transformados para proporção de plantas sintomáticas e analisados pelo teste de hipóteses para duas proporções utilizando o software Systat 12 (Systat Software Inc.).

### **Estudo da ocorrência da podridão vermelha em mudas de sisal inoculadas com *A. niger***

No município de Miguel Calmon situado a 11° 25'44" S e 40° 35'42" W, na Bahia, na área de produção da Secretaria de Agricultura do município, mudas de sisal tipo rebentão, com altura média de 40 cm e média de oito folhas, foram coletadas no campo. As raízes foram removidas, deixando-se apenas a raiz central e estas foram plantadas em sacos de polietileno preto com dimensão de 18 x 24 cm, com 4 L de solo (solo areno argiloso coletado em plantio sem incidência da podridão vermelha do sisal, no mesmo município).

As mudas foram mantidas a céu aberto no campo, sendo irrigadas a cada três dias, por um período de 45 dias, para permitir o enraizamento das mesmas. Após este período, a irrigação foi suspensa por 70 dias, quando estas mudas começaram a apresentar sintoma de murcha por déficit hídrico, simulando assim a condição de seca observada no campo. Nesta condição, as mudas foram utilizadas para implantação de cinco experimentos em delineamento inteiramente casualizado, sendo cada um com os seguintes tratamentos: sem ferimento e sem inoculação; sem ferimento e com inoculação; com ferimento e sem inoculação e com ferimento e com inoculação. Todos os tratamentos inoculados tiveram vinte repetições, e os não inoculados, quatro.

Em todos os experimentos, de um total de 48 mudas, 24 sofreram duas perfurações na base do caule com agulha de seringa descartável e 24 foram mantidas sem ferimento. Vinte mudas com ferimento e 20 sem ferimento foram inoculadas por aspersão no caule com uma suspensão de esporos de *Aspergillus niger* contendo  $10^7$  conídios mL<sup>-1</sup>, até o início do escorrimento da suspensão do inóculo. Oito mudas, sendo quatro com ferimento e quatro sem ferimento, foram mantidas como testemunha sem inoculação. As avaliações foram realizadas em intervalos de 10 dias, por amostragem destrutiva, sendo que o primeiro experimento foi avaliado 30 dias após a inoculação, para possibilitar a infecção e colonização das plantas pelo patógeno.

O isolado de *A. niger* foi obtido de planta de sisal com sintomas de podridão vermelha, coletada no município de Mirangaba, localizado a 10°57'16"S e 40° 34'33" W no Estado da Bahia. O isolamento do fungo e preparo do inoculo foi realizado conforme descrito acima para a inoculação dos estolões e rebentos de sisal.

Após inoculação, todas as mudas foram irrigadas a cada quatro dias e mantidas na área experimental a céu aberto, para observação dos sintomas da podridão vermelha. Para avaliação dos sintomas internos foi realizado um corte longitudinal da planta e registrados os sintomas de podridão vermelha no caule e na base das folhas, sendo observados também os sinais do fungo (esporulação) na base das folhas (Figuras 3 A e B), atribuindo-se notas conforme escala diagramática em que zero (0) indica muda sadia, um (1) - mudas com sintomas internos, dois (2) - mudas com sintomas internos e externos e três (3) - mudas mortas (Figura 4).

Os dados foram analisados estatisticamente pelo Teste de Comparação de proporções e submetidos ao teste de Mann–Whitney, que é um teste não paramétrico para comparação de duas amostras independentes.



Figura 4. Escala descritiva para avaliação de mudas de sisal quanto a severidade da podridão vermelha do sisal. Notas: 0 - muda sem sintomas; 1 - muda com sintoma interno; 2 - muda com sintoma interno e externo e 3 - muda morta.

## Resultados e Discussão

### Observações em campo e estudo da infecção por *A. niger* em estolões e raízes de plantas de sisal

A observação dos estolões de plantas de sisal, em campo, apontou para a presença de diversos pontos de infecção pelo fungo e sintomas de podridão vermelha (Figura 5). Estes estolões dão origem às mudas do tipo rebentão (MEDINA, 1954).



Figura 5 A) Rebentos de plantas de sisal e estolão; B) com sintomas de podridão vermelha; C, D e F) com pontos de infecção e sintomas de podridão vermelha; E) pontos de emergência de raízes formando rachaduras no estolão.

Nos testes em laboratório, o patógeno identificado como causando as lesões foi o *A. niger*. Os isolados obtidos a partir destas lesões ao serem inoculados nos estolões sadios, com e sem ferimentos, produziram os mesmos sintomas observados nos estolões no campo.

A etiologia da doença foi confirmada reisolando o fungo dos tecidos lesionados em meio BDA salino, completando assim, os postulados de Koch.

As mudas provenientes destes estolões apresentaram os primeiros sintomas da podridão vermelha aos dez dias após a inoculação. Aos trinta dias, as plantas foram coletadas e cortadas transversalmente onde se observou sintomas típicos da podridão vermelha do sisal, indicando que as infecções encontradas nas lesões dos estolões resultaram em mudas doentes,

É comum observar no campo, rebentos de sisal e plantas novas com sintomas de podridão vermelha. Entretanto, Sá (2009) demonstrou num estudo sobre infecção e colonização de *A. niger* em mudas de sisal, que o fungo não infecta a planta pelas raízes, mas apenas pelos tecidos do caule. Os resultados desse autor sugerem que o fungo não é transmitido planta a planta via raízes infectadas. A observação de tecidos de estolões (tecido caulinar) com sintomas de podridão vermelha do sisal e diversos pontos de infecção (Figura 6) indicam que o fungo pode ser transmitido da planta para o rebento, através do estolão. No campo a via de entrada para o patógeno pode ter sido também, as rachaduras observadas no ponto de inserção da raiz, o que foi confirmado pelo isolamento de *A. niger* nos tecidos próximos às rachaduras, os quais apresentavam sintomas de podridão vermelha.

As mudas infectadas constituem-se numa fonte de inóculo e veículo de disseminação desta doença. O fato de serem observados diversos pontos de infecção e sintomas de podridão vermelha, causados por *A. niger*, ao longo dos estolões e em partes do estolão distantes da planta de origem (Figura 6), sem esta apresentar sintomas de podridão vermelha, indicam que as mudas tipo rebentão podem ser infectadas, através dos estolões com fonte de inóculo oriunda do solo e não da planta de origem desse estolão.

Os estolões encontram-se na camada superficial (média de 0 a 10 cm de profundidade) do solo, sendo este solo exposto a elevadas temperaturas e períodos de estiagem, sem cobertura vegetal, e pobre em nutrientes e matéria orgânica (dados não apresentados). Estas condições podem favorecer o

aparecimento de rachaduras e ferimentos, que servem como porta de entrada para o fungo. Isto possivelmente explica a observação da presença de plantas novas com sintomas de podridão vermelha em touceiras em que só existiam plantas saudáveis no campo. Estes resultados sugerem que o risco de disseminação da podridão vermelha por mudas do tipo rebentão é maior do que se supunha, uma vez que esta pode ocorrer mesmo em mudas oriundas de plantas saudáveis, reforçando a necessidade de se incentivar mudas provenientes do bulbilho no replantio ou implantação de novas áreas com a cultura.

### Infecção por *A. niger* em mudas de sisal

A proporção de mudas com estolão que apresentaram sintomas, quando inoculadas, foi de 52%, e para aquelas sem sintomas foi de 48%. Com relação às mudas sem estolão, as proporções foram de 21% e 79%, com sintomas e sem sintomas, respectivamente. Estes resultados foram significativamente diferentes pelo teste de proporção a  $p \leq 0,05$  (Figura 6). Ressalta-se que as mudas (com e sem estolão) não inoculadas, não apresentaram sintomas. Os sintomas observados nas mudas sem estolão foram próximos a base do caule, o que está de acordo com Sá (2009), que verificou que raízes de sisal não são infectadas por *A.niger*.

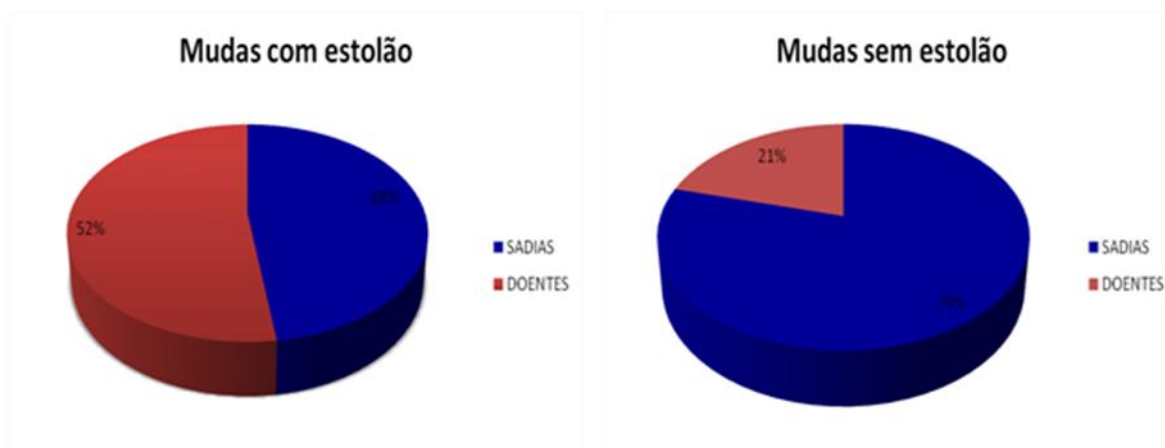


Figura 6. Proporção de mudas de sisal com raiz e estolão e com raiz sem estolão, com sintomas de podridão vermelha, após inoculação com *Aspergillus niger*.

Este trabalho indica que os estolões são suscetíveis a infecção por *A. niger* e têm um papel importante na disseminação da doença via mudas tipo rebentão,

por meio da transmissão do patógeno planta a planta (da planta adulta para os rebentos) e por meio de transmissão solo-planta (infecção dos estolões com propágulos do solo).

### **Estudo da ocorrência da podridão vermelha em mudas de sisal inoculadas com *A. niger***

No primeiro experimento, avaliado 30 dias após a inoculação com *A. niger*, observou-se que todas as plantas submetidas a ferimentos no caule apresentavam sintomas de podridão vermelha, tendo sido encontrado portanto 100% de incidência de plantas sintomáticas. Dentre as plantas que não receberam ferimentos, apenas uma apresentou sintomas da doença, correspondendo a 5% de incidência da podridão vermelha.

Os experimentos 2 e 3 avaliados 40 dias e 50 dias, respectivamente após a inoculação, apresentaram resultados semelhantes ao primeiro, com apenas 5% de incidência da podridão vermelha nas plantas sem ferimento e 100% de plantas sintomáticas dentre as que receberam ferimento.

Os experimentos 4 e 5, avaliados aos 60 e 70 dias após a inoculação, apresentaram 10% e 0% de incidência da podridão vermelha do sisal, respectivamente, nas plantas sem ferimentos e 100% nas que tinham ferimentos. As médias das notas referentes a severidade da doença, para as mudas inoculadas com ferimento e sem ferimento, encontram-se na Figura 7.

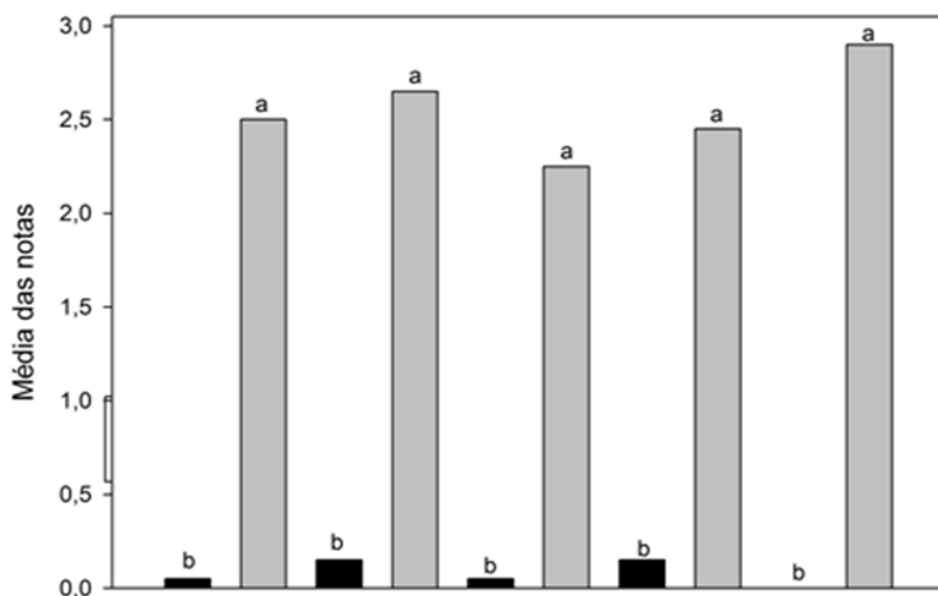


Figura 7 – médias das notas atribuídas às mudas de sisal inoculadas com suspensão de esporos de *Aspergillus niger* a  $10^7$  esporos/mL, conforme escala descritiva para avaliação de sintomas de podridão vermelha do sisal onde 0 indica planta sadia e 3 planta morta (Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney a  $p < 0,0000001$ ). Experimentos: 1 - avaliação aos 30 dias após a inoculação; 2 - avaliação 40 dias após a inoculação; 3 - avaliação aos 50 dias após inoculação; 4 - avaliação aos 60 dias após inoculação; 5 - avaliação aos 60 dias após inoculação

Verifica-se que houve diferença, pelo teste de Mann-Whitney a  $p < 0,0000001$ , em todos os experimentos, na comparação entre as mudas com e sem ferimento. A severidade foi maior nas mudas com ferimento, onde a média das notas variou entre 2,25 e 2,9, enquanto que nas mudas sem ferimento, a variação foi de zero a 0,15, o que indica que o ferimento além de aumentar a probabilidade de infecção, resulta também em um progresso mais rápido da doença. Não houve diferença entre os experimentos quanto a infecção ou severidade da doença, quando comparados em relação aos dias após a inoculação, o que nos leva a concluir que apenas o ferimento foi importante no processo de infecção e colonização dos tecido pelo *A. niger.*, não tendo sido influenciado pelo tempo de infecção dentro do período avaliado.

O sisal é cultivado no semi-árido baiano onde ocorrem períodos de longas estiagens. Em 2008, a região apresentou pluviosidade anual média igual a 615,5 mm, umidade relativa do ar 75,8%, temperatura média  $24,8^{\circ}\text{C}$ , sendo a máxima de  $31^{\circ}\text{C}$  e mínima de  $20^{\circ}\text{C}$  e 168,7 horas de insolação anual (INMET,2009), estas



condições ambientais são favoráveis ao crescimento do *A. niger*, que de acordo com Shuster (2002), cresce na faixa de temperatura de 6 a 47°C, com ótimo de temperatura variando entre 35 e 37°C.

Apesar das plantas apresentarem sintomas de murcha por déficit hídrico ao serem inoculadas, por terem sido mantidas por um período de 70 dias sem irrigação, quando se buscou simular a condição de estresse causado por um período de estiagem, possivelmente este período sem irrigação não foi suficiente para causar a condição de estresse que torna a planta suscetível à infecção pelo fungo de forma a levá-la ao desenvolvimento dos sintomas de podridão vermelha.

Suinaga (2006), cita que para que o processo de infecção por *A.niger* se inicie, são necessárias lesões de origem mecânica ou fisiológica e de condições ambientais adversas ao hospedeiro (sisal). Entretanto, o nível e tipo de estresse e as alterações morfológicas e/ou fisiológicas na planta que a tornam suscetível à infecção por *A. niger* ainda são desconhecidos. No presente trabalho, o estresse induzido na planta não foi quantificado e nem foram estudadas as alterações causadas na planta por esse estresse sendo necessários estudos adicionais para a melhor compreensão dos fatores abióticos que favorecem o processo de infecção e colonização por *A. niger* no sisal.

### Conclusão

O *Aspergillus niger* é o agente causal das lesões observadas em estolões do sisal no campo.

Mudas de sisal antes da emissão de estolões são menos suscetíveis a infecção por *A. niger*.

O ferimento predispõe as plantas de sisal (*Agave sisalana*) à infecção e colonização de tecidos por *A. niger*.

### Referências Bibliográficas

ABREU, K. C. L. M.; SILVA, M. H. S.; TORRES, C. N.; SOARES, A. C. F.; SÁ, J. O.; LEDO, C. A. S. **Influência do déficit hídrico na incidência da podridão**

**vermelha do sisal.** In: Tropical Plant Pathology, Fitopatologia Brasileira, v.34, suplemento, agosto, 2009, Brasília.

BELLETTINI, N. M. T.; ENDO R. M.; MIGLIORANZA, E. SANTIAGO, D. C. Patogenicidade de fungos associados às sementes e plântulas de amendoim cv. Tatu, **Semina: Ciências Agrárias Londrina**, v.26, no. 2 p.167 – 172, abr/mai de 2005.

CIA, P; BENATO, E.A.; VALENTINI, S.R. de T.; ANJOS, V. D. A.; PONZO, F.S.; JULIANA SANCHES, J. ; TERRA, M. M. Radiação ultravioleta no controle pós-colheita de *Colletotrichum gloeosporioides* em uva 'niagara rosada'. **Bragantia** [online]. 2009, vol.68, n.4, p. 1010-1015. ISSN 0006-8705.

COUTINHO, W.M.; SUASSUNA, N.D.; LUZ, C.H.; SUINAGA, F.A.; SILVA, O.R.R.F. Bole rot of sisal caused by *Aspergillus niger* in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 605, 2006.

DEEPAKE, U., (2009) Aero-microbiological studies of Moisture Affected Buildings in the Indoor Environment. Journal of Young Investigators. Vol. 19, Issue 11.

FREIRE, F. C. O.; PARENTE, G. B.; CARDOSO, B. B. Doenças da figueira (*Ficus carica* L.) no Estado do Ceará, Circular Técnica online, n.26, Embrapa Dezembro, 2006, Fortaleza – CE.

LIMA, E.F.; MOREIRA, J. de A.N.; BATISTA, F.A.S.; SILVA, O.R.R.F.da; FARIAS, F.J.C.; ARAÚJO, A.E. Podridão vermelha do tronco do sisal (*Agave sisalana* Perr.) causada por *Botryodiplodia theobromae* Pat. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.2, n.2, p.109-112, 1998.

INMET – **INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA – Estação Climatológica Principal Serrinha, BA, 2009.

MEDINA, J. C. **O Sisal**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Publicidade Agrícola, 1954, 286p.

MELLO, Q. M. S.; TEIXEIRA, L. M. S.; BLEICHER, E.; RODRIGUES, S. M. M. **Artrópodes e microrganismos associados ao cajueiro**, Documentos, n.33, Novembro, 1999, Fortaleza: Embrapa, - CNPAT, 27 p.

MORAES, S. A.; GODOY, I. J. Amendoim (*Arachis hypogaea* L.) Controle de doenças. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIN, L. (Eds). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais, p.1-43, 1997.

NUNES, M. E. T.; KIMATI, H. Doenças do alho e da cebola. In: KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M., Manual de Fitopatologia, v.2: Doenças de plantas cultivadas, ed. 3ª, Editora Agronômica Ceres, 1997, 776 p. São Paulo, SP.

PEREIRA JUNIOR, J.S. Nova delimitação do semi-árido brasileiro, 2007. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. [HTTP: //bd.camara.gov.br](http://bd.camara.gov.br), acesso em 12 de junho de 2010.

SÁ, J.O. de **Patogênese de *Aspergillus niger* e biocontrole da podridão vermelha do sisal por *Trichoderma* spp.**, dissertação - Cruz das Almas, BA, 2009, 54 p.

SANTIN, J. A. ; REIS, E. M.; MATSUMURA, A. T. S.; MORAES, M. G. Efeito do retardamento da colheita de milho na incidência de grãos ardidos e de fungos patogênicos, **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, n.2, p.182-192, 2004

SCHUSTER E, DUNN-COLEMAN N, FRISVAD J, VAN DIJCK P. (2002). On the safety of *Aspergillus niger* – a review. Applied Microbiology and Biotechnology. Vol. 59, Numbers 4-5, p. 426-435

SOARES, A. C. F.; SALOMÃO, M. S.; ALMEIDA, N. de S.; PEREZ, J. O.; GARRIDO, M. da S. *Aspergillus niger* como agente causal de manchas foliares e podridão do pseudocaule do sisal. In: **XXXIX Congresso Brasileiro de Fitopatologia**, 2006, Salvador, BA.

SOUZA FILHO, F.B.; SANTOS FILHO, H.P.; ROBBS, C.F. Etiologia da queima das folhas do coqueiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.4, n.1, p.5-10, 1979.

SUINAGA, F. A.; SILVA, O. R. R. F.; COUTINHO, W. M. Cultivo de Sisal na Região Semi-árida do Nordeste Brasileiro. Sistema de Produção 5, Embrapa, CNPA, novembro, 2006, Campina Grande, PB.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal, 3. ed., 1ª reimpressão, editora Artmed, Porto Alegre, RS , 2006, 719 p.

**Tese de Doutorado**

**CAPÍTULO 2**

**PREVALÊNCIA, INCIDÊNCIA E ARRANJO ESPACIAL DA  
PODRIDÃO VERMELHA DO SISAL NA BAHIA**

## **Prevalência, incidência e arranjo espacial da podridão vermelha do sisal na Bahia, Brasil**

**Autora:** Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu

**Orientadora:** Ana Cristina Fermino Soares

**Co – Orientador:** Francisco Ferraz Laranjeira

**RESUMO:** A podridão vermelha do sisal (*Agave sisalana*), causada pelo fungo *Aspergillus niger*, é a principal doença que afeta esta cultura no estado da Bahia, o maior produtor de sisal no Brasil e no mundial. A planta infectada apresenta folhas amarelas e murchas e descoloração avermelhada dos tecidos internos do caule, sintomas que evoluem para a podridão e morte da planta. Considerando que este se constitui num estudo pioneiro sobre aspectos epidemiológicos do patossistema *A. niger* – *A. sisalana* na Bahia e que não existem registros destes estudos na literatura científica nacional e internacional, este trabalho teve como objetivos determinar o tamanho mínimo de amostras para quantificação da podridão vermelha do sisal, determinar a prevalência e incidência, e caracterizar a distribuição espacial desta doença no âmbito da região sisaleira da Bahia. Este estudo foi conduzido em 46 áreas na Microrregião de Serrinha na Bahia por três anos consecutivos (2006 a 2008). Em cada área e ano, a incidência foi determinada como a proporção de plantas sintomáticas, avaliando-se 20 plantas aleatoriamente pelo método de caminamento em “W”, quanto à presença ou ausência de sintomas. Nos municípios estudados a prevalência da podridão vermelha do sisal foi 100% nos três anos avaliados e a incidência média variou entre 5 e 40%. Os mapas de áreas isopatas revelaram tendência à aglomeração das áreas com maiores incidências da doença ao Nordeste e Centro da Região estudada, nos três anos, o que foi confirmado pelo Índice de Dispersão, indicando que embora de ocorrência generalizada na área de estudo, a distribuição espacial da doença é agregada.

**Palavras – chave:** *Agave sisalana*, *Aspergillus niger*, mapas de áreas isopatas

## **Prevalence, incidence and spatial pattern of sisal red rot disease in Bahia, Brazil**

Autora: Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu

Advisor: Ana Cristina Fermino Soares

Co-advisor: Francisco Ferraz Laranjeira

**ABSTRACT:** Sisal (*Agave sisalana*) red rot disease, caused by the fungus *Aspergillus niger*, is the main disease affecting this crop in the State of Bahia, which is the greatest sisal producer in Brazil and at a worldwide level. Infected plants have pale green to yellowish and wilted leaves, and a reddish discoloration of internal stem tissue, which later becomes rotten and causes plant death. Considering that this is a pioneer study about epidemiologic aspects of the pathosystem *A. niger* – *A. sisalana* in the State of Bahia, and there are no records of this study in national and international scientific literature, this study aimed to determine the minimum number of plant sampling for quantification of sisal red rot disease, and to study prevalence, incidence, and its spatial distribution in sisal producing regions of Bahia. The study was conducted in 46 areas of Serrinha micro-region in Bahia, for three consecutive years (2006-2008). In each area and year, the incidence was determined as the proportion of symptomatic plants, evaluating 20 plants at random by the method of walking on "W" and quantification of plants with and without symptoms. Disease prevalence in the municipalities studied was 100%, and the average incidence ranged from 5 to 40%. The maps of isopath clustering showed a tendency of agglomeration for the areas with highest disease incidence in the Northeastern and Central areas of the studied region, for the three years. The disease dispersion index indicates that, even though it has a widespread occurrence in the studied area, the spatial distribution of sisal red rot disease is aggregated.

**Key - words:** *Agave sisalana*, *Aspergillus niger*, maps of isopath areas

## INTRODUÇÃO

O sisal (*Agave sisalana* Perrine), originário da península de Yucatan, no México, adaptou-se muito bem as regiões semi-áridas do Nordeste brasileiro onde é cultivado em largas extensões. Esta cultura tem enorme importância social e econômica no semi-árido baiano, por se constituir em uma das poucas alternativas de produção agrícola e na principal fonte de renda da população, o que possibilita a sobrevivência de aproximadamente 700.000 pessoas nos 288.860 ha plantados com esta cultura, em 74 municípios da região semi-árida da Bahia (CONAB, 2008).

A planta de sisal apresenta boa resistência ao ataque de pragas, em função da estrutura da folha que possui estômatos em forma de cripta, característicos das plantas com fisiologia CAM (Metabolismo ácido crassuláceo) e da rusticidade natural da planta (Medina, 1954). Apesar destas características, atualmente na Bahia tem sido constatado um aumento significativo na incidência da podridão vermelha do sisal, doença que ocorria de forma esporádica no Brasil até a década de 1970, mas que a partir de 1998 atingiu níveis de dano econômico, resultando em perdas consideráveis para os produtores (SUINAGA, 2006).

A podridão vermelha do sisal é também conhecida como podridão do caule do sisal, podridão vermelha do tronco, podridão do cepo, podridão úmida do cepo ou ainda podridão parda do colo. A doença foi constatada pela primeira vez no Brasil no Estado da Paraíba, segundo dados de Machado (1951), citado por Medina (1954). Na Bahia, foi observada pela primeira vez na fazenda Mandacaru, município de Santaluz, em um plantio comercial de 500 hectares (LIMA et al. 1998).

A podridão vermelha do sisal afeta plantas em qualquer estágio de desenvolvimento e induz a descoloração avermelhada dos tecidos internos do caule, evoluindo para podridão, resultando na morte da planta. Externamente as folhas ficam amarelas e murchas (COUTINHO, 2006), (Figuras 1 e 2).





Figura 1. Sintomas externos da podridão vermelha do sisal: A) Amarelecimento e murcha da planta e B) Morte e tombamento da planta.



Figura 2. Sintomas internos da podridão vermelha do sisal: descoloração avermelhada dos tecidos do caule.

Seu agente etiológico é o fungo *Aspergillus niger* van Tieghem, um Ascomiceto da ordem Eurotiales, Família Tricomaceae. Este fungo tem crescimento aeróbico na matéria orgânica e é encontrado no solo, serrapilheira, em matéria orgânica em decomposição (DEEPAKE, 2009). De acordo com Shuster (2002), *A. niger* cresce na faixa de temperatura de 6 a 47°C, com ótimo de temperatura variando entre 35 e 37°C, e na faixa de pH entre 1,4 e 9,8. RIPPEL & BALDES 1955, citados por DEEPAKE (2009) ressaltam que essas características além da produção de conidiosporos e sua dispersão pelo ar, garantem que este fungo frequentemente esteja presente, em ambientes com alta temperatura e umidade.

Embora desde a década de 50 já houvesse registro da podridão vermelha do sisal no Brasil, não foi encontrado na literatura científica nenhum estudo epidemiológico da mesma, embora Coutinho et al. (2006), e Suinaga, (2006) citando, Alves et. al. (2004) refiram-se a uma incidência de 5% a 40% da doença. Também não foram realizados estudos sobre métodos de controle específicos para este patossistema. Deste modo, fez-se necessário um estudo de características epidemiológicas básicas, representativo da área de ocorrência da podridão vermelha do sisal, para a realização do estudo espaço – temporal da doença.

A amostragem é uma das mais importantes atividades no estudo de epidemias e no manejo de doenças de plantas, pois permite a obtenção de estimativas representativas das características da epidemia a um custo reduzido, com a maior exatidão e precisão possível, possibilitando o ajuste entre o que é biológica e estatisticamente razoável (MICHEREFF, 2006).

Em qualquer sistema amostral, a amostragem-piloto é fundamental, para o estudo da variação da característica estudada, possibilitando o cálculo do tamanho da amostra (AMORIM, 1995). A importância da amostragem advém da impossibilidade de se acessar todo universo amostral. Assim, toma-se uma amostra formada por um determinado número de unidades amostrais, que deverão ser representativas do universo amostral. Incidência, severidade e padrão espacial de doenças dependem dos dados obtidos por amostragens de campo (COOKE, 2006).

Para quantificação de doenças, as plantas devem ser amostradas criteriosamente a fim de que a amostra seja representativa da população original,

pois apenas quando uma doença é mensurada corretamente é que se pode demonstrar o quanto de dano ela ocasiona (AMORIM, 1995).

A amostragem para dados de incidência é de fundamental interesse para estudos epidemiológicos que visem diagnósticos precisos e intervenções seguras no manejo integrado de doenças de plantas. As estratégias de manejo integrado dependem do conhecimento da dinâmica da população dos patógenos ou de seus efeitos no campo. Para tanto, medidas precisas da severidade ou da incidência das doenças são essenciais e dependem de planos amostrais específicos (CZERMAINSKI, 2001).

A incidência é a característica de mais fácil e rápida quantificação, com alta acuracidade e precisão. É expressa em números de plantas com murcha, de órgãos com carvão, de raízes com galhas, de galhas por raiz, de folhas e ou frutos com lesão ou de plantas com viroses, sendo uma medida apropriada para avaliação em doenças resultantes do ataque de patógenos de solo que causam murchas e podridões e em estudos de dinâmica populacional (VALE et al. 2004).

A prevalência diz respeito ao número de áreas encontradas com presença da doença, sendo calculada em termos de percentagem de áreas com pelo menos uma planta doente em relação ao universo amostrado (XU, 2006).

Neste contexto, considerando que o desenvolvimento de procedimentos de campo relacionados a métodos de levantamento e amostragem são indispensáveis para a correta quantificação das doenças, este trabalho teve como objetivos determinar o número mínimo de amostras para quantificação da podridão vermelha do sisal, determinar a prevalência e incidência, e caracterizar a distribuição espacial da doença no âmbito da região sisaleira da Bahia.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A prevalência, incidência e distribuição espacial da podridão vermelha do sisal foram estudadas em 46 áreas na Microrregião de Serrinha na Bahia por três anos consecutivos (2006 a 2008). As áreas foram escolhidas aleatoriamente em cada município e seu número foi escolhido tendo como base a área total de produção de sisal nos municípios, segundo dados do IBGE (2006): seis áreas em Araci, duas áreas em Barrocas, uma área em Capela de Alto Alegre, nove áreas



sintomas da podridão vermelha do sisal. Em caso de dúvida, a planta foi coletada e cortada longitudinalmente para avaliação dos sintomas internos. A avaliação foi realizada por uma equipe de três avaliadores, previamente treinados para esta finalidade. A prevalência da doença foi determinada pela proporção de áreas com a doença em relação ao total de áreas amostradas.

A amostragem de 2006 foi considerada piloto e usada para o cálculo do número mínimo de áreas a serem amostradas posteriormente. A determinação do número mínimo de amostras de plantas, ao nível de 5% de significância, foi obtido através do método “Especificando a confiabilidade associada à distribuição binomial negativa”, recomendado para arranjos agregados (Campbell e Madden, 1990) .

$$n = \frac{k + \bar{x}}{\bar{x}.k.CV_{\bar{x}}^2}$$

onde :

n = tamanho da amostra

k = valor estimado pela relação entre a média ao quadrado e a variância menos a média ;

$\bar{x}$  = média

CV = coeficiente de variação da média ao quadrado

Considerando-se um erro de 10%

Em função da dependência dos dados, a incidência média da doença entre os anos foi comparada pela Análise não-paramétrica de Friedman, seguida do Sign Test, ambos a 5% de probabilidade de erro. Em adição, ajustaram-se distribuições estatísticas aos dados de incidência para cada ano por meio do programa Systat.

A partir da localização espacial de cada área e de sua incidência, mapas de áreas isopatas foram construídos para cada ano, utilizando-se o software GS + (Gamma Design Software). Tais mapas foram usados para analisar qualitativamente a distribuição da doença na região em estudo. A análise quantitativa do padrão espacial da doença foi feita por meio do cálculo do índice de dispersão binomial. O índice de dispersão Binomial (IDBin) foi calculado para

todas as avaliações por meio da relação  $ID_{Bin} = v_{obs} / v_{bin}$  (GOTTWALD et al., 1996), em que  $v_{obs}$  é a variância observada e  $v_{bin}$  é a variância binomial.

A variância binomial foi obtida através da fórmula:

$$V_{bin} = p(1-p)/n \text{ onde:}$$

$p$  é a incidência na área amostrada e

$n$  é o número de plantas avaliadas por área

e a  $V_{obs} = \sum(X_i - np)^2/n^2(N-1)$  em que:

$\sum X_i$  é o somatório do número de plantas sintomáticas em cada área  $i$  e

$N$  é o número total de áreas amostradas na região.

O afastamento da aleatoriedade foi determinado pelo teste de  $\chi^2$  a nível de 5% de significância. A hipótese nula foi a de que o padrão observado foi aleatório e a hipótese alternativa a de que foi agregado. Valores de ID que não diferiram estatisticamente de 1 foram considerados como indicativo de aleatoriedade dos dados. De forma complementar, valores estatisticamente superiores a 1 foram tomados como indicativos de agregação.

## RESULTADOS

A amostragem piloto em 46 áreas revelou que todas as áreas avaliadas tinham pelo menos uma planta com sintomas da podridão vermelha do sisal, apresentando, portanto 100% de prevalência da doença nos municípios estudados.

O cálculo do número mínimo de amostras, realizado com os dados de incidência e prevalência da podridão vermelha do sisal obtidos na amostragem piloto, indicou a necessidade de o mínimo de 34 amostras (áreas de produção de sisal) para obtenção de dados representativos do universo amostral, quando se considerou um erro amostral de 10%. Portanto, o número de 46 amostras (áreas avaliadas) utilizado para os estudos de prevalência e incidência da podridão vermelha do sisal nos municípios propostos é representativo da região produtora de sisal na microrregião de Serrinha na Bahia (Figura 4).

Todas as áreas avaliadas em 2006 apresentaram plantas com sintomas da podridão vermelha do sisal e dentre as 20 plantas amostradas por área avaliada,

em apenas uma área, no município de Barrocas não foi encontrada nenhuma planta doente nos anos 2007 e 2008, correspondendo a 100%, 98% e 98% de prevalência da podridão vermelha do sisal nas áreas avaliadas e 100% de prevalência nos três anos nos municípios da microrregião de Serrinha, nos anos 2006, 2007 e 2008 respectivamente.

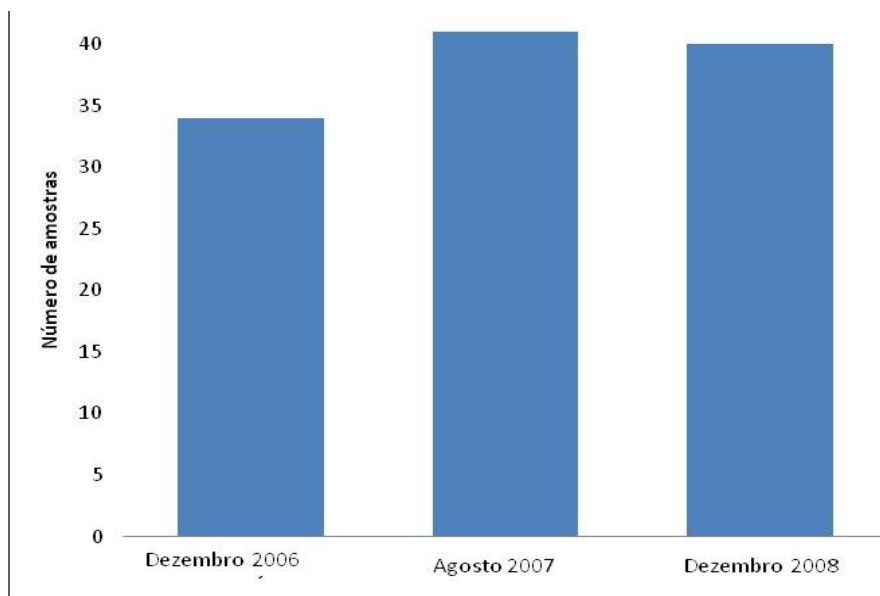


Figura 4: Número mínimo de amostras para avaliação da prevalência e incidência da podridão vermelha do sisal, nos anos 2006, 2007 e 2008, nos municípios de Araci, Barrocas, Capela do Alto Alegre, Conceição do Coité, Gavião, Nova Fátima, Pé de Serra, Retirolândia, Riachão do Jacuípe, São Domingos, Santaluz e Teofilândia.

A análise não paramétrica de Friedman foi significativa ( $p < 0,00006$ ). Foi aplicado o teste não paramétrico Sign Test, cuja análise revelou que a incidência média em 2006 foi diferente ( $p < 0,002$ ) das incidências médias encontradas em 2007 e 2008, sendo que estas últimas não foram diferentes entre si ( $p < 0,002$ ) (Figura 6).

A incidência da doença foi avaliada em três épocas, sendo que a distribuição Beta se ajustou bem aos dados, de acordo com teste de Kolmogorov-Smirnov, revelando a faixa de proporção de plantas sintomáticas da maioria das áreas variou de 5 a 40% (Figura 5).

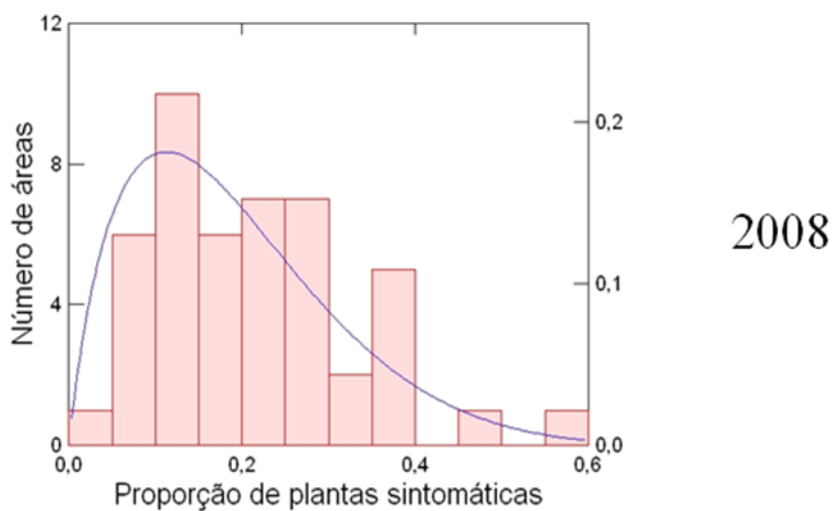
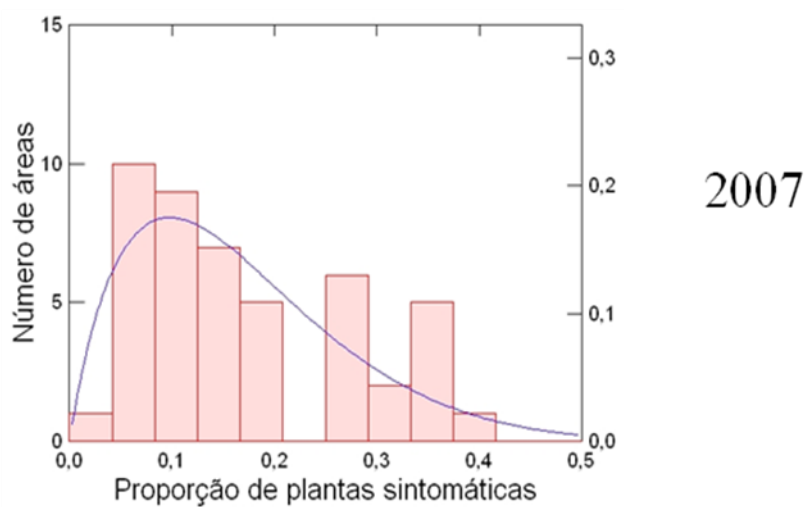
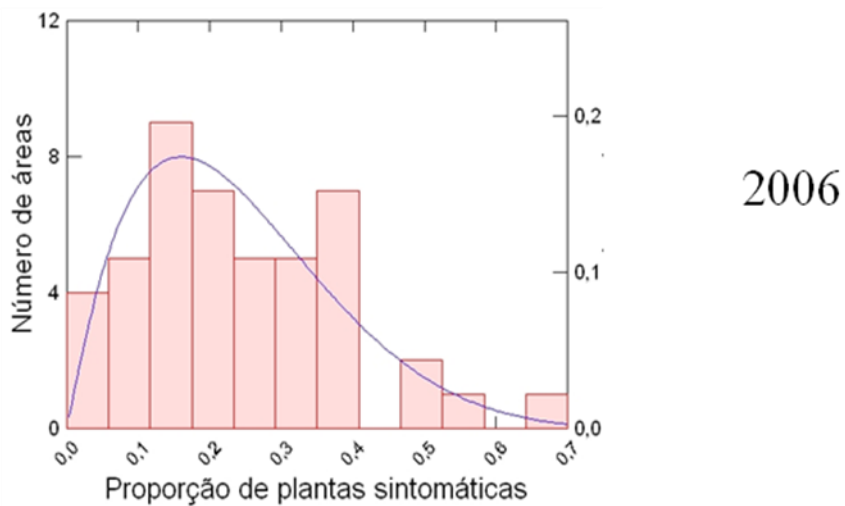


Figura 5. Distribuição Beta da podridão vermelha do sisal na Bahia, nos anos de 2006, 2007 e 2008.



A incidência média em 2006 foi de 24% com a mínima de 5% e a máxima de 65%, nos municípios de Capela do Alto Alegre e Araci, respectivamente. Em 2007, a incidência média foi de 17% com a mínima de 0% e a máxima de 40%, nos municípios de Barrocas e Conceição do Coité, respectivamente e em 2008 foi de 19% com a mínima de 0% e a máxima de 60%, nos municípios de Barrocas e Araci, respectivamente (Figura 6). O erro amostral considerado foi de 10% em todos os anos avaliados.

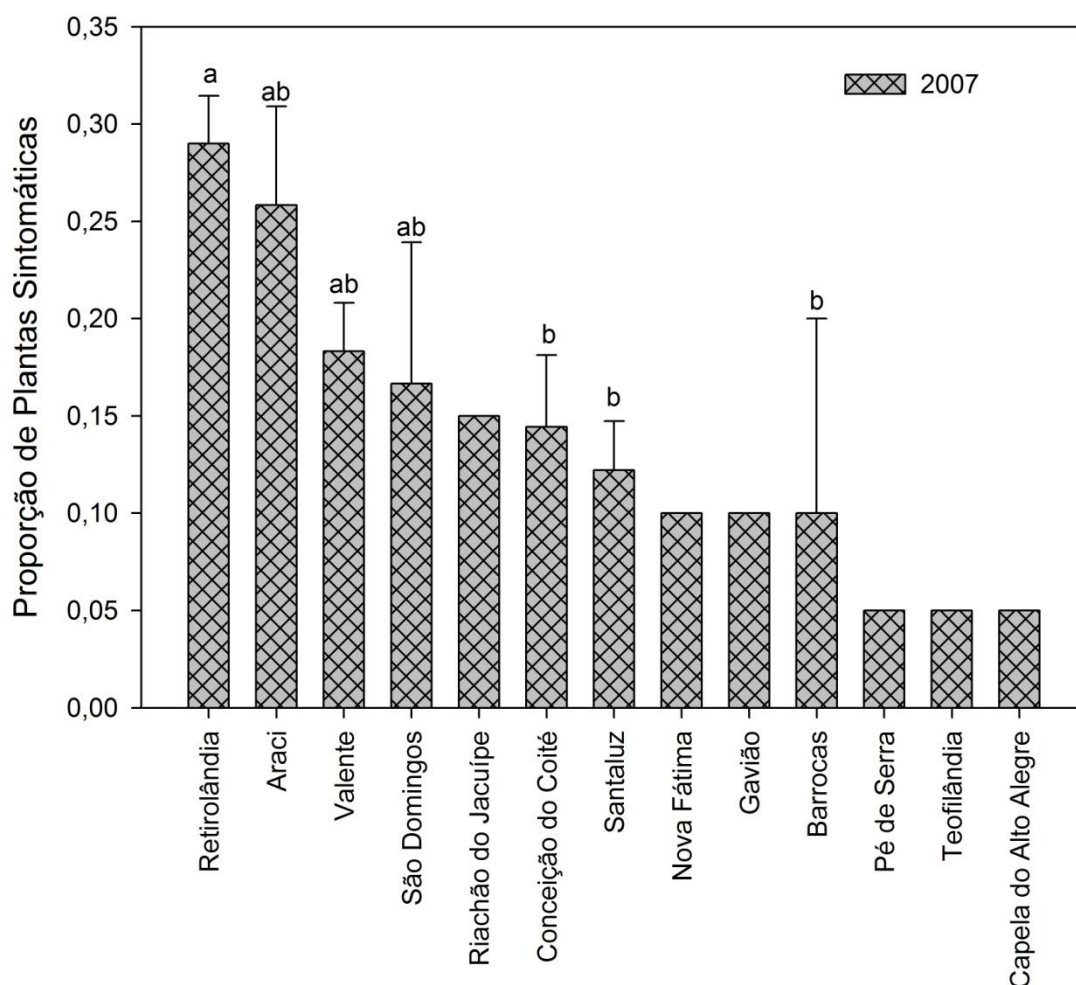


Figura 6. Incidência da podridão vermelha do sisal, no ano 2007, nos municípios de Retirolândia, Araci, Valente, São Domingos, Riachão do Jacuípe, Conceição do Coité, Santaluz, Nova Fátima, Gavião, Barrocas, Pé de Serra, Teofilândia e Capela do Alto Alegre, na Bahia, Brasil. As colunas que não possuem barras de desvio padrão correspondem a municípios em que foi avaliada apenas uma área de produção de sisal. Letras iguais indicam que os dados não diferem entre si, pelo Sign Test ( $p < 0,002$ ).

Os mapas de áreas isopatas revelaram tendência à aglomeração das áreas com maiores incidências da doença, ao Nordeste e Centro da Região estudada nos três anos (Figura 7: A, B e C).

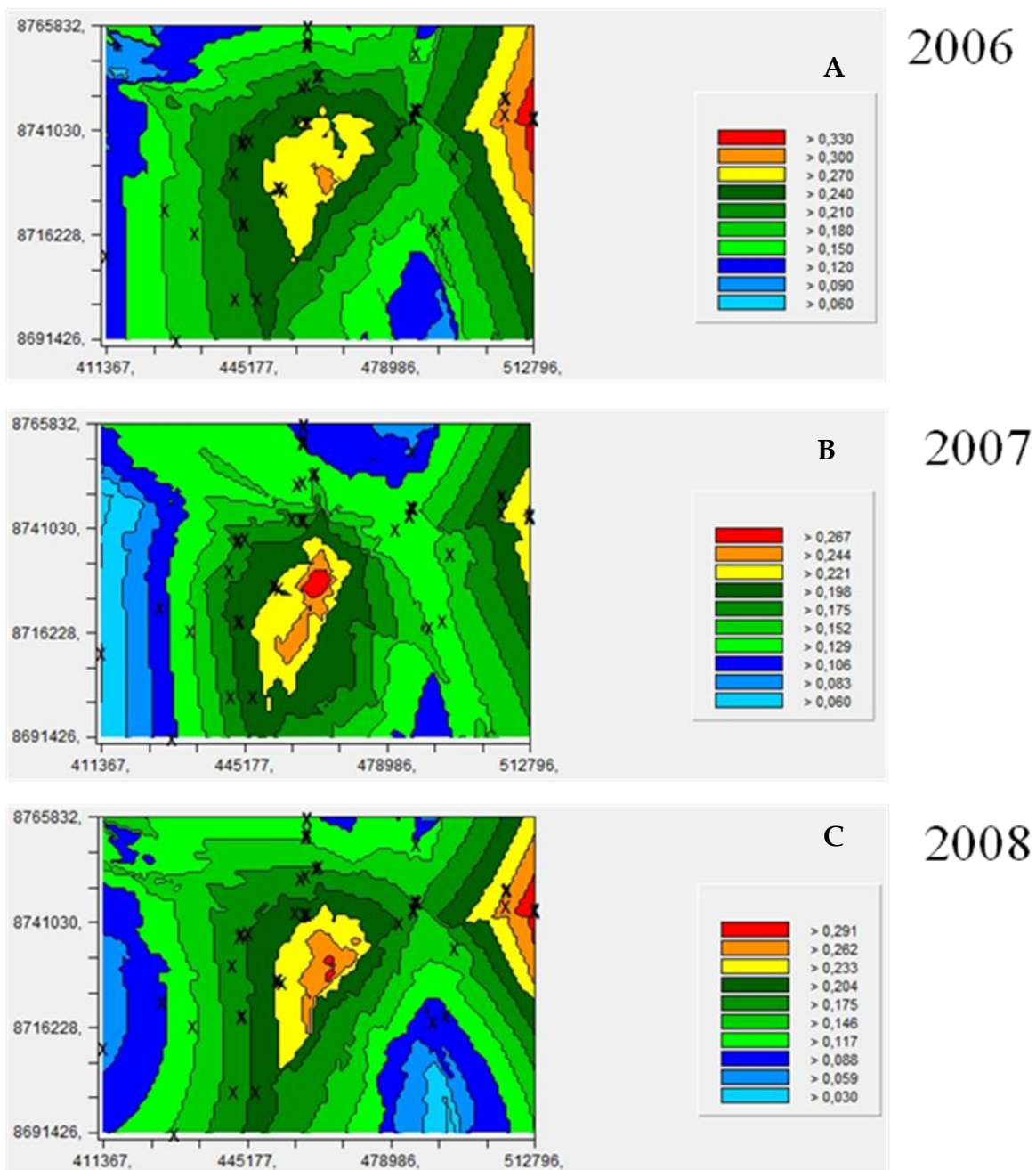


Figura 7. Distribuição espacial estimada com base na proporção de plantas de sisal com sintomas de podridão vermelha, em três anos consecutivos, na região sisaleira da Bahia. Os locais amostrados estão marcados com um "x". Cores iguais indicam regiões com mesma incidência estimada.

O Índice de Dispersão das 46 áreas avaliadas foi de 2,1433 em 2006, 2,5132 em 2007 e 2,2585 em 2008. Sendo, portanto, estatisticamente superiores ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de  $\chi^2$  para todas avaliações. Comprovando a tendência à agregação, conforme indicam os mapas de áreas isopatas, nos quais as áreas com incidências mais altas estão agregadas, confirmando a hipótese alternativa.

## DISCUSSÃO

Apesar do número mínimo de áreas amostradas ser 34 para o universo amostral proposto, optou-se por manter as 46 áreas avaliadas inicialmente, para as avaliações da prevalência e incidência da podridão vermelha do sisal nos três anos estudados, por se entender que um número maior de amostras daria maior confiabilidade aos resultados. O baixo número de amostras necessárias é explicado pela uniformidade das áreas amostradas quanto à prevalência da doença, tendo sido encontradas plantas sintomáticas em todos os municípios avaliados, sugerindo ampla distribuição da doença em todos os municípios produtores de sisal da Bahia.

Os valores médios de incidência encontrados nos três anos podem ser considerados altos, em função de ser uma doença que causa a morte da planta e inviabiliza o desfibramento das folhas para obtenção da fibra de sisal (principal objetivo do cultivo do sisal) resultando, portanto, em perdas de produção com valores iguais aos índices de incidência encontrados em cada área.

A incidência média da podridão vermelha do sisal em 2006 mostrou-se significativamente maior do que os valores encontrados em 2007 e 2008 (Figura 6), quando o esperado era que a incidência da doença fosse crescente. No entanto, estes dados só retratam o que ocorre no campo, com o aumento da incidência e da severidade da doença a área passa a apresentar grandes espaços vazios, como o sisal não tem espaçamento definido, e à medida que as plantas morrem os produtores as retiram das áreas, isto impossibilita a quantificação das plantas mortas entre uma avaliação e outra. Uma vez que as avaliações das incidências foram realizadas uma vez por ano e sempre nas

mesmas áreas nos três anos consecutivos, resultaram em aparente maior proporção de plantas doentes no primeiro ano de avaliação. O que de fato ocorreu foi que, como nas avaliações posteriores, grande parte das plantas sintomáticas na primeira avaliação, já estava morta, e como não foi possível a quantificação das mesmas, não incidiu na proporção de plantas doentes, além disso, plantas com infecções recentes ainda não apresentavam sintomas externos da doença, não influenciando, portanto, no índice de incidência da doença.

Os mapas de áreas isopatas apresentaram tendência à aglomeração das maiores incidências da doença, a nordeste e centro da região estudada (Figura 7: A, B e C). A nordeste está situado o município de Araci e na região central, encontram-se os municípios com maiores áreas ocupadas com o cultivo do sisal e que são os maiores produtores de sisal da região: Valente, Retirolândia, São Domingos e Conceição do Coité, onde o sisal é cultivado há muitos anos em lotes adjacentes, resultando em extensas áreas com o monocultivo do sisal, o que favoreceria a dispersão do patógeno com conseqüente aumento na incidência da doença ao longo do tempo, caracterizando a epidemia como poliética (LUCAS, 2006). O conhecimento das regiões aonde a doença vem ocorrendo com maiores níveis de incidência, possibilitará que ao se implantar novas áreas estas regiões sejam evitadas, no entanto novos levantamentos de incidência, nas áreas que apresentaram menores proporções de plantas doentes devem ser realizados, antes que sejam indicadas para implantação de novas áreas de sisal.

Da mesma forma que os mapas de áreas isopatas mostram que os dados não estão uniformemente distribuídos. Os valores encontrados de dispersão binomial nas 46 áreas confirmaram a agregação de áreas com maior proporção de plantas sintomáticas, sendo estes superiores a 1, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de  $\chi^2$ , para todas avaliações, confirmando-se a hipótese alternativa de que áreas com maior incidência encontram-se agrupadas, conforme se observa para doenças veiculadas por patógenos radiculares, que segundo Lucas (2006) se disseminam predominantemente a curtas distâncias.

O ajuste dos dados à distribuição Beta indica que na maioria das áreas a faixa de incidência da doença está entre 5 e 40% de plantas sintomáticas. Como já foi comentado anteriormente, são níveis de incidência preocupantes, uma vez que plantas doentes não se prestam ao desfibramento e não existe tratamento curativo para doença, levando a planta à morte.

O presente trabalho é pioneiro, pois não foram encontrados relatos de estudos visando o conhecimento da epidemiologia da podridão vermelha do sisal. Os resultados deste trabalho permitem conhecer os padrões de dispersão desta doença que auxiliará na definição de métodos de controle da doença e manejo da cultura a serem adotadas, uma vez que até o momento, nada tinha sido feito no sentido de se estabelecer métodos de controle para o patossistema *Aspergillus niger* – *Agave sisalana*.

## CONCLUSÕES

O número mínimo de amostras a ser avaliada para determinação da incidência da podridão vermelha do sisal é 34.

A podridão vermelha do sisal apresenta uma prevalência de 100% nos municípios estudados.

A incidência média da Podridão Vermelha do Sisal nos municípios estudados variou de 5% a 40%.

Embora de ocorrência generalizada na área de estudo, a distribuição espacial da doença é agregada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, L. Avaliação de doenças. In: BERGAMIN FILHO, A. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. Cap.32, p.647-671.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 532p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Volume exportado e geração de divisas do sisal em 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 de maio de 2010.

COOKE, B.M. Disease assessment and yield loss, Chapter 2, p. 43-80. In: COOKE, B. K.; JONES, D. G.; KAYE, B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

COUTINHO, W.M.; SUASSUNA, N.D.; LUZ, C.H.; SUINAGA, F.A.; SILVA, O.R.R.F. Bole rot of sisal caused by *Aspergillus niger* in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 605, 2006.

CZERMAINSKI, A. B. C.; SANHUEZA, R. M. V. Método de amostragem para estimar incidência de frutos com infecções latentes de *Glomerella cingulata* e *Botryosphaeria dothidea* em pomares de macieiras, **Comunicado Técnico**, n.41, dez. 2001, Bento Gonçalves, RS ( Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

DEEPAKE, U., (2009) Aero-microbiological studies of Moisture Affected Buildings in the Indoor Environment. Journal of Young Investigators. Vol. 19, Issue 11.

GOTTWALD, T.R. CAMBRA, M.MORENO, P.; CAMARASA, E.; PIQUER, J. Spatial and temporal analyses of citrus tristeza virus in eastern Spain. *Phytopathology*, v.86, n.1, p.45-55, 1996.

IBGE . **Produção agrícola municipal** . 2004. Disponível em: < [www.Sidra.ibge.gov.Br](http://www.Sidra.ibge.gov.Br)> Acesso em: 06 jun 2006.

LIMA, E.F.; MOREIRA, J. de A.N.; BATISTA, F.A.S.; SILVA, O.R.R.F.da; FARIAS, F.J.C.; ARAÚJO, A.E. Podridão vermelha do tronco do sisal (*Agave sisalana* Perr.) causada por *Botryodiplodia theobromae* Pat. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.2, n.2, p.109-112, 1998.

LUCAS, P. **Diseases caused by soil-borne pathogens**, chapter 14, p 373-386. In: COOKE, B. K.; JONES, D. G.; KAYE, B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

MADDEN L.V. and HUGHES, G. Modeling crop losses at the field scale. **Canadian Journal of Plant pathology**, 17, p. 124-137. 1999.

MEDINA, J. C. **O Sisal**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Publicidade Agrícola, 1954, 286p.

MICHEREFF, S. J. **Desenvolvimento de sistemas de amostragem aplicados ao manejo de doenças de plantas (Palestra 7)** In: Fitopatologia Brasileira, v. 31 (Suplemento), agosto 2006 , Brasília, DF. ISSN 0100-4158.

MICHEREFF, S. J. ANDRADE, D.E.G.T.; PERUCH, L.A.M. L.; MENEZES, M. Importância dos patógenos e das doenças radiculares em solos tropicais, capítulo 1, p 1- 18. In: **Ecologia e Manejo de patógenos Radiculares em Solos Tropicais**, MICHEREFF, S. J. ANDRADE, D.E.G.T.; MENEZES, M. UFRPE, Imprensa Universitária, Recife –PE, 2005, 398 p.

SUINAGA, F. A.; SILVA, O. R. R. F.; COUTINHO, W. M. **Cultivo de Sisal na Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro**, Sistemas de Produção 5, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, Campina Grande, PB, 2006, 42 p.

VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C. et al. **Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro**, Capítulo 3, p. 89- 123. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas, Belo Horizonte, Ed. Perfil,, 2004, 531p.

XU, X. **Modelling and interpreting disease progress in time**, chapter 8, p.21-238, In: COOKE, B. K.; JONES, D. G.; KAYE, B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

**Tese de Doutorado**

**CAPÍTULO 3**

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA PODRIDÃO VERMELHA DO  
SISAL NO ESTADO DA BAHIA**



## DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA PODRIDÃO VERMELHA DO SISAL NO ESTADO DA BAHIA

**Autora:** Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu

**Orientadora:** Ana Cristina Fermino Soares

**Co – Orientador:** Francisco Ferraz Laranjeira

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivos estabelecer os padrões espaciais e temporais da podridão vermelha do sisal, visando caracterizar a dinâmica da doença na Microrregião de Serrinha na Bahia. Para o mapeamento das áreas, foram marcadas e registradas as posições de 400 plantas em cada área, anotando-se o status fitopatológico das plantas a cada avaliação. A análise temporal foi realizada mediante o acompanhamento da evolução dos sintomas nas plantas afetadas e no aparecimento de novas plantas sintomáticas, das nove áreas selecionadas. O índice de severidade de doença (ISD) foi obtido a partir da média ponderada das notas de severidade da doença. A dinâmica espaço-temporal foi obtida mediante o acompanhamento periódico da evolução dos sintomas nas plantas marcadas durante o período de janeiro de 2008 a março de 2010, gerando mapas representativos da doença em cada avaliação e de cada área. A análise da distribuição espacial da doença foi realizada com o auxílio do software 2DCORR. Foram também confeccionados mapas das áreas isópatas para as áreas com maiores incidência e calculadas a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e a Taxa absoluta de progresso da doença para se verificar a influência da incidência inicial da doença no progresso da doença na área. Os resultados indicam que a doença ocorre de forma aleatória dentro da área de plantio, e o progresso não ocorre de maneira contínua, mas alternando períodos de aumento ou estabilidade da incidência, sendo a incidência inicial da doença na área responsável por 82% das diferenças encontradas no progresso da doença entre as áreas.

**Palavras – chave:** *Agave sisalana*, *Aspergillus niger*, epidemiologia

## **SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF SISAL RED ROT DISEASE IN STATE OF BAHIA**

**Authora: Katia Cristina Leão de Magalhães Abreu**

**Advisor: Ana Cristina Fermino Soares**

**Co - Adviser: Francisco Ferraz Laranjeira**

**ABSTRACT:** This study aimed to establish the spatial and temporal patterns of sisal red rot disease in order to characterize its dynamics in Serrinha region of Bahia State. For mapping the areas, 400 plants were marked, and each plant location relative to the other was recorded in all areas. The phytopathological plant status was evaluated. The temporal analysis was performed by monitoring the evolution of symptoms in affected plants and the appearance of new symptomatic plants of nine selected areas. The disease index (DI) was obtained from the average values of disease severity. Spatial – temporal dynamics were obtained through periodic monitoring of symptoms evolution of in marked plants during the period from January 2008 to March 2010, and the elaboration of maps representative of disease for each area and each period. Analysis of spatial distribution of disease was performed with the aid of the software 2DCORR. In addition, maps were elaborated for isopath areas of the highest disease incidence areas and the area under disease progress curve (AUDPC) and the absolute rate of disease progress were estimated to evaluate the influence of the initial disease incidence on disease progress in the field. The results indicate that the disease occurs randomly within the planting area, and progress does not occur continuously, but with alternating periods of increase and stability of disease, being the sisal field initial disease incidence responsible for 82% of the differences observed in the disease progress between sisal fields.

*Key-words: Agave sisalana, Aspergillus niger, epidemiology*

## INTRODUÇÃO

A podridão vermelha do caule do sisal é conhecida como podridão vermelha do sisal, podridão do cepo e podridão úmida do cepo ou ainda podridão parda do colo. O primeiro relato desta doença no Brasil ocorreu no Estado da Paraíba, segundo dados de Machado (1951), citado por Medina (1954). Na Bahia, foi constatada pela primeira vez por pesquisadores da Embrapa Semi-Árido e da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola, na fazenda Mandacaru, município de Santaluz - BA, em um plantio comercial de 500 hectares de sisal (LIMA et al. 1998).

Esta doença afeta as plantas de sisal (*Agave sisalana*, Perrine) em qualquer estágio de desenvolvimento. Os primeiros sintomas são descoloração avermelhada dos tecidos internos do caule, quando é impossível se perceber a ocorrência da infecção sem que se arranque a planta. Após o desenvolvimento dos sintomas externos, no entanto, a doença é facilmente identificada pelo amarelecimento e murcha das folhas, sintomas reflexos, do apodrecimento interno do caule o que resulta na morte da planta (COUTINHO, 2006).

Inicialmente a doença foi descrita por Lima et al. (1998) como sendo causada pelo fungo *Botryodiplodia theobromae*. Entretanto, estudos mais recentes confirmaram *Aspergillus niger* como o agente etiológico da podridão vermelha do sisal (COUTINHO, 2006, SOARES et. al., 2006). O *A. niger* é um fungo habitante do solo, sobrevivendo como saprófita sobre a matéria orgânica em decomposição (LUCAS, 2006).

Embora desde a década de 50 já houvesse registro da podridão vermelha do sisal no Brasil, não foi encontrado na literatura científica nenhum estudo epidemiológico desta doença no Brasil e nem em outros países produtores de sisal. Apenas Coutinho et al. (2006) e Suinaga (2006), citando Alves et. al. (2004) se referiram a incidência de 5% a 40% da doença nos sisalais brasileiros.

O estudo epidemiológico das doenças constitui-se em ferramenta importante para ampliar o entendimento de como as doenças se manifestam nos hospedeiros e como outros fatores influenciam seu desenvolvimento. O conhecimento amplo de todas as características temporais e espaciais de uma epidemia possibilita uma visão mais completa da estrutura e do comportamento de patossistemas. Neste contexto o estudo espaço-temporal quando realizados

conjuntamente, fornecem dados que permitem uma melhor compreensão do triângulo da doença (BERGAMIN FILHO et. al. 2004).

O estudo da dinâmica da doença permite a definição de medidas de controle mais precisas, permitindo o estabelecimento do momento mais apropriado a serem implementadas as ações de controle, em função da interação patógeno, hospedeiro e ambiente. (VALE, 2004; XU, 2006; JESUS JUNIOR, 2004; BERGAMIN FILHO, 2004).

O mapa de progresso da doença é outra ferramenta freqüentemente utilizada em análises para se compreender a dinâmica espaço-temporal de epidemias. O mapeamento do progresso da doença, através de avaliações periódicas em uma área, fornece dados que resultam em retratos de uma mesma epidemia vistos de forma bi ou tridimensional, possibilitando a visualização rápida da dispersão da doença no tempo e no espaço, e permitindo inferir sobre a influência edafoclimática neste processo (CAMPBELL e MADDEN, 1990).

Sendo a epidemia uma conseqüência do desenvolvimento de muitos focos individuais de doença, entender como a doença se dispersa a partir de um foco inicial, é fundamental para se estabelecer a dinâmica espaço-temporal da doença (McCARTNEY et. al. 2006).

Considerando a inexistência de dados para a podridão vermelha, o estudo epidemiológico do patossistema *A.niger* x *A. sisalana* pode contribuir para futuro delineamento de estratégias de controle. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivos estudar o progresso da podridão vermelha do sisal no tempo bem como o arranjo espacial das plantas visando caracterizar a dinâmica da doença em plantios da Microrregião de Serrinha no Estado da Bahia.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Seleção e caracterização das áreas

A escolha das áreas para acompanhamento do progresso da doença se deu em função dos seguintes fatores:

- a) Área total plantada com a espécie *Agave sisalana* por município (IBGE 2006);
- b) Áreas com histórico de ocorrência da doença;
- c) Áreas com diferentes anos de plantio

- d) Áreas onde as parcelas para avaliação da doença pudessem ser uniformes, isto é, permitissem a entrada dos avaliadores nas entre linhas de plantio;
- e) Áreas com diferentes níveis de incidência da doença e
- f) Produtores receptivos e responsáveis.

Em consonância com estes critérios as áreas foram distribuídas como indicado na Tabela 1.

### **Mapeamento das áreas**

Para o mapeamento das áreas, foram marcadas 400 plantas, em um quadrilátero, o que equivale a 10% de plantas em um hectare de sisal, com lacres numerados afixados na folha mais nova de cada planta, observando-se o espaçamento, o sistema de cultivo (se fileira simples ou fileira dupla) e a disposição espacial das plantas em cada área (Figura 1). Com isto conseguiu-se a posição relativa de cada planta em relação às demais. Em cada avaliação o status fitopssanitário das plantas foi avaliado, obtendo-se assim um mapa de cada área para cada data de avaliação.



Figura 1: Área de sisal para acompanhamento espaço – temporal da podridão vermelha do sisal (400 plantas marcadas).

Tabela 1: Características das áreas de sisal (*Agave sisalana*) utilizadas para o acompanhamento espaço - temporal da Podridão Vermelha do Sisal

Município	Área	Localidade	Localização	Sistema de cultivo	Espaçamento	Anos de plantio *	Observações	ISD INICIAL	ISD FINAL
Araci	1	Faz. Barreiro de Fora	24L0496757 UTM 8751568	Fileira simples	2,0 m x 0,5 m	7 anos	animais dentro da área de plantio	0,013	0,213
Barrocas 1	2	Faz. Tigre	24L0488908 UTM 8717848	Fileira simples	2,5 m x 1,0 m	2 anos	declive	0,003	0,053
Barrocas 2	3	Faz. Espera	24L0888990 UTM 8728312	Fileira simples	2,5 m x 1,0 m	4 anos	animais dentro da área de plantio	0,003	0,035
Conceição do Coité 1	4	Faz. Lameiro da Macambira	24L00484550 UTM 8746368	Fileira dupla	2,0 m x 1,0 m x 1,0 m	5 anos	solo pedregoso	0,008	0,098
Conceição do Coité 2	5	Faz. Lameirinho	24L0480969 UTM 8740978	Fileira simples	1,5 m x 0,5 m	3 anos	solo arenoso	0,068	0,575
Retirolândia 1	6	Faz. Água Boa	24L0450542 UTM 8728484	Fileira dupla	2,0 m x 1,0 m x 1,0 m	5 anos	perto de estrada	0,014	0,175
Retirolândia 2	7	Faz. Rancho Alegre	24L0459086 UTM 8726134	Fileira simples	2,0 m x 1,0 m	3 anos	animais dentro da área de plantio	0,038	0,21
São Domingos	8	Faz. Dois Eucaliptos	24L0439716 UTM 8333306	Fileira simples	2,0 m x 1,0 m	3 anos	perto de estrada	0,021	0,271
Valente	9	Faz. Algodões	24L0888990 UTM 8728312	Fileira simples	2,0 m x 1,0 m	7 anos	animais dentro da área de plantio	0,033	0,319

Obs: em todas as áreas não foi realizado adubação ou arraquio de plantas doentes durante o período avaliado.

\* Foi considerada a idade da área no início das avaliações.

## Avaliações

As avaliações foram realizadas baseadas nos sintomas de amarelecimento e murcha da planta, sempre pela mesma equipe de no mínimo três avaliadores treinados para esta finalidade. As plantas marcadas receberam notas de acordo com uma escala descritiva e diagramática elaborada para esta finalidade, e validada pela equipe de avaliadores (Figura 2), com quatro níveis de severidade, onde 0, indicava ausência de sintomas; 1, plantas com amarelecimento inicial; 2, folhas amarelas e murchas e 3, planta morta. Todas as plantas marcadas foram mantidas até o final da avaliação mesmo após ter ocorrido seu tombamento. As áreas foram avaliadas periodicamente, de acordo com as condições fisiológicas das plantas (uma vez que após um período de longa estiagem as plantas apresentam-se amarelas e murchas, confundindo com os sintomas da podridão vermelha) no período de janeiro de 2008 a março de 2010. Em nenhuma das áreas foi realizado qualquer tipo de controle da doença, tendo sido mantidas as plantas mortas na área até o final das avaliações. Buscou-se com isto padronizar os procedimentos nas diversas áreas avaliadas, possibilitando o acompanhamento da doença no tempo e no espaço, sem a interferência do homem.

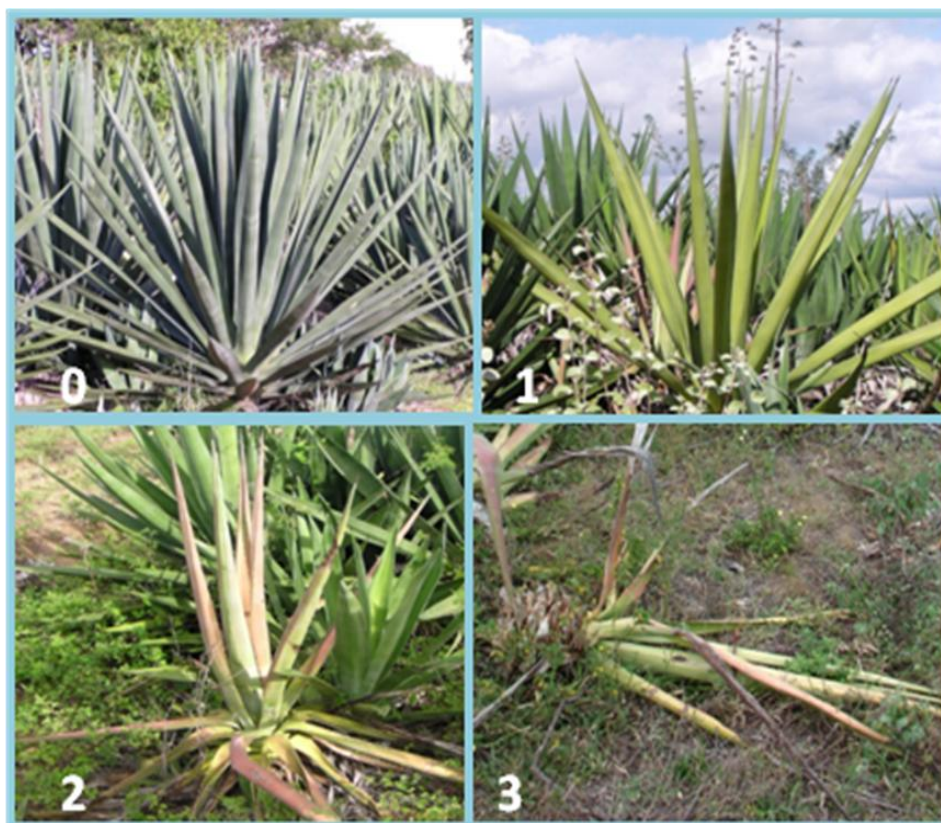


Figura 2: Escala descritiva e diagramática para avaliação da podridão vermelha do sisal. (0, plantas assintomáticas; 1, plantas com folhas amarelas; 2, planta com folhas amarelas e murchas e 3, planta morta).

### **Análise temporal**

A análise temporal foi realizada mediante o acompanhamento da evolução dos sintomas nas plantas afetadas e da incidência nas nove áreas selecionadas. Para avaliação da incidência, foi registrada a presença ou ausência de sintomas para cada planta da área e o grau de severidade da doença de acordo com a escala descritiva (Figura 2).

Para cada área e em cada avaliação foi calculada a proporção de plantas afetadas obtendo-se a percentagem de plantas sintomáticas através da seguinte equação:

PD =  $n/N$  onde:

PD = Percentagem de plantas doentes

n = número total de plantas sintomáticas

N = número total de plantas avaliadas

### **Índice de Severidade de doença (ISD)**

O Índice de severidade doença (ISD) foi obtido a partir da média ponderada das notas onde “n” representa o número de plantas nos diferentes graus de severidade da doença, conforme McKinney (1923):

$$ISD = \frac{\sum (n * f)}{z * N}$$

em que: ISD é o Índice de Doença;  $n$  é a nota de severidade conferida à planta avaliada ;  $f$  é a freqüência das notas no total das plantas avaliadas;  $z$  é o valor numérico da nota máxima na escala; e  $N$  é o total de observações. Para cada data de avaliação foi calculado o ISD, obtendo ao final o ISD acumulado do período avaliado.

### **Relação entre a proporção de plantas doentes e o Índice de Doença (PPD/ID)**

Para todas as avaliações foi calculada a relação entre a proporção de plantas doentes e o Índice de Doença, com intuito de se verificar a importância do aumento da severidade e da quantidade de plantas infectadas sobre o Índice de Doença nas áreas de sisal. Valores encontrados maiores que um é considerado como indicativo que o aparecimento de novas plantas doentes são mais importantes no avanço da epidemia do que o aumento da severidade da doença, valores iguais a 1 indicam estabilidade ou aumentos proporcionais e valores



menores que 1 indicam o predomínio do aumento da severidade sobre o aparecimento de novas plantas doentes.

### **Dinâmica temporal**

Os dados temporais foram usados para obtenção dos gráficos de proporção de plantas sintomáticas x tempo de avaliação (Taxa absoluta do progresso da doença (dy/dt)). Como as curvas dy/dt em que dy é a diferencial da intensidade da doença e dt é a diferencial do tempo necessário para ocorrência da intensidade da doença, indicaram claramente que os padrões da doença não seguem os padrões conhecidos, não foi possível o ajuste dos modelos clássicos de progresso comumente utilizados em análises epidemiológicas.

### **TAPD ( taxa absoluta do progresso da doença) e AACPD (Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença)**

Em função da proporção de plantas sintomáticas na primeira avaliação ser diferente em cada área estudada, foi calculada a TAPD foi estimada a partir da proporção de plantas sintomáticas na primeira avaliação e a proporção de plantas sintomáticas na última avaliação de cada área e a AACPD, pela equação (Campbell e Madden,1990).

$$AACPD = \sum_i^{n-1} \left( \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Onde:

AACPD = Área abaixo da curva de progresso da doença;

n = número de avaliações;

y = intensidade da doença;

t = o tempo quando da avaliação da intensidade da doença;

$(Y_i + Y_{i+1})$  = a altura média do retângulo entre os pontos  $Y_i$  e  $Y_{i+1}$  e

$(t_{i+1} - t_i)$  = a diferença da base do retângulo entre os pontos  $t_{i+1}$  e  $t_i$ .

### **Padrão espacial**

Os padrões espaciais foram examinados pelo método de correlação espacial bidimensional (2DCorr). O 2DCorr foi usado para avaliar as relações entre plantas no que diz respeito a simples presença e ausência da doença. Baseia-se na contagem de pares de plantas (doente-doente, doente-sadia, sadia-doente e sadia-sadia) nos mapas experimentais, comparando-a com as frequências esperadas em padrões espaciais aleatórios (Ferrandino, 1998). Matrizes de dados binários (x,y,z) para todas avaliações e áreas foram introduzidas no programa e a probabilidade de erro para cada posição x,y foi calculada. Baseado nisso, as posições positivamente correlacionadas ( $P = 0.01$ ) foram marcadas; o arranjo de posições significativas e não significativas é conhecido como padrão de proximidade. Efeitos de linhas foram determinados considerando-se o número de posições significativas dentro ou entre linhas de plantio contíguas à posição [0,0] do padrão de proximidade. Em função das áreas em estudo não terem formato regular e da quantidade de falhas observadas não foi possível usar outros métodos de análise espacial.

### **Mapas de áreas isopatas (AI)**

Mapas de áreas isópatas foram também gerados para avaliação qualitativa da dinâmica espaço-temporal da doença. Tais mapas representam com cores diferentes as subáreas de mesma intensidade de doença e foram confeccionados tendo como base os dados de severidade por meio de programa escrito em linguagem Python utilizando interpolação do tipo Bessel e as bibliotecas numpy, matplotlib e scipy (Laranjeira, não publicado).

## **Resultados**

Apesar da grande importância da cultura do sisal para região semi-árida da Bahia, nenhum estudo epidemiológico referente à podridão vermelha tinha sido realizado. Nesse contexto, as informações obtidas neste trabalho devem ser vistas como importantes, mas outros estudos ainda são necessários para esclarecer todo o processo epidemiológico dessa doença.

### **Avaliações**

Em nenhuma das avaliações houve dúvida sobre o grau de severidade da doença na planta avaliada, tendo a escala diagramática norteado a avaliação para que se definisse com precisão o status fitopatológico da planta em questão.

**Análise temporal** - As incidências iniciais nas áreas variaram de 0,005 (em Barrocas1) a 0,128 (em Conceição do Coité 2) e as finais foram de 0,038 (em Barrocas 2) a 0,62 (em Conceição do Coité 2) . Os ISD's iniciais apresentaram mínimo de 0,0033, em Barrocas1 e Barrocas 2, e máximo 0,068, em Conceição do Coité 2, e os finais tiveram mínimo de 0,0035 em Barrocas 1 e máximo 0,00575, em Conceição do Coité 2 (Tabela 1). As demais áreas apresentaram valores intermediários a estes (Figuras 3 a a 3 i). As curvas de proporção de plantas doentes (dados não apresentados) e índices de severidade da doença mostraram uma correlação positiva em todas as áreas.

Os dados temporais foram usados para montar os gráficos para ajuste dos dados aos modelos matemáticos. Não foi possível o ajuste a nenhum dos modelos clássicos (Exponencial, Logístico, de Gompertz e Monomolecular). Conforme pode ser visto nas Figuras 3a a 3i, os padrões obtidos para as curvas  $dy/dt$  foram completamente diferentes do esperado para aqueles modelos, levando a ajustes de modelo não satisfatórios (dados não apresentados).

A relação entre a proporção de plantas doentes e o Índice de Severidade de Doença (PPD/ISD) foi calculada para todas as avaliações. Em todas as áreas essa relação foi sempre acima de 1 indicando a importância do aparecimento de novas plantas sintomáticas no progresso da doença nas áreas (Figuras 4 a a 4 i).

Não houve como identificar um período que fosse comum a todas as áreas quanto ao aparecimento de novas plantas sintomáticas. Como pode ser observado na Figura 5 a a 5i as áreas apresentaram diferentes épocas e quantidade de picos de aparecimento de novas plantas sintomáticas.

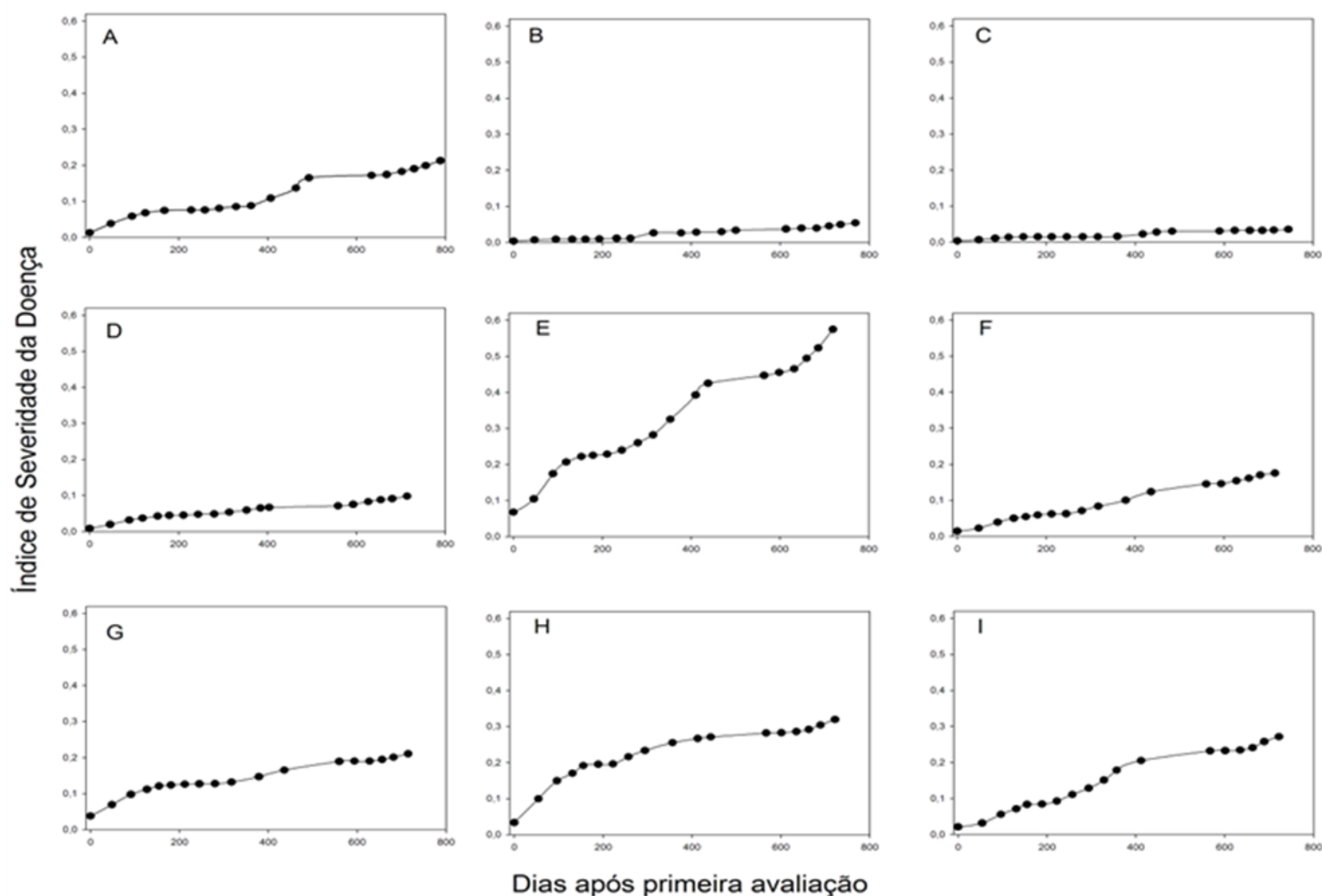


Figura 3: Curvas de progresso da Podridão Vermelha do Sisal no período de janeiro de 2008 a março de 2010, das áreas de: A) Araci; B) Barrocas 1; C) Barrocas 2; D) Conceição do Coité 1; E) Conceição do Coité 2; F) Retirolândia 1; G) Retirolândia 2; H) São Domingos e I) Valente

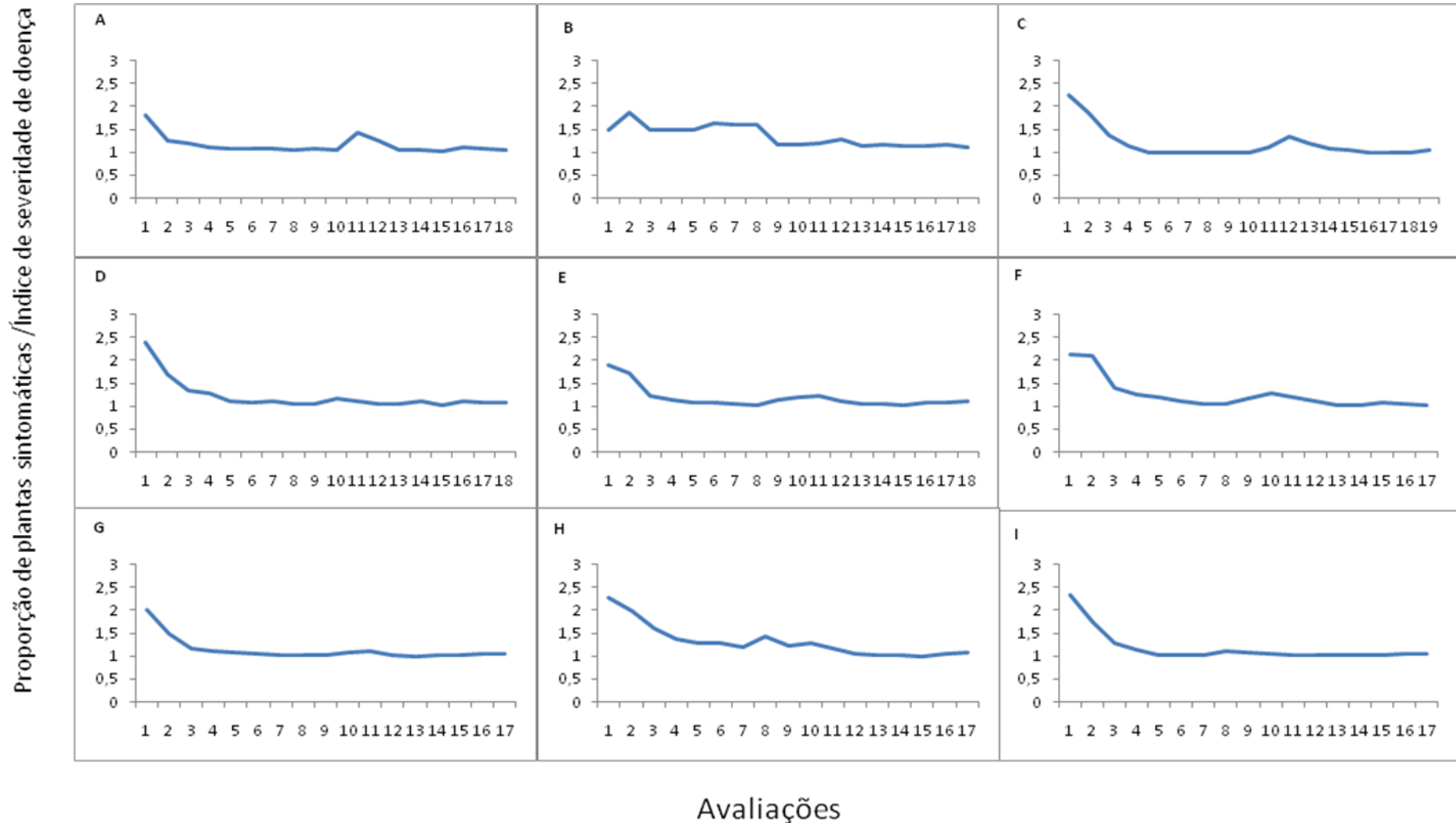


Figura 4: Proporção de plantas com sintomas de Podridão Vermelha do Sisal / índice de severidade de doença em áreas de municípios produtores de sisal da Bahia no período de janeiro de 2008 a março de 2010. A) Araci; B) Barrocas 1; C) Barrocas 2; D) Conceição do Coité 1; E) Conceição do Coité 2; F) Retirolândia 1; G) Retirolândia 2; H) São Domingos e I) Valente

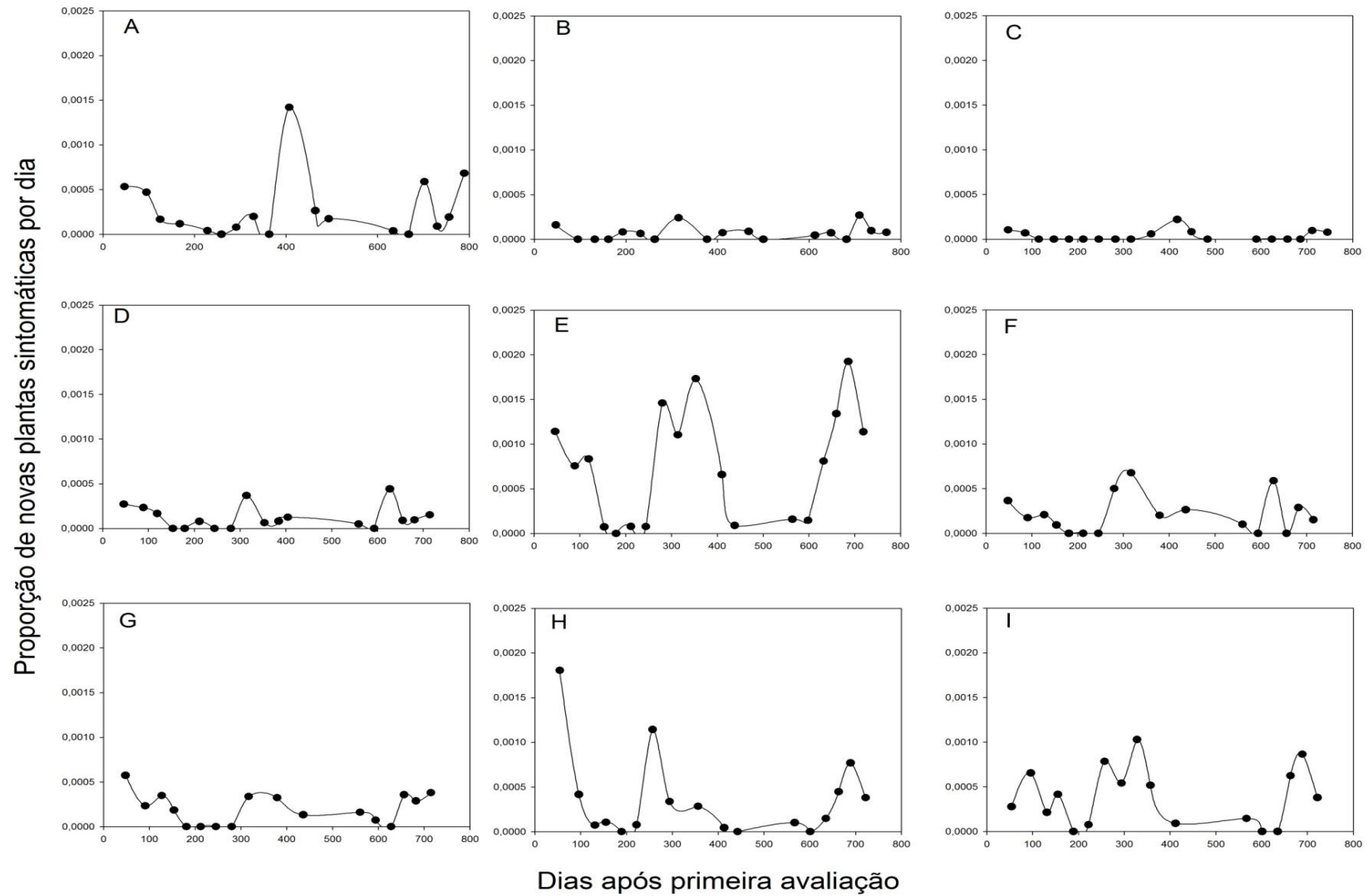


Figura 5: Proporção de plantas com sintomas de Podridão Vermelha do Sisal / Dias de avaliação em áreas de municípios produtores de sisal da Bahia no período de janeiro de 2008 a março de 2010. A) Araci; B) Barrocas 1; C) Barrocas 2; D) Conceição do Coité 1; E) Conceição do Coité 2; F) Retirolândia 1; G) Retirolândia 2; H) São Domingos e I) Valente

### AACPD (Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença)

A análise da área abaixo da curva de progresso da doença sugere que a incidência inicial da doença na área explica 82% das diferenças encontradas no progresso da doença nas áreas a  $p < 0,0007$  (Figura 6).

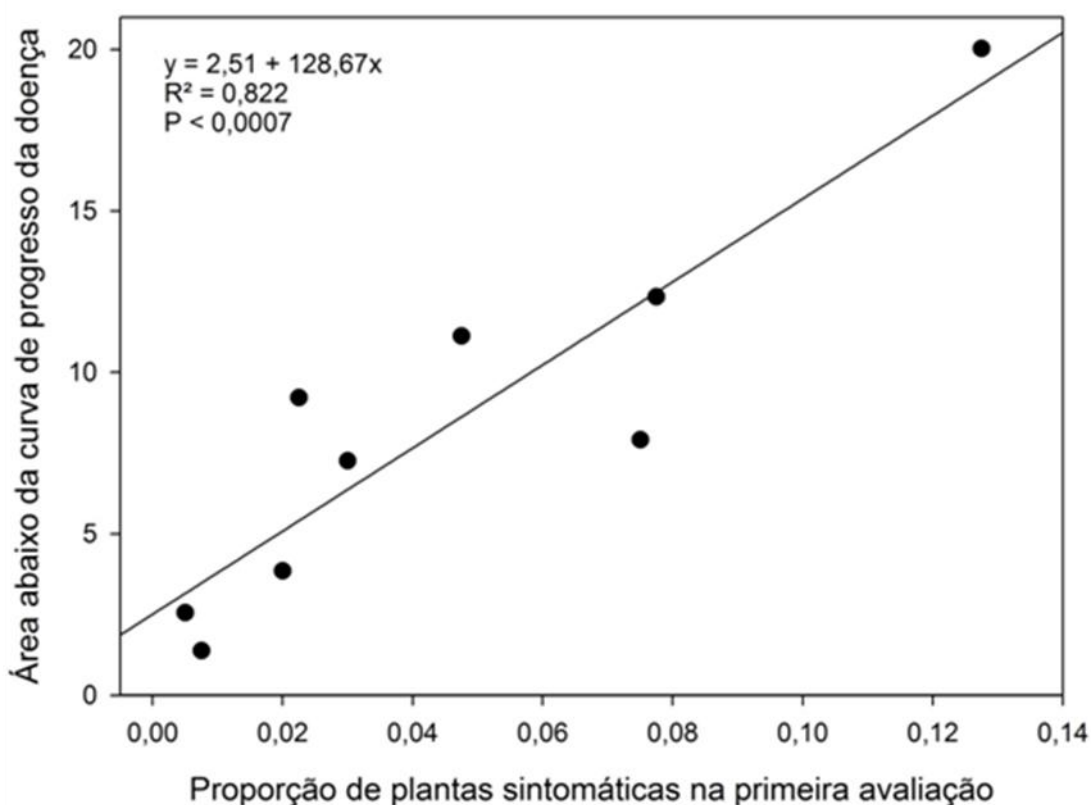


Figura 6: Área abaixo da curva de progresso da Podridão Vermelha do sisal para proporção de plantas sintomáticas na primeira avaliação das áreas de Araci, Barrocas1, Barrocas 2, Conceição do Coité 1, Conceição do Coité 2, Retirolândia 1, Retirolândia 2, São Domingos e Valente.

### Taxa absoluta de Progresso da Doença

A taxa absoluta de progresso da doença demonstra que 81% das diferenças encontradas no progresso da doença nas áreas a  $p < 0,001$  são devido a incidência inicial da podridão vermelha do sisal nas áreas em estudo (Figura 7), confirmando o que foi evidenciado pela análise da AACPD.

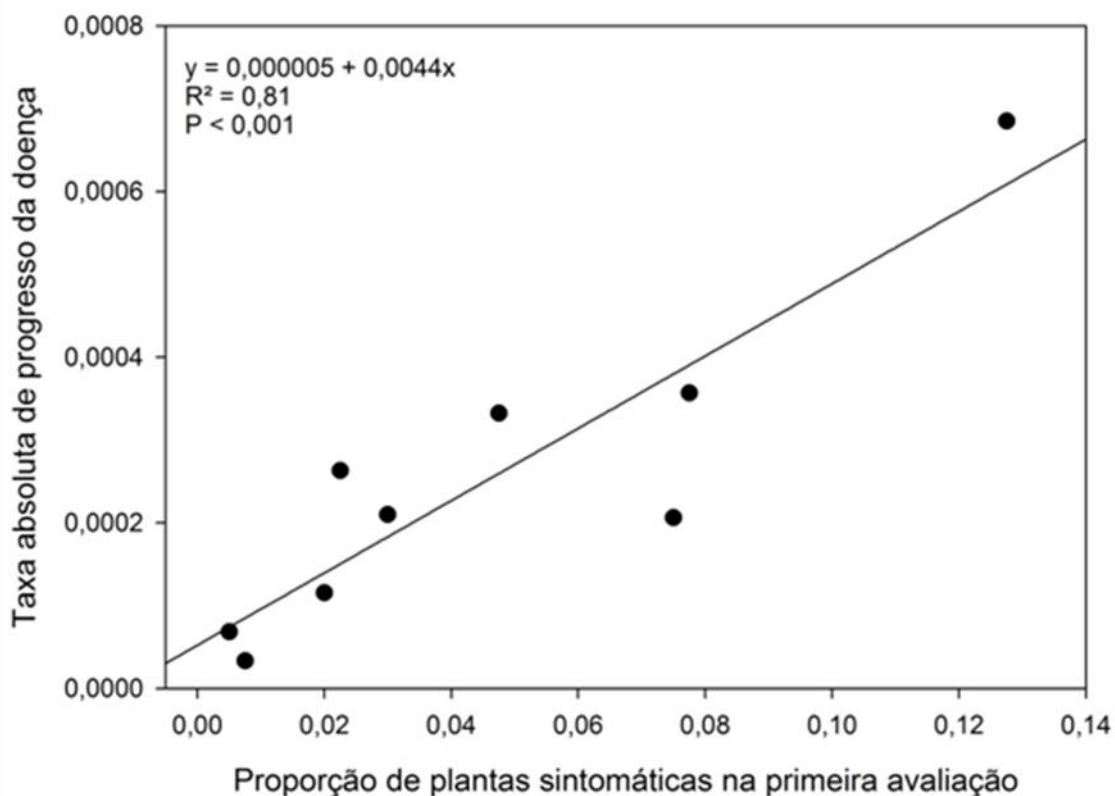


Figura 7: Taxa absoluta de progresso da Podridão Vermelha do sisal para proporção de plantas sintomáticas na primeira avaliação das áreas de Araci, Barrocas1, Barrocas 2, Conceição do Coité 1, Conceição do Coité 2, Retirolândia 1, Retirolândia 2, São Domingos e Valente.

### Padrão espacial

Os resultados da análise 2DCORR indicam distribuição aleatória da doença na grande maioria das áreas e avaliações. As relações significativas, a mais longas distâncias, observadas em todas as áreas, variaram entre as áreas e avaliações. Apenas em uma área, Retirolândia 1, foi encontrada uma relação entre plantas imediatamente vizinhas (Figuras 8, 9 e 10).



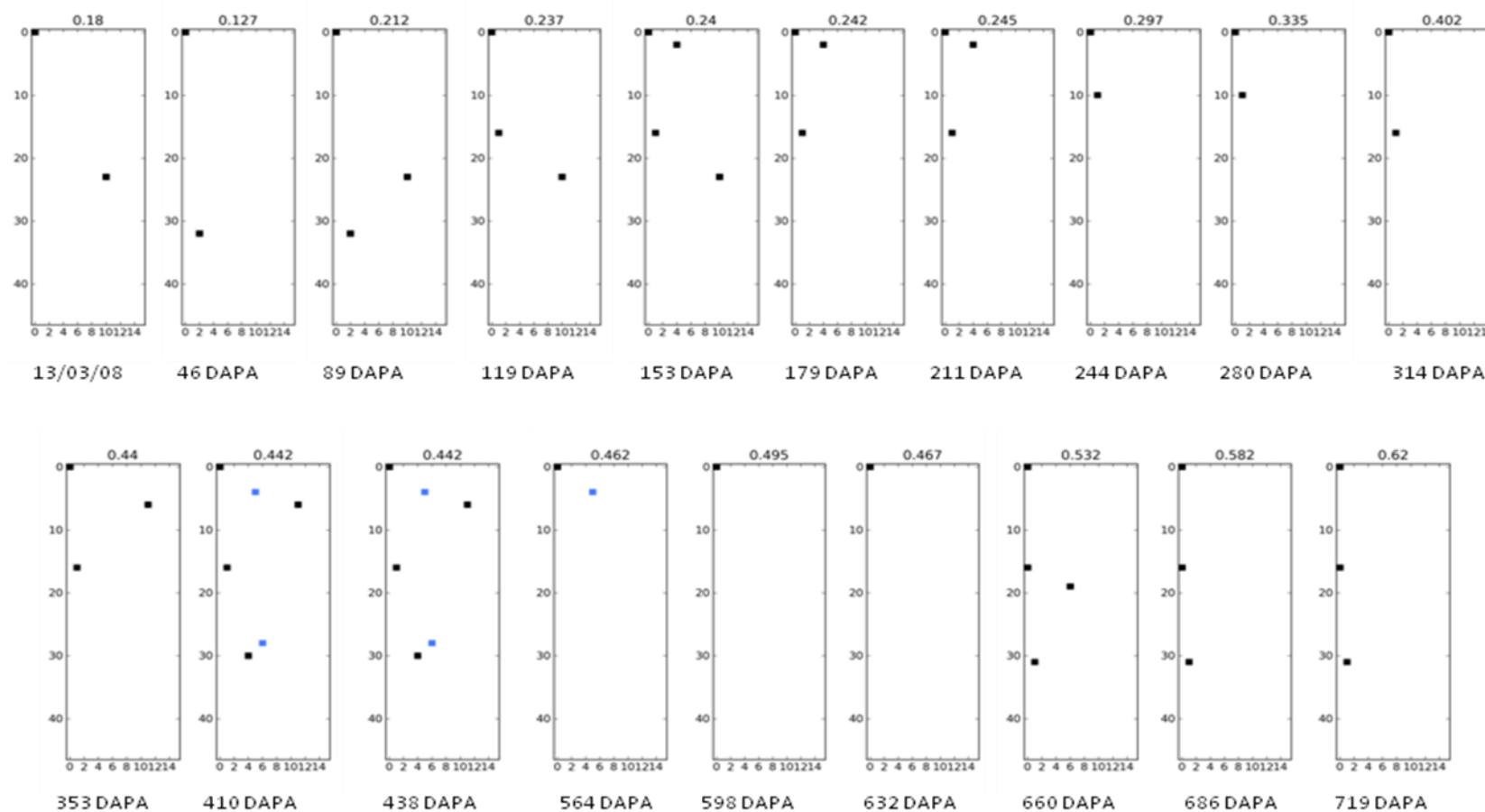


Figura 8 – Mapas 2DCORR da área Conceição do Coité 2 de 18 avaliações representativas (0, 46,89,119,153, 179,211, 244, 280, 314, 353, 410, 438, 564, 598, 632, 660, 686, 719 Dias após a primeira avaliação - DAPA) da relação entre plantas com sintomas de Podridão Vermelha do sisal por avaliação.

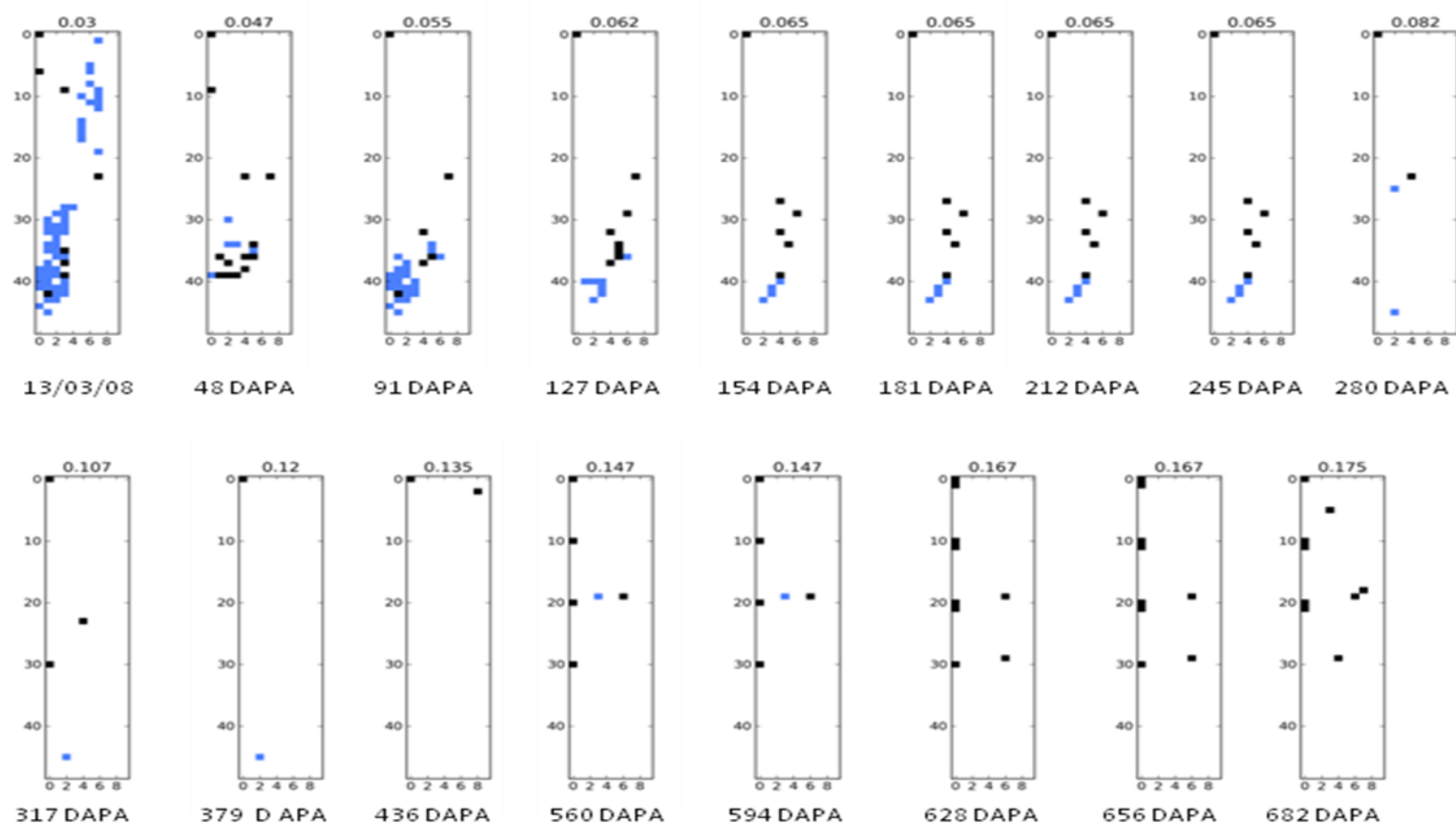


Figura 9 – Mapas 2DCORR da área Retiro 1 de 17 avaliações representativas (0, 48, 91, 127, 154, 181, 212, 245, 280, 317, 379 e 436 dias após a primeira avaliação - DAPA) da relação de plantas com sintomas da Podridão Vermelha do sisal.

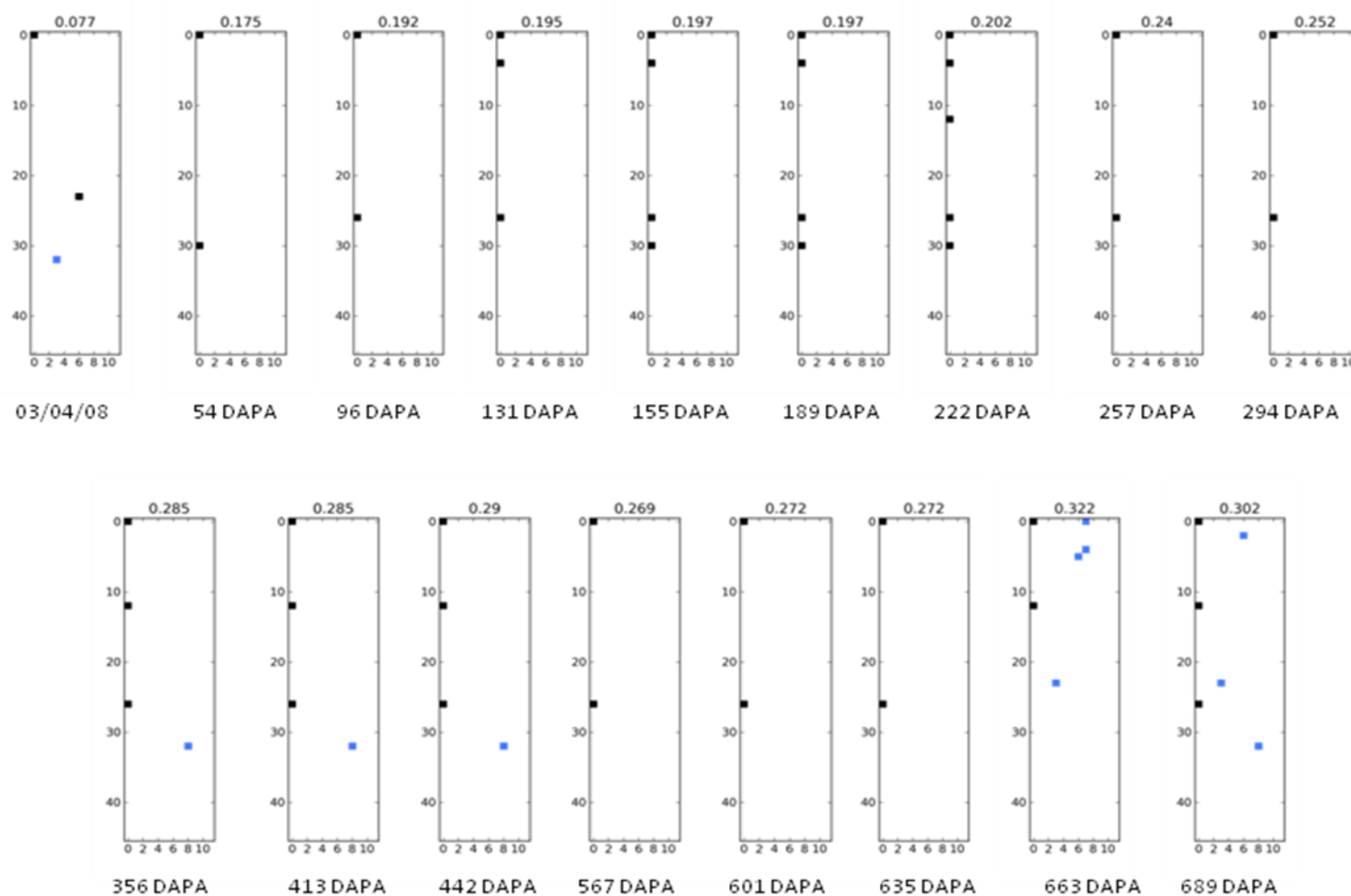


Figura 10 – Mapas 2DCORR da área Valente de 17 avaliações representativas (0, 54, 96, 131, 155, 189, 222, 257, 294, 356, 413, 442, 567, 601, 635, 663 e 689 dias após a primeira avaliação - DAPA) da relação entre plantas com sintomas da Podridão Vermelha do sisal.

**Mapas de áreas isopátas (AI)** O conjunto de mapas de cada área possibilita perceber-se a distribuição espaço-temporal da doença. Como todas as áreas apresentaram o mesmo padrão aleatório de distribuição da doença, optou-se por apresentar apenas os mapas de áreas isópatas para algumas das áreas representativas das áreas avaliadas. Os mapas gerados com esta análise representam a situação da doença em cada época e cada área isópata (AI) indica locais de incidência semelhante, de acordo com a escala descritiva (Figura 2). A maioria das áreas não possuía o formato retangular aqui apresentado, isto explica, porque muitas vezes foi percebido, principalmente nos cantos, regiões de plantas aparentemente saudias, na verdade são regiões onde as plantas não foram avaliadas (Figuras 11 a 15).

Em Conceição do Coité 2, inicialmente observou-se um padrão aleatório de distribuição dos focos da podridão vermelha na área. A partir da segunda avaliação, os focos localizados no lado Oeste, partindo da borda da área para o centro, começaram a ficar mais evidentes que os demais. Esta tendência se manteve até 211 DAPA, quando a área apresentava 24% de incidência da doença e vários focos importantes foram detectados, especialmente um foco maior a Nordeste que atingiu um maior número de plantas, que se manteve até a última avaliação (Figura 11).

Na área Retiro1, foi possível detectar desde o início focos da doença em toda a borda Norte e vários focos distribuídos uniformemente no restante da área. Aos 91 DAPA surgiu um foco comprido na borda Sudoeste que evoluiu rapidamente e aos 127 DAPA já tinha atingido todas as plantas desta região. Outro foco que se tornou importante a partir 280 DAPA foi o da borda Noroeste que ao final do período avaliado era o foco que apresentava maior número de plantas infectadas (Figura 12).

Nos mapas de AI na área Retiro 2, observou-se na primeira avaliação focos distribuídos, a partir do Centro em direção ao Sul, atravessando toda a área. O progresso da doença em relação a severidade foi muito rápido e aos 91 DAPA, praticamente todas as plantas já se encontravam mortas, embora os focos não tivessem aumentos significativos de tamanho. A partir dos 436 DAPA, a doença voltou a progredir rapidamente e ao final das avaliações toda a região estava contaminada, diminuindo a faixa de plantas saudias, verificada na borda Sul no início das avaliações. Estes resultados sugerem que o aumento do potencial de

inóculo na área, em função do aumento de plantas mortas dentro da área de plantio, deve ter influência neste processo (Figura 13).

Na área de São Domingos houve uma tendência a ocorrência de faixas com aglomeração de focos e faixas onde não se observou nenhum foco. Apenas um foco na borda Norte da área estudada se mostrou mais importante desde o início das avaliações. A partir dos 131 DAPA o foco ao Centro da área estuda se tornou mais importante, por atingir um maior número de plantas. Na borda Norte o foco que se percebia desde o início das avaliações, evoluiu rapidamente tanto em tamanho como em intensidade da doença e toda a região já se encontrava afetada aos 257 DAPA(Figura 14).

A área de Valente apresentava inicialmente apenas dois focos mais evidentes partindo da borda Noroeste em direção ao centro da área. Percebia-se também vários focos discretos distribuídos aleatoriamente a partir do centro da área em direção ao lado Oeste, embora todo lado Leste se mantivesse sem nenhum foco. Na segunda avaliação, no entanto, toda a parte Norte até o Centro da área já apresentava grande número de pequenos focos, só se mantendo livre uma estreita faixa a Nordeste e a borda Sul da área. Aos 257 DAPA todo lado Leste já apresentava focos da doença. E um foco surgido ao Sul aos 54 DAPA tinha evoluído rapidamente atingindo todas as plantas da região a partir da borda em direção ao centro da área (Figura 15).

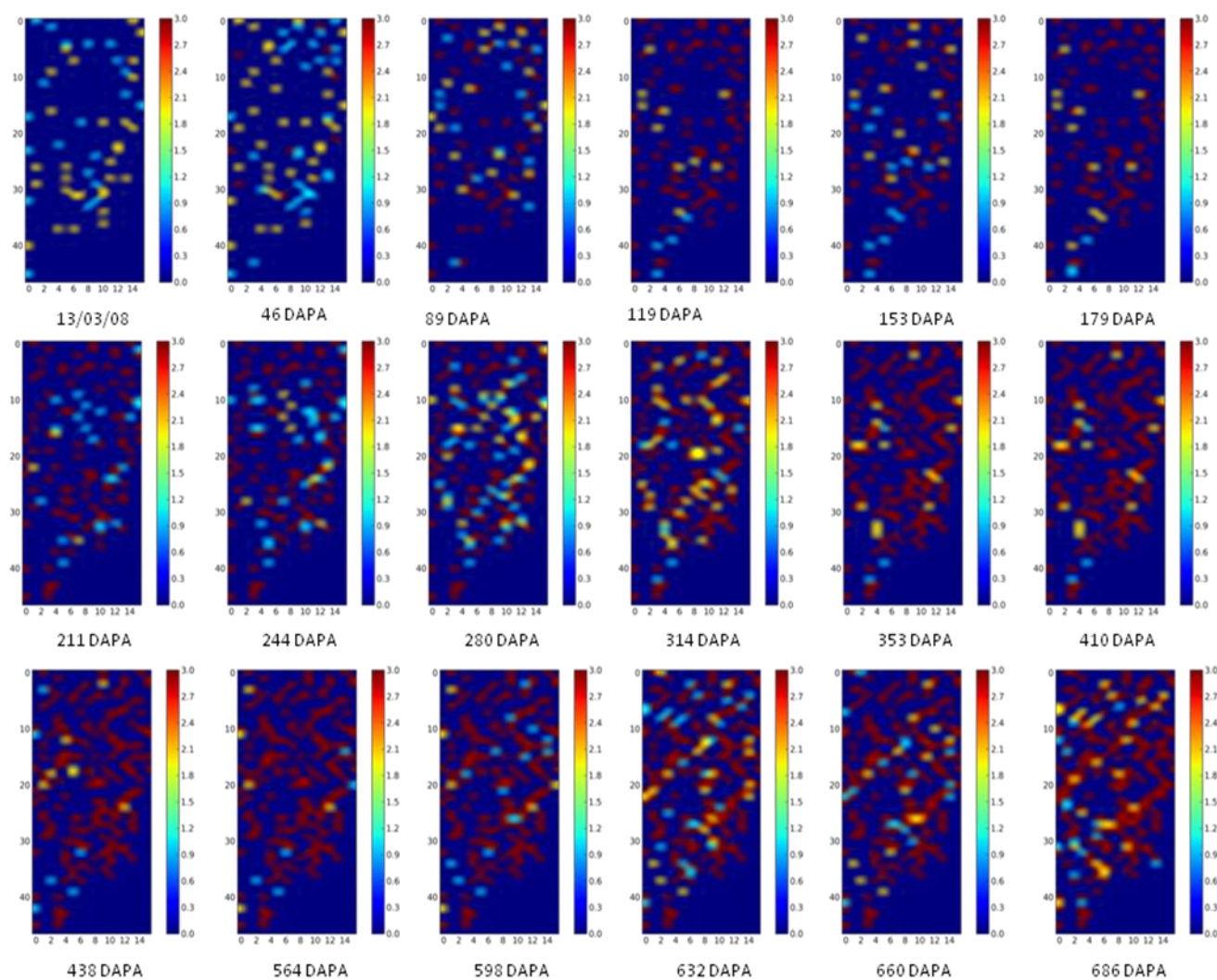


Figura 11– Mapas de áreas isopátas da área Conceição do Coité 2 de 18 avaliações representativas (0, 46,89,119,153, 179,211, 244, 280, 314, 353, 410, 438, 564, 598, 632, 660, 686 dias após a primeira avaliação - DAPA) da distribuição espacial da Podridão Vermelha do sisal. Cores iguais indicam regiões de incidência semelhantes.

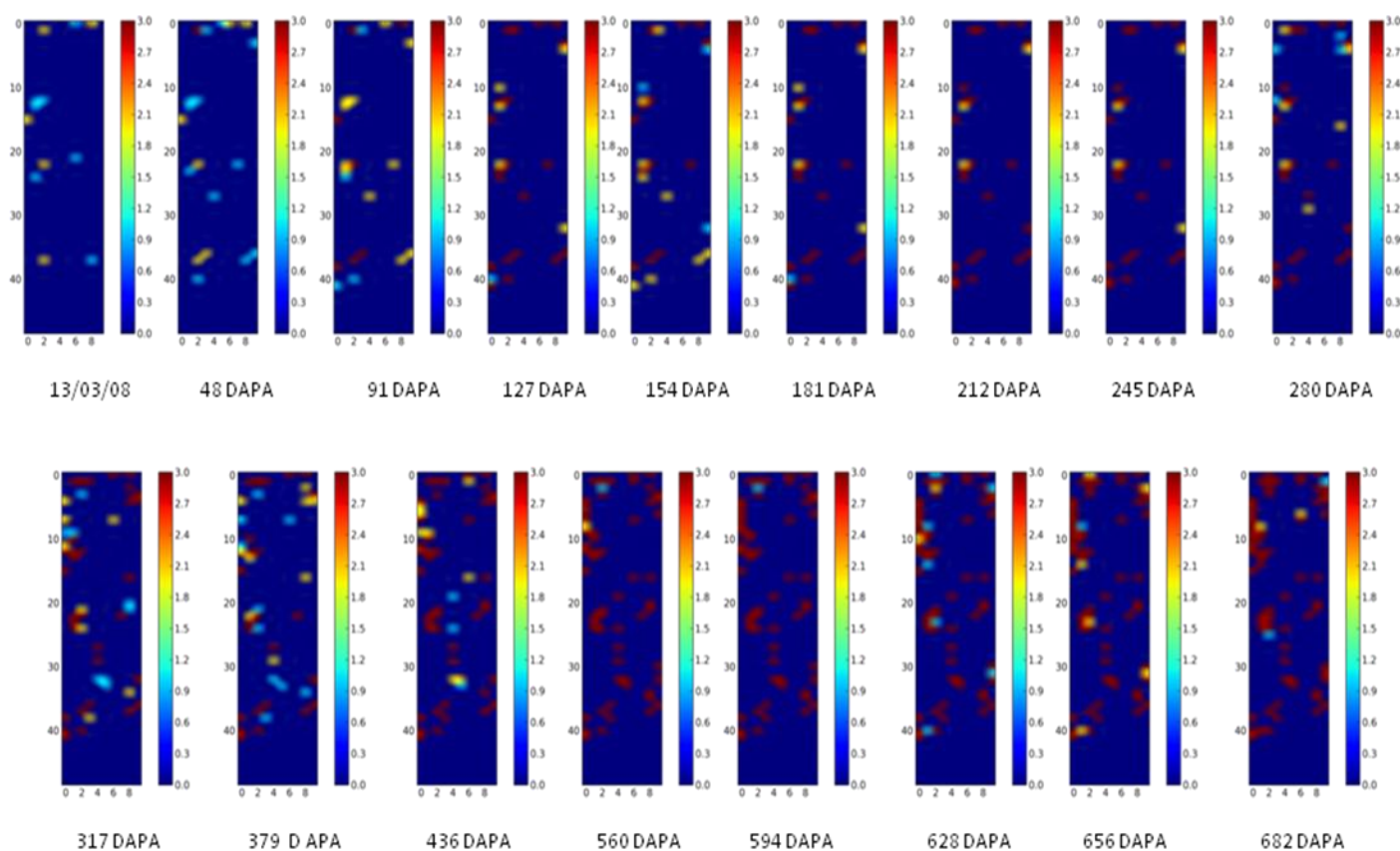


Figura 12 – Mapas de áreas isopátas da área Retiro 1 de 17 avaliações representativas (0, 48, 91, 127, 154, 181, 212, 245, 280, 317, 379, 436, 560, 594, 628, 656, 682 dias após a primeira avaliação - DAPA) da distribuição espacial da Podridão Vermelha do sisal. Cores iguais indicam regiões de incidências semelhantes.

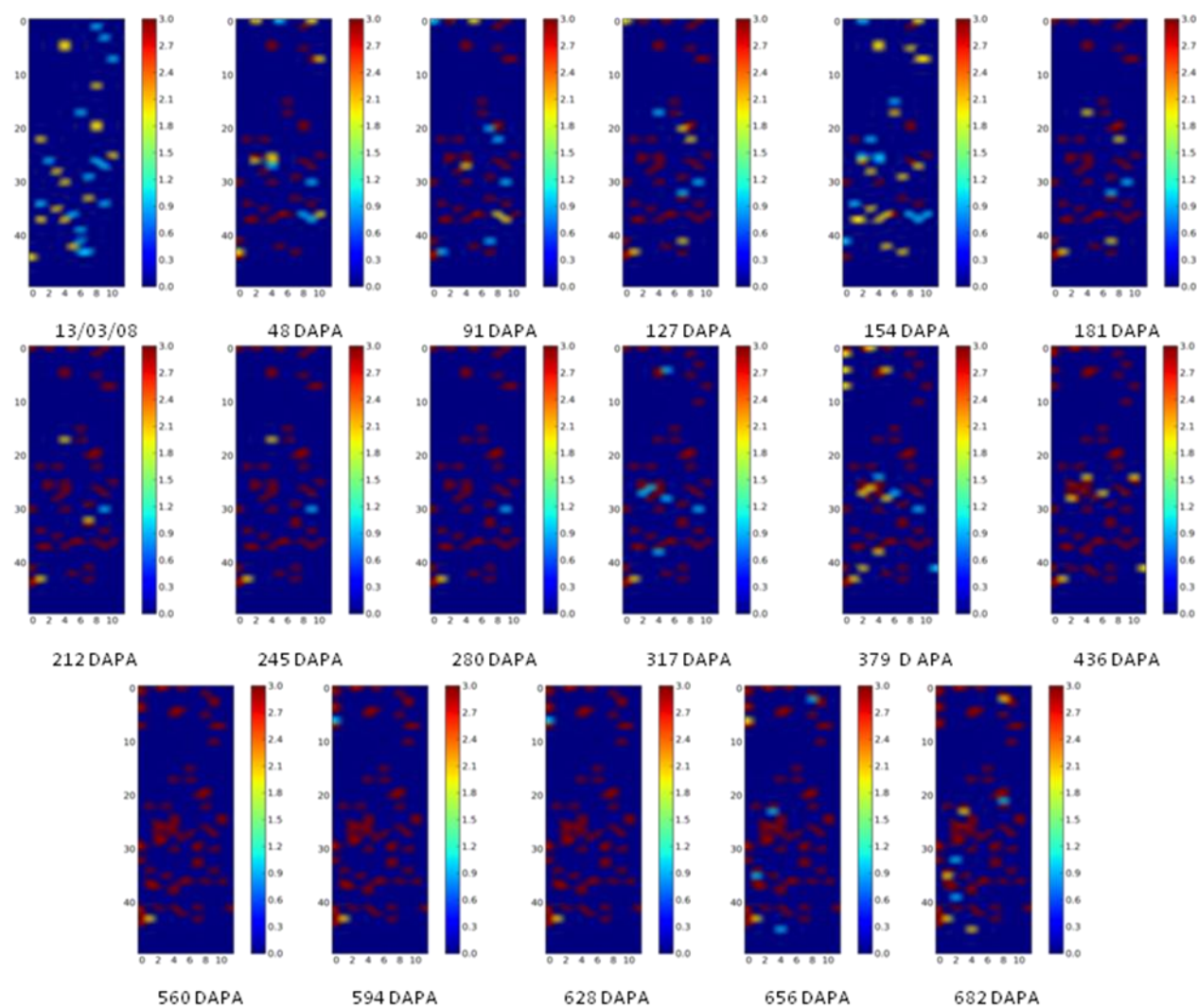


Figura 13– Mapas de áreas isopátas da área Retiro 2 de 17 avaliações representativas (0,48, 91, 127,154, 181, 212, 245, 280, 317, 379, 436, 560, 594, 628,656, 682 dias após a primeira avaliação - DAPA) da distribuição espacial da Podridão Vermelha do sisal. Cores iguais indicam regiões de incidência semelhantes.



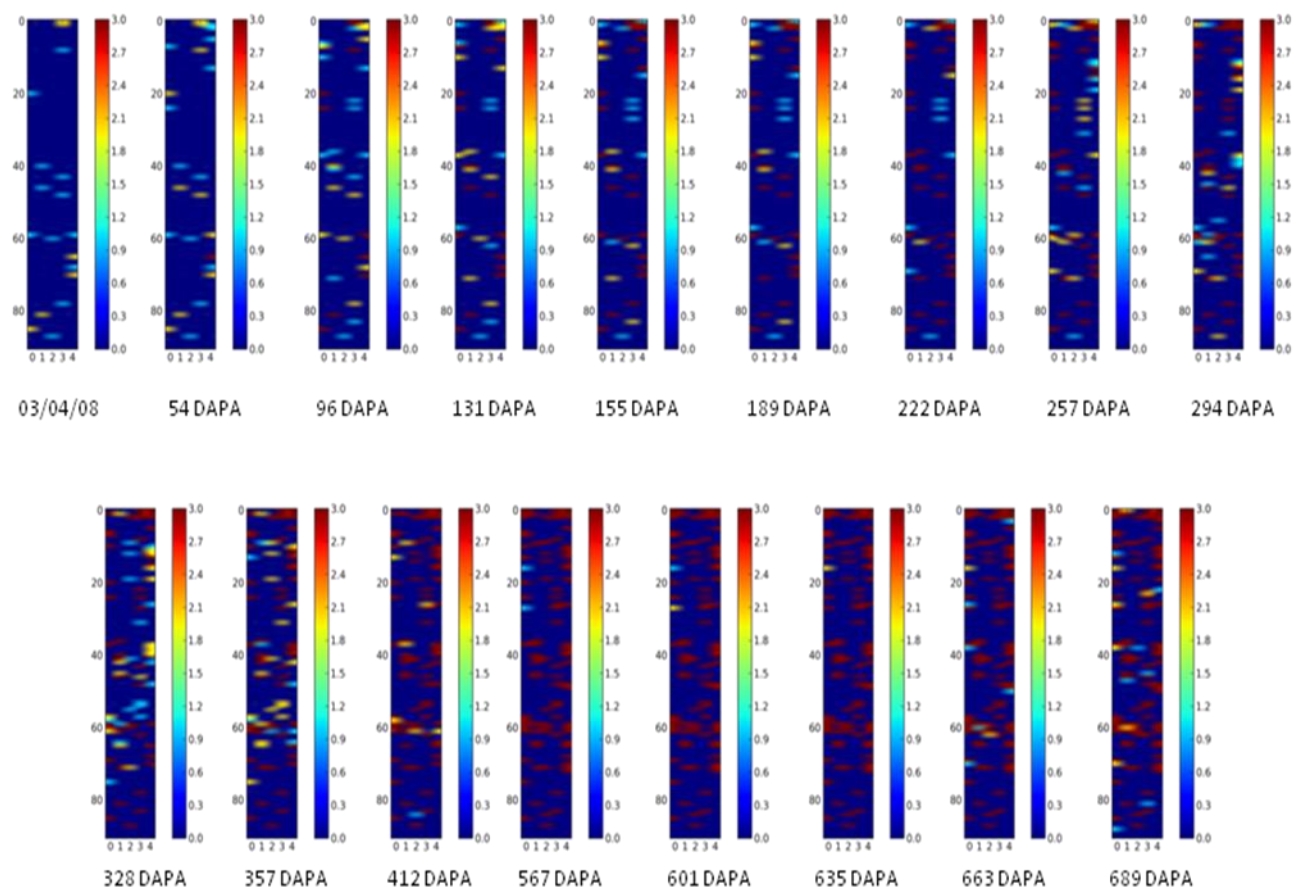


Figura 14 – Mapas de áreas isopátas da área São Domingos de 12 avaliações representativas (0, 54,96,131, 155, 189, 222, 257, 294, 328, 357, 412, 567, 601, 635, 663 e 689 dias após a primeira valiação DAPA) da distribuição espacial da Podridão Vermelha do sisal. Cores iguais indicam regiões de incidência semelhantes.

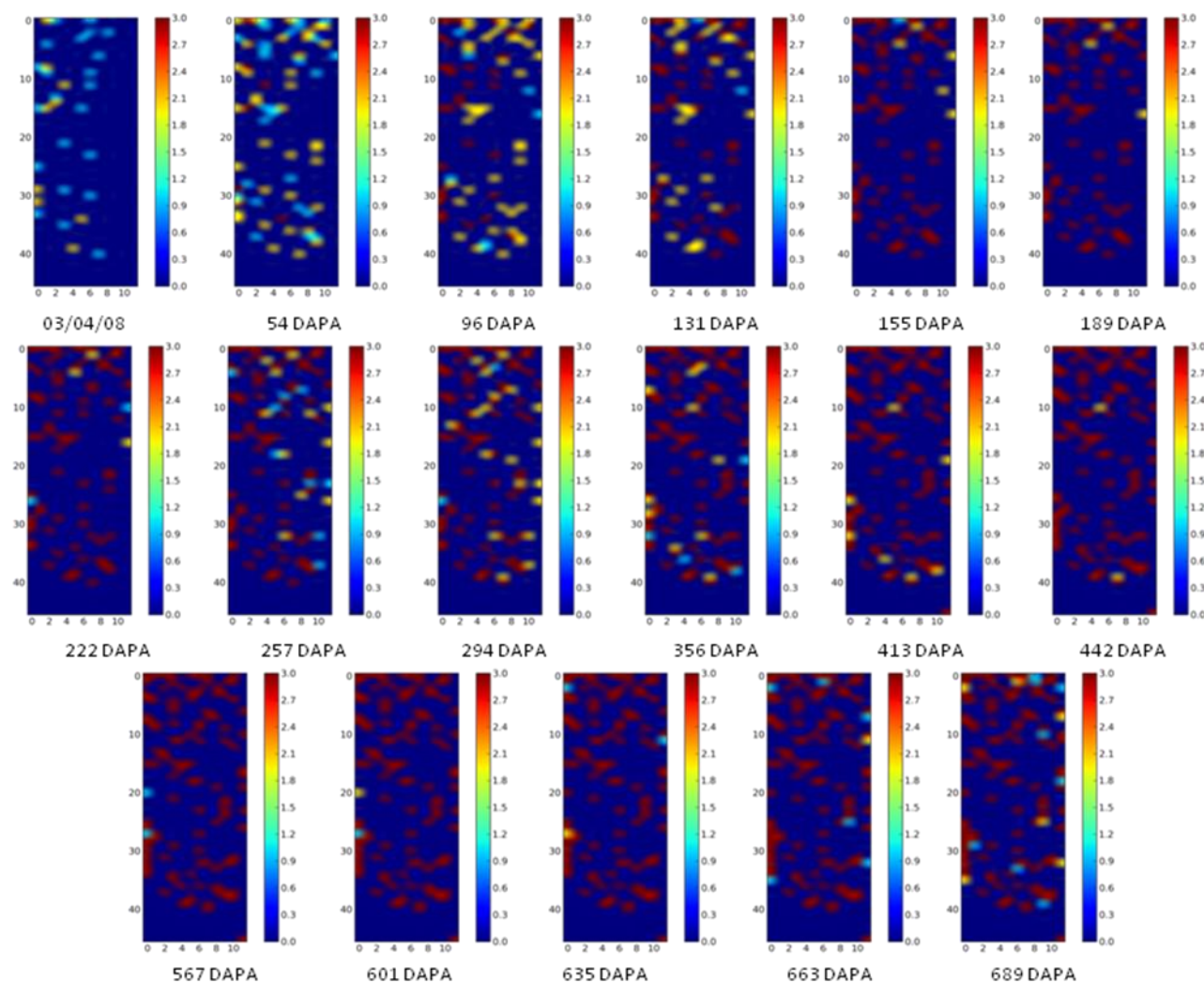


Figura 15 – Mapas de áreas isopátas da área Valente de 17 avaliações representativas (0, 54,96,131, 155, 189, 222, 257, 294, 356, 413, 442, 567, 601, 635, 663 e 689 dias após a primeira avaliação - DAPA) da relação entre plantas com sintomas da Podridão Vermelha do sisal. Cores iguais indicam regiões de incidência semelhantes.

## Discussão

Durante todo período avaliado, observou-se que a doença apresentou alternância de períodos de maior e menor progresso (aparecimento de novas plantas sintomáticas). Contudo, o simples fato da ocorrência de maior progresso da doença em certos períodos não permite que se afirme que estas épocas são as de maior infecção, uma vez que é uma doença em que os sintomas externos são reflexos e não se sabe ao certo qual é o período de incubação. Embora em todas as áreas tenha sido observado este padrão de alternância de maior e menor progresso da doença, não foi possível identificar um padrão comum a todas as áreas (Figuras 3 a a 3 i).

As áreas apresentavam certas peculiaridades que podem ajudar a entender o porquê em cada área o progresso da doença foi diferente. Mesmo sendo a maioria da produção de sisal proveniente de pequenas propriedades, as áreas são contíguas fazendo com que haja grandes extensões de terra com o cultivo do sisal propiciando a dispersão do fungo de uma área para outra.

Em Araci, além da presença de animais dentro da área de cultivo, esta não tinha espaçamento definido com plantas entouceiradas em certas regiões e em outras, espaços vazios, onde possivelmente as plantas tenham morrido em decorrência da doença. As plantas nesta área eram raquíticas aparentando deficiência nutricional (Figura 3a) estas características fizeram com que a área que embora tenha apresentado uma das menores incidências iniciais, ao final das avaliações já apresentasse 20,75 das plantas avaliadas sintomáticas e com um ISD igual a 0,21 o que demonstra que praticamente todas as plantas afetadas estavam no último grau da escala de severidade da doença (Tabela 1 e figuras 2 e 3a).

As áreas avaliadas no município de Barrocas estavam localizadas em uma região onde a maioria dos plantios de sisal apresentava baixas incidências da podridão vermelha do sisal. Sendo estas áreas Barrocas 1 e Barrocas 2 as que apresentaram menor proporção de plantas doentes durante todo período avaliado (Figuras 3 b e 3 c). Nestas áreas se verificou também o menor número de novas plantas sintomáticas durante as avaliações (Figuras 5 b e 5 c), embora a relação proporção de plantas doentes sobre dias de avaliação tenha se mantido acima de 1 sugerindo que o aparecimento de novas plantas sintomáticas foi mais

importante no progresso da doença que o aumento de severidade da doença nas duas áreas (Figuras 4 b e 4 c). Nas duas áreas foi observado também que tanto TAPD e AACPD apresentaram as menores médias de progresso da doença.

Em Conceição do Coité, foram avaliadas duas áreas com situações distintas: Conceição do Coité 1, era uma área com cinco anos de implantada, com plantas com folhas grandes e baixa incidência da doença ( Figura 3 d). Embora a área se apresentasse entouceirada na linha de plantio, o espaçamento entre linhas foi mantido. Foi observado ainda, que áreas de sisal próximas a ela, apresentavam estas mesmas características.

A área de Conceição do Coité 2, que no início das avaliações estava com apenas três anos de implantada e já apresentava 12,8% de plantas com sintomas da podridão vermelha, além de espaços vazios nas linhas de plantio, possivelmente em decorrência da doença, levou-nos a conclusão de que a área foi implantada com mudas infectadas pelo *Aspergillus niger*. Em volta da área sisalais velhos e abandonados serviam também de fonte de inóculo para área. Esta área apresentou sempre o maior progresso da doença (maiores índices de incidência, índice de severidade da doença e aparecimento de novas plantas sintomáticas) e ao final das avaliações 62% das plantas já se encontravam sintomáticas e o ISD era 0,58 (Tabela 1) indicando que grande parte das plantas já estavam mortas (Figura 3 e).

Na área de Retirolândia 1 o sistema de cultivo era de fileira dupla e o espaçamento entre linhas foi mantido durante todo período avaliado. Esta área foi a única em que se encontrou uma correlação significativa entre plantas imediatamente vizinhas ( Figura 9), o sistema de cultivo pode ter influenciado neste processo, no entanto maiores estudos serão necessários para se confirmar este resultado.

Em Retirolândia 2 , o solo era arenoso e a área onde estava implantada a cultura apresentava um declive acentuado. A maioria das plantas era pequena, com algumas regiões dentro da área com plantas maiores. Vários espaços vazios entre as plantas na linha indicavam a morte de plantas em função da podridão vermelha do sisal. Nesta área existiam muitas árvores e foi observado que as plantas de sisal que se encontravam na sombra, não apresentaram sintomas da podridão, no entanto esta observação não tem comprovação científica e devem

ser realizadas investigações antes de se preconizar o sombreamento como método de controle da doença.

São Domingos era uma área situada entre a estrada BA 126, por onde transita freqüentemente caminhões com fibra e mudas de sisal, e sisalais velhos. A área no início das avaliações estava com três anos de implantada e foi cultivada em fileira dupla. As plantas pareciam bem nutridas e cuidadas. Nesta área foram escolhidas para acompanhamento cinco linhas de plantas com aproximadamente 80 plantas em cada linha (40 plantas em um lado da linha e 40 plantas do outro lado), o que conferiu a área um formato de retângulo comprido. Estas características faziam com que se esperasse um pequeno índice de adoecimento de plantas, no entanto, possivelmente, em função do inoculo vindo de áreas externas, nesta área foi observado um progresso rápido da doença, que ocorreu em faixas sendo que na borda ao lado da estrada apresentou maior quantidade de plantas doentes (Figura 14).

A área de Valente, bastante degradada, com plantas pequenas aparentando deficiência nutricional, sem espaçamento definido e espaços vazios entre as plantas além da presença de animais dentro da área de plantio, levou a que o progresso da doença fosse muito rápido. O ISD que no início das observações era de 0,033, na última observação este índice foi de 0,32 (Tabela 1 e Figura 3 i).

De uma forma geral o que se observou foi que tanto o progresso como distribuição espacial da doença levam a crer que nem a incidência, nem a intensidade da doença estavam relacionadas com locais específicos dentro dos plantios, apresentando uma correlação positiva apenas com o progresso da doença na planta e com a incidência inicial da doença na área, o que foi confirmado tanto pela AACPD e TAPD cujas análises de regressões mostraram que 82 e 81% das diferenças encontradas no progresso da doença nas áreas, respectivamente, poderiam ser explicadas pela proporção de plantas sintomáticas na primeira avaliação (Figuras 6 e 7), o que sugere que o potencial de inóculo dentro da área de plantio é a fonte mais importante de infecção.

Apesar destes resultados, em apenas uma área foi possível se estabelecer uma correlação significativa entre plantas imediatamente vizinhas, nas demais os resultados indicaram uma distribuição aleatória da doença dentro da área. As relações espaciais significativas a mais longas distâncias observadas em todas as

áreas, poderiam indicar tanto transmissão em longas distâncias, quanto a simples ocorrência aleatória de plantas doentes, em áreas com inóculo uniformemente distribuído. No entanto, estes dados não são suficientes para confirmar nenhuma destas hipóteses e experimentos adicionais serão necessários.

Apesar da análise de 2DCORR ter indicado uma distribuição aleatória na maioria das áreas avaliadas os mapas de áreas isópatas revelaram que, embora a doença ocorresse de forma aleatória dentro das áreas, em quase todas as áreas, notadamente nas bordas, foram observadas regiões de maior incidência e severidade da doença, indicando uma possível influência do inóculo vindo de outras áreas (Figuras 11 a 15).

### **Conclusão**

A doença ocorre de forma aleatória dentro da área de plantio, e o progresso não ocorre de maneira contínua, mas alternando-se de períodos de progresso ou estabilidade da incidência.

### **Referências Bibliográficas**

ALVES, M. O.;SANTIAGO, E. G. **Tecnologias e relações sociais de produção no setor sisaleiro nordestino**, Documentos Técnico-Científicos Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza,v.37, nº 3, jul- set, 2006.

BARBOSA, F. F. L., **Epidemiologia da clorose variegada dos citros no Estado de São Paulo**, Piracicaba, 2002, 158p. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. São Paulo, Ceres. 1996, 299 p.

BERGAMIN FILHO, A. ; HAU, B.; AMORIM,L.;JESUS JUNIOR,W.C. Análise espacial de epidemias, Capítulo 5, p. 95- 236.In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR,

W.C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas, Belo Horizonte, Ed. Perfil, 2004, 531p.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley, 1990. 532p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Volume exportado e geração de divisas do sisal em 2008. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 de maio de 2010.

COUTINHO, W.M.; SUASSUNA, N.D.; LUZ, C.H.; SUINAGA, F.A.; SILVA, O.R.R.F. Bole rot of sisal caused by *Aspergillus niger* in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 605, 2006.

GOOS, R. D. ; COX, E. A.; STOTZLY, C. *Botryodiplodia theobromae* and its association with musa species. **Mycologia**, v. 53, p.262-277, 1961.

GOTTWALD, T.R. CAMBRA, M. MORENO, P.; CAMARASA, E.; PIQUER, J. Spatial and temporal analyses of citrus tristeza virus in eastern Spain. **Phytopathology**, v.86, n.1, p.45-55, 1996.

IBGE. **Produção agrícola municipal**. 2004. Disponível em: < [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br) > Acesso em: 06 jun 2006.

JESUS JUNIOR, W. C. de; POZZA, E.A.; VALE, F.X.R.; AGUILERA, G.M. **Análise temporal de epidemias**, capítulo 4, p. 127-188. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas, Belo Horizonte, Ed. Perfil, 2004, 531p.

HUGHES, G.; MADDEN, L.V. Agregation and incidence of disease. **Plant Pathology**, v.41, p.657-660, 1992.

LARANJEIRA, F.F. **Dinâmica espacial e temporal da clorose variegada dos citros**. Piracicaba, 1997. 144p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo

LARANJEIRA, F.F.; BERGAMIN, FILHO, A.; AMORIM, L.; BERGER, R.; GOTTWALD, T.R. Dinâmica espacial da clorose variegada dos citros em três

regiões do Estado de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.28, n.5, p.56-65, 2004.

LARANJEIRA,F.F.; BERGAMIN,FILHO,A.; AMORIM, L.; BERGER,R.; GOTTWALD,T.R. Dinâmica temporal da clorose variegada dos citros em três regiões do Estado de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.28, n.5, p.481-488, 2003.

LARANJEIRA,F.F.; BARBOSA,C.L.; SANTOS FILHO,H.P.; GONÇALVES,T.F.; NICKEL, O. Progress,spread and natural transmission of Bahia bark scaling of citrus in Brazil. **Annals of Applied Biology** v.148, p.187- 195, 2006.

LIMA, E.F. et al. Podridão vermelha do tronco do sisal (*Agave sisalana* Perr.) causada por *Botryodiplodia theobromae* Pat. **Rev. ol.fibros.**, Campina Grande, v.2, n.2, p.109-112, maio-ago. 1998.

LUCAS, P. **Diseases caused by soil-borne pathogens**, chapter 14, p 373-386. In: COOKE, B. K.; JONES, D. G.; KAYE,B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

McCARTNEY.H.A.; FITT,B.D.L. WEST, J.S. **Dispersal of foliar plant pathogens: mechanisms, gradients and spatial patterns**, chapter 6, p 159-186. In: COOKE, B. K.; JONES, D. G.; KAYE,B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

McKINNEY, H. H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.26, p.195-217, 1923.

MEDINA, J. C. **O Sisal**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Publicidade Agrícola, 1954. 286p.

MORAES, S.A.;GODOY,I.J. Amendoim (*Arachis hypogaea* L.) Controle de doenças. In: VALE ,F.X.R.;ZAMBOLIN,L. **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais, cap.1 p.1-43, 1997.



NELSON,S.C. A simple analysis of disease foci. **Phytopathology**,v.86,p.332-339,1996.

NELSON, S.C.; CAMPBELL, C.L. Disease progress, defoliation, and spatio pattern in a multiple-pathogen disease complex on white clover. *Phytopathology*, St. Paul, v. 83, p. 419-29, 1993.

NUNES, A. M. L.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; NUNES M. A. L.; DIAS, CARLOS T. S. Análise da curva de progresso temporal da vassoura-de-bruxa do cupuaçuzeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.27, n.4, jul/ago, 2002.

PIZZINATTO, M. A. SOAVE, J.; CIA, E Patogenicidade de *Botryodiplodia theobromae* Pat. A plantas de diferentes idades e maçãs de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. ). *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.8, n.2, p.223-228, 1983.

RIBEIRO,I.J.A. Doenças da mangueira. In:KIMATI,H. et al. **Manual de Fitopatologia**, v.2: Doenças das plantas cultivadas 3.ed. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, cap. 29 p.511-524,1997.

SANTOS, M.B.; SANTOS, C.Y.; ALMEIDA, M.A.; SANTOS, C.R.S.; SANT'ANNA, H.L.S.; SANTOS, O.S.N.; SILVA, F.; MARTINS, G.N. Efeito inibitório *in vitro* de extrato vegetal de *Allium sativum* sobre *Aspergillus niger* Tiegh Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.12, n.1, p.13-17, 2010.

SECRETÁRIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. Exportações Brasileiras, 2009. Disponível em: [www2.desenvolvimento.gov.br](http://www2.desenvolvimento.gov.br) Acesso em: 17 de julho de 2009.

SINDIFIBRAS O Projeto Sisal-Apex traz resultados positivos para as exportações baianas de sisal no primeiro trimestre do ano, que cresceram quase 40%. Disponível em: [www.braziliansisal.com](http://www.braziliansisal.com) Acesso em 08 jun 2006.

SOARES, A. C. F.; SALOMÃO, M. S.; ALMEIDA, N. de S.; PEREZ, J. O.; GARRIDO, M. da S. *Aspergillus niger* como agente causal de manchas foliares e podridão do pseudocaulo do sisal. In: **XXXIX Congresso Brasileiro de Fitopatologia**, 2006, Salvador, BA.

SPARKS, A.H.; ESKER, P.D.; ANTONY, G.; CAMPBELL, L.; FRANK, E.E.; HUEBEL, L.; ROUSE, M.N.; VAN ALLEN, B.; GARRETT, K.A. Ecology and Epidemiology in R: Spatial Analysis. 2008. *The Plant Health Instructor*. DOI:10.1094/PHI-A-2008-0129-03. [www.apsnet.org/education/.../topics/.../doc3/](http://www.apsnet.org/education/.../topics/.../doc3/) acesso em 26 de junho de 2010.

SOUZA FILHO, F.B.; SANTOS FILHO, H.P.; ROBBS, C.F. Etiologia da queima das folhas do coqueiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.4, n.1, p.5-10, 1979.

SUINAGA, F. A.; SILVA, O. R. R. F.; COUTINHO, W. M. **Cultivo de Sisal na Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro**, Sistemas de Produção 5, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, Campina Grande, PB, 2006, 42 p.

VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C. et al. **Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro**, Capítulo 3, p. 89- 123. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas, Belo Horizonte, Ed. Perfil,, 2004, 531p.

XU, X. Modelling and interpreting disease progress in time, chapter 8, p.21-238, In: COOKE, B.K.; JONES, D. G.; KAYE, B., The epidemiology of plant diseases, 2<sup>nd</sup> edition, Springer, Netherlands, 2006, 575 p.

## Considerações finais

O estudo epidemiológico de uma doença constitui-se em ferramenta fundamental para o entendimento da mesma. O conhecimento da prevalência, incidência e distribuição espacial da podridão vermelha do sisal na Bahia, vem preencher uma lacuna nas informações sobre a doença no Estado, possibilitando ao poder público embasar ações, que visem o seu controle.

O estudo revelou, de forma clara, a gravidade da doença, que atualmente, contribui de forma significativa com perdas na produção de sisal e redução das áreas plantadas. Os dados indicam uma prevalência de 100% em todos os municípios estudados e incidências médias que variam de 5% a 35% nas áreas avaliadas. Quando se considera que esta é uma doença que mata a planta e que resulta, portanto, em perdas de produção com valores iguais a incidência da mesma na área, e que a cultura do sisal é uma das poucas alternativas de produção agrícola, principalmente na agricultura familiar, e de geração de renda na região semi-árida da Bahia, estes dados justificam, por se só que sejam realizadas ações mais efetivas de controle da doença, sob pena de ocorrer no Brasil o que ocorreu em outros países, onde a doença se tornou epidêmica, a exemplo do México que de maior produtor mundial, passou a importador.

Os dados de distribuição espacial da doença demonstram que, embora de ocorrência generalizada na área de estudo, a distribuição espacial da doença na região estudada é agregada. Sendo que as maiores incidências da doença foram encontradas justamente na região onde estão localizados os municípios que possuem as maiores áreas plantadas com a cultura: Conceição do Coité, Valente, São Domingos, Araci e Retiroândia. Se considerarmos que nestes municípios o sisal é a base da economia local, isto torna premente a necessidade que medidas enérgicas sejam tomadas no sentido de se conter o avanço da epidemia na região.

O estudo da dinâmica espaço-temporal indica que, dentro da área de plantio de sisal, a doença ocorre de forma aleatória, reforçando a tese de que a melhor estratégia de controle é uma campanha fitossanitária, com ênfase na adoção de medidas de controle em todas as áreas de uma mesma região e a prevenção, evitando que o inóculo de um plantio mais antigo ou com maior incidência, venha a aumentar a doença em uma área de cultivo vizinha.

O presente estudo revelou ainda que o *Aspergillus niger* não penetra na planta de sisal pelas raízes, apenas em tecido caulinar. Como a *Agave sisalana* é uma planta estolonífera e estolões são constituídos de tecido caulinar, as mudas tipo rebentão, provenientes dos estolões, utilizadas pela grande maioria dos produtores, têm maior probabilidade de estar infectadas. Neste caso torna-se importante a utilização de mudas provenientes de bulbilho para implantação de novos campos de sisal.

Como este foi um trabalho pioneiro, os resultados obtidos com o mesmo deverão embasar pesquisas futuras no sentido de se estabelecer métodos de controle mais eficientes para a podridão vermelha do sisal.