

ANTONIO PEREIRA DRUMOND NETO

**DISTRIBUIÇÃO E CORRELAÇÃO ESPACIAL
DA INCIDÊNCIA DA FUSARIOSE EM
PIMENTA-DO-REINO COM ATRIBUTOS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo do campus Centro Universitário Norte do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical na área de fitossanidade.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Barreto da Silva

**SÃO MATEUS - ES
MAIO DE 2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Drumond Neto, Antonio Pereira, 1981-

D795d Distribuição espacial e correlação da incidência de fusariose em pimenta-do-reino com atributos do solo / Antonio Pereira Drumond Neto. – 2012.

70 f. : il.

Orientador: Marcelo Barreto da Silva.

Coorientadores: Ivoney Gontijo, Julião Soares de Souza Lima.

Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Fusarium. 2. Patógeno de solo. 3. Epidemiologia. 4. Espaço e tempo. 5. Agricultura de precisão. 6. Sistemas de informação geográfica. I. Silva, Marcelo Barreto da. II. Gontijo, Ivoney. III. Lima, Julião Soares de Souza. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. V. Título.

CDU: 63

ANTONIO PEREIRA DRUMOND NETO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E CORRELAÇÃO DA INCIDÊNCIA
DA FUSARIOSE EM PIMENTA-DO-REINO COM ATRIBUTOS DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo do campus Centro Universitário Norte do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical na área de fitossanidade.

Aprovado: 30 de maio de 2012.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Armando Bergamin Filho
Universidade de São Paulo
ESALQ/USP

Prof. Dr. Laércio Zambolim
Universidade Federal de Viçosa
UFV

Prof. Dr. Edney Leandro da Vitória
Universidade Federal do Espírito Santo
CEUNES/UFES

Prof. Dr. Ivoney Gontijo
Universidade Federal do Espírito Santo
CEUNES/UFES
(Coorientador)

Prof. Dr. Marcelo Barreto da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo
CEUNES/UFES
(Orientador)

A DEUS,

Para que abençoe meus frutos, e deles, o futuro possa ser alimentado e afortunado.

OFEREÇO.

Aos promitentes da família,

Luiz Gustavo Drumond; Gabriel David G. Drumond; Amanda G. Drumond; João D. Sena, Maria Helena D. Sena; Marcus Vinícius C. Sena; Vitor C. Sena; Júlia T. Sena; Isadora A. S. Drumond; e Maria Rita Drumond.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, por acreditar e apoiar nos momentos essenciais da minha vida.

Às famílias dos meus primos João Sena Filho (Dedo) e Jones Sena (Neném), pela irmandade, amizade e por estarem sempre de prontidão para ajudar.

À família e amigos de Paulo Pazi Alvarenga, pela confiança e guarida, o que possibilitou a minha formação acadêmica e profissional.

Às minhas amigas e irmãs Carmelita Oliveira e Fernanda Duque, pela amizade e incentivo nos momentos difíceis. À Mariana Ferraço, minha irmãzona, pelo convívio, ombro amigo e, principalmente pela confiança nos momentos de desespero.

Aos meus amigos Saulo Fernandes e Bruno Oliveira, pela parceria, convívio amizade e principalmente, por terem se tornado como irmãos para mim.

À Peinha Moreira, pela compreensão, paciência, motivação, companheirismo, carinho e amor nos momentos mais difíceis.

Em especial, aos amigos de republica Oziel Monção, Walas Sturião, Victor Mauricio, João Paulo, Amilton Pereira, Elias Werner, Paulo Henrique (PH), Felipe Gaspari, Rafael Ferraço e Paulo Junior. Obrigado pela amizade, convívio e os momentos de muita alegria e descontração.

Pela contribuição e amizade da equipe de pesquisa, estagiários e bolsistas: Diego Capucho, Francisco Castro, Deangelis Peten, Yasmin Figueiredo, Thais Herzog, Layane Oliare, Graziela Oliveira e Luciana Altoé.

Aos professores do CEUNES/UFES e PPGAT, pela oportunidade e competência em transmitir os conhecimentos para a minha formação acadêmica e profissional.

Ao secretário Hewertton do DCAB e a secretária Bernadeth do PPGAT, pela disposição e atenção.

Ao Prof. Marcelo Barreto da Silva, pela amizade, orientação, confiança, oportunidades e, principalmente, por ser um exemplo de ser humano e uma referência profissional a ser seguida. Obrigado “Pairreto”.

Aos coorientadores Prof. Dr. Ivoney Gontijo e Prof. Dr. Julião Soares S. Lima, pela atenção, disposição, ensinamentos e contribuições.

Ao Msc. Joseli Tatagiba da FITOCLIN de Linhares-ES. Aos Msc. Wellington Secundino, Jorginho, Biu e Claudia do INCAPER e Sindicato Rural de São Mateus-ES. Ao Marcelo Del Piero Ribeiro e funcionários do DEFAGRO de São Mateus-ES. Obrigado pelas contribuições, assistências e disponibilidade em compartilhar experiências profissionais.

Aos produtores rurais Remilton Bonomo, José Bonomo e Eliseu Bonomo, pela confiança, assistência, ensinamentos práticos e disponibilidade das áreas para a condução dos experimentos.

Ao Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal Do Centro de Ciências Agrarias (CCA/UFES) do campus de Alegre-ES. Em especial, ao Prof. Dr. Fabio Ramos e Prof. Dr. Waldir Cintra, pela atenção e ensinamentos.

Aos professores Dr. Felipe Vaz de Andrade e Dr. Edvaldo Fialho, pela disposição dos laboratórios: Laboratório de Química do Solo (CCA/UFES) e LARFASOL-(NEDTEC/UFES). Aos técnicos dos laboratórios LANAGRO-CEUNES, LARFASOL e CCA-UFES.

A CAPES, pela concessão da bolsa que possibilitou o financiamento dos estudos. Sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação e realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

BIOGRAFIA

Antônio Pereira Drumond Neto, filho de Catarina Sena Smith e Carlos Antônio Drumond, nasceu em oito de junho de 1981, natural do município de Governador Valadares Estado de Minas Gerais. Concluiu o 2º Grau na Escola Estadual Joaquim Pedro do Nascimento no mês de dezembro do ano 2000.

Ingressou no curso superior de agronomia no mês de fevereiro do ano 2004 na Universidade Vale do Rio Doce, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo no mês de dezembro do ano 2008.

Iniciou o *Stricto-Sensu* no mês de junho do ano de 2010, junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, na Universidade Federal do Espírito Santo, campus Centro Universitário Norte do Espírito Santo - CEUNES/UFES.

*Para sermos bons o ideal é conviver entre os
melhores, para sermos os melhores é essencial
o convívio de todos.*

Antônio P. Drumond Neto

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Pimenta-do-reino.....	15
2.2. Fusariose.....	16
2.3. Geoestatística.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Localização.....	25
3.2. Clima.....	26
3.3. Características e manejo da lavoura.....	27
3.4. Malha amostral e determinações das variáveis.....	28
3.5. Processamento dos de dados.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1. Análise do Padrão espacial da fusariose da.....	33
4.2. Análise exploratória dos atributos do solo.....	42
4.3. Análise espacial dos atributos do solo.....	46
4.4. Correlação da fusariose com os atributos do solo.....	50
5. CONCLUSÃO.....	57
6. REFERÊNCIAS.....	58

RESUMO

DRUMOND NETO, Antônio Pereira; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Maio de 2012; **Distribuição Espacial e Correlação da Incidência de Fusariose em Pimenta-do-Reino com Atributos do Solo**. Orientador: Dr. Marcelo Barreto da Silva; Coorientadores: Dr. Ivoney Gontijo e Dr. Julião Soares de Souza Lima.

A pimenta-do-reino é uma das especiarias mais importantes e consumidas no mundo. A fusariose é a principal doença que ataca a pipericultura no Brasil e é causada pelo fungo *Fusarium solani* f. sp. *piperis* (*Nectria haematococca* f. sp. *piperis*). O desenvolvimento das plantas assim como das doenças radiculares são influenciadas diretamente pelos componentes físicos, químicos e biológicos do ambiente do solo, que são interligados e formam associações complexas entre si. A nutrição da planta e um solo fértil com boas características físicas influenciam todas as partes do triângulo das doenças radiculares. Novas ferramentas capazes de pesquisar a variabilidade e a complexidade da interação entre ambiente do solo e patógeno são pouco estudadas, portanto, o objetivo do trabalho foi pesquisar e aplicar métodos da geoestatística para compreender a distribuição e a correlação espacial da intensidade de fusariose em pimenta-do-reino com os atributos do solo. O experimento foi conduzido no período de 2010 a 2011, na Região Norte do Estado do Espírito Santo. A geoestatística foi utilizada para estudar a dependência espacial e implantou-se uma malha amostral regular de 12.000 m². Para a intensidade da doença foi realizada sete avaliações, totalizando 303 dias, realizando na última avaliação as amostragens de solo para determinações química, física e textural. Para a correlação espacial entre intensidade da doença com os atributos do solo, utilizou-se o escalonamento dos variogramas. Os mapas da distribuição da doença ao longo do tempo mostram foco inicial nas bordas da lavoura, ao lado de uma lavoura mais velha de pimenta-do-reino. A doença correlaciona-se espacialmente com os atributos areia fina, relação Mg/K, magnésio, pH, acidez trocável e saturação por base.

Palavras-chaves: Fusarium. Patógeno de solo. Epidemiologia. Espaço e tempo. Agricultura de precisão. Sistemas de informação geográfica.

ABSTRACT

Spatial Distribution of the Incidence of *fusarium* wilt in Black Pepper and Associations with Soil Attributes.

The black pepper is one of the most important spices and consumed worldwide. The *fusarium* wilt is the major disease that attacks the pipericultura in Brazil and is caused by the fungus *Fusarium solani* f. sp. *piperis* (*Nectria haematococca* f. sp. *piperis*). Plant growth and root diseases are directly influenced by physical, chemical and biological soil environment, which are interconnected and form complex associations between them. The plant nutrition and a fertile soil with good physical characteristics influence all parts of the triangle of root diseases. New tools to investigate the variability and complexity of the interaction between the soil environment and pathogen are poorly studied, so the aim of this study was to research and implement methods of geostatistics to understand the distribution and spatial correlation of the intensity of *Fusarium* in black pepper crop with soil attributes. The experiment was conducted in the period from 2010 to 2011 in the North of Espírito Santo, Brazil. Geostatistics was used to study the spatial dependence and implanted a regular sampling grid of 12,000 m². For the intensity of the disease was performed seven assessments, totaling 303 days, making the last evaluation soil samples for determinations chemistry, physics and texture. For the spatial correlation between disease severity with soil attributes, we used the analysis of variograms. The maps of the distribution of the disease over time show an initial focus on the edges of the crop, alongside a crop of older black pepper kingdom. The disease correlates spatially with the attributes fine sand ratio Mg / K, magnesium, pH, exchangeable acidity and base saturation.

Keyword: *Fusarium*. Pathogen soil. Epidemiology. Space and time. Precision Agriculture. Geographic information systems.

1 INTRODUÇÃO

A pimenta-do-reino é uma das especiarias mais importantes e consumidas no mundo. O condimento era utilizado como moeda de troca na antiguidade e um dos principais motivos de expedições em busca da rentável comercialização do condimento. Atualmente a pimenta-do-reino continua em destaque no mercado mundial e utilizada em diversos processos industriais (fármaco, cosmético, alimentício).

No início da década de 80, Brasil se destacou na exportação mundial de pimenta-do-reino e atualmente oscila entre o terceiro e o quarto maior produtor mundial. O Estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor do país. A Região Norte do Estado detém 90% da produção sendo uma das principais *commodities* agrícolas de exportação capixaba (IBGE, 2011).

Vários fatores limitam a expansão da pipericultura, entre eles os problemas fitossanitários. A fusariose é a principal doença que ataca a cultura e é causada por um fungo, *Fusarium solani* f. sp. *piperis* Albuquerque. O patógeno é um habitante do solo, com alta capacidade de competição saprofítica (CCS), que sobrevive na ausência do hospedeiro em restos culturais e permanece no solo por um longo período de tempo na forma de clamidósporos.

As doenças radiculares são pouco explanadas por estudos e pesquisas quando comparadas às doenças foliares, por ser de difícil controle e pela impossibilidade de diagnosticar a infecção inicial nas raízes no ambiente subterrâneo. Técnicas isoladas de controle e manejo geralmente são ineficientes ou dispendiosas para reduzir o inóculo, pois quando a planta expressa os sintomas, a doença encontra-se em estágios avançados de injúrias, o que limita as opções de controle (WHEELER e RUSH, 2001).

Além da dinâmica e complexidade das interações entre hospedeiro - patógeno - ambiente, fatores bióticos e abióticos podem determinar a supressividade natural do solo, influenciando direta ou indiretamente o desenvolvimento do patógeno e da doença. O desenvolvimento das plantas assim como das doenças radiculares, é influenciado diretamente pelos componentes físicos, químicos e biológicos do ambiente do solo que são interligados e formam associações complexas entre si (REIS et al, 2005).

A variabilidade dos atributos químicos do solo pode ser natural dos depósitos geológicos, atuação do intemperismo edafoclimático ou modificações antropogênicas, onde a constituição física do solo influencia na variabilidade da composição química do solo.

Em geral, as doenças radiculares são resultantes de um solo com baixa fertilidade, baixos teores de matéria orgânica e erosão, provocado principalmente por manejo e práticas agrícolas inadequados, que geram perdas e danos à atividade agrícola. O conhecimento sobre a influência do ambiente do solo sobre raízes e patógenos ainda é de difícil compreensão. Apesar de alguns estudos, os resultados não elucidam o efeito desses fatores na ocorrência de doenças radiculares. A complexidade do ecossistema do solo atribuído à heterogeneidade e à variabilidade da matriz e solução do solo são de difícil quantificação e medição dentro de um intervalo de tempo. (WHEELER e RUSH, 2001).

Um componente primário na síndrome das doenças de plantas é o estado nutricional do hospedeiro. Embora um fato relegado, a nutrição influencia todas as partes do triângulo das doenças. Ainda que se conheçam vários ciclos de elementos minerais no solo, pouco se conhece da dinâmica de suas interações com o meio ambiente, planta e com os patógenos (HUBER e SCHNEIDER, 1982).

Novas ferramentas capazes de pesquisar a variabilidade e a complexidade da interação entre ambiente do solo e patógeno são pouco estudadas. Para efeito de diagnóstico e prevenção do estabelecimento do patógeno ou inibir a atividade patogênica, o objetivo do trabalho foi pesquisar e aplicar métodos de geoestatística para compreender a distribuição e a correlação espacial da intensidade de fusariose em pimenta-do-reino com os atributos do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Pimenta-do-reino

Originária das florestas do sul da Índia é uma planta tropical de espécie perene, arbustiva e trepadeira pertencente à família das piperáceas. Desenvolve aderida a tutores pelas raízes adventícias na região dos nós e produz frutos do tipo baga em inflorescências formada nos ramos plagiotrópicos (DUARTE, 2005). Conhecida comumente por pimenta-do-reino era almejada no mundo antigo e desempenhou um papel importante na história das navegações, influenciando as expedições europeias aos mercados do oriente (RODRIGUES, 2010).

As especiarias eram imprescindíveis no mundo antigo por serem utilizados como remédios, perfumes, temperos e, principalmente, conservantes de alimentos. A introdução da especiaria no Brasil está estreitamente relacionada à colonização portuguesa no século XVII. No entanto, o cultivo intensivo foi influenciado pelos imigrantes japoneses na década de 30 (NEPOMUCENO, 2005).

O Brasil se tornou autossuficiente na década de 50 e na década de 80 alcançou a posição de maior exportador da especiaria (HOMMA, 1998). Fato que o incluiu no IPC - *International Pepper Community*, organização intergovernamental de países produtores de pimenta. Formado por Brasil, Índia, Indonésia, Malásia, Sri Lanka e Vietnã. O IPC foi fundado em 1972, e coordena as políticas de produção, exportação, controle de qualidade e uso do condimento.

O Brasil é um dos principais produtores (média 44 mil ton/ano), oscilando entre o terceiro e o quarto maior produtor mundial. A Índia (180 mil ha) e a Indonésia (145 mil ha) possuem as maiores áreas plantadas no mundo, e o Vietnã é o maior produtor mundial (média de 99 mil ton/ano). No contexto rendimento por hectare, o Brasil e o Vietnã possuem o maior rendimento médio mundial que é de 2,2 ton/ha/ano (IPC, 2012).

No ano de 2010, a produção brasileira de pimenta-do-reino em grãos secos foi de 52 mil toneladas, o que rendeu 269 milhões de reais para o agronegócio do Brasil. A

grande parte dessa produção provém da Região Norte, o maior produtor nacional (78%), seguido da Região Sudeste (13%) e Nordeste (8%). O Estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor nacional da especiaria, e a atividade da pipericultura concentra-se no norte do Estado. No ano de 2010, a safra de pimenta-do-reino rendeu para o Estado capixaba uma receita de 35 milhões de reais, e estabeleceu um dos principais *commodities* agrícola de exportação do Estado. O rendimento da pimenta-do-reino no Estado é de 3,5 ton/ha/ano, o maior rendimento nacional e um dos maiores entre os produtores mundiais. A pipericultura tem se tornado vantajosa com um grande potencial de expansão (PIPPERTRADE, 2012; IPC, 2012; IBGE, 2011).

O município de São Mateus se destaca por ser o maior produtor capixaba, responsável por 75% da produção do Estado, com uma média de seis toneladas ano em uma área de 2.600 hectares. A atividade é de suma importância social e econômica para o Estado pelo alto rendimento em uma pequena área ocupada e a produção ser caracterizada como agricultura familiar. (SERRANO et al, 2008; PEDEAG,2007).

No entanto, a atividade da pipericultura nacional está ameaçada principalmente por problemas de fitossanidade, causando danos às lavouras e perdas na produção. Apesar da grande comercialização internacional e da importância socioeconômica regional para o Estado do Espírito Santo, a atividade é considerada de subsistência, relegada a cultura de baixo suporte fitossanitário, pesquisas, projetos e política em prol da defesa fitossanitária (SILVA et al, 2011).

A fusariose se tornou o principal problema fitossanitário da pipericultura brasileira. A doença foi relatada no final da década de 50 na Região Norte do Brasil. (HOMMA, 1998). No Estado do Espírito Santo foi detectado há cerca de 30 anos e ocorre em toda região produtora (VENTURA, et al, 1983). A doença apresenta sintomas em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, onde uma vez infectada não há retrocesso ou cura. Uma lavoura sadia possui um ciclo produtivo de 12 a 15 anos, mas o ciclo produtivo da lavoura reduz drasticamente para seis a oito anos de produção devido á severidade da doença, o que compromete a sustentabilidade da produção da atividade (ALBUQUERQUE e CONDURU, 1971; TRINDADE e POLTRONIERI, 1997).

2.2 Fusariose

2.2.1 Etiologia

O *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *piperis* Albuquerque é um fungo que habita naturalmente os solos, sobrevivendo como saprófito no hospedeiro e na matéria orgânica. Na forma anamórfica produz microconídios hialinos, unicelulares, elípticos ou alantoides; macroconídios falcados, hialinos com três a cinco septos e esporos de resistência (clamidósporos), que se formam nos conidióforos e podem se originar do espessamento de paredes das células das hifas ou de macroconídios desempenhando papel importante na sobrevivência (LESLIE e SUMMERELL, 2007).

A forma telemórfica *Nectria haematococca* Berk & Br. f. sp. *piperis* Albuquerque ocorre esporadicamente, produz peritécios irregularmente globosos (arredondados ou piriformes), avermelhados, isolados ou gregários com superfície rugosa e gelatinosa. Os ascos são inicialmente cilíndricos, tornando-se clavados, possuindo ápice arredondado com um poro. Os ascósporos são elipsoides, pardacentos e apresentam constrição à altura do septo transversal localizado próximo ao centro do esporo. (LESLIE e SUMMERELL, 2007).

A forma perfeita, apesar de ser relatada, ocorre esporadicamente, dependendo da umidade relativa alta para liberação dos ascósporos. Além disso, a epidemia na forma perfeita não foi completamente analisada, sendo a maioria dos estudos concentrada na fase anamórfica (HAMADA, 1988; IKEDA, 2010).

2.2.2 Sintomatologia

A infecção inicia no sistema radicular do hospedeiro. Nota-se a ausência de radículas e a podridão atinge o colo da planta destruindo parcialmente os feixes vasculares. Com um corte longitudinal no caule da planta, próximo ao solo, nota-se internamente, estrias enegrecidas, consequência da necrose dos vasos liberolenhosos cujos sintomas são refletidos nas folhas que perdem a turgescência,

amarelam e caem prematuramente. Na sequencia, os entrenós ficam amarelos e desprendem-se dos nós uns após outros, até que a folhagem senece (TRINDADE e POLTRONIERI, 1997).

A reprodução do fungo na forma perfeita pode ocasionar nos tecidos necrosados em épocas de alta umidade. Peritécios são formados e produzem os ascósporos que podem ser disseminados a longa distância provocando novas infecções em ramos. O sintoma inicia na região nodal de um ramo em crescimento e a medida que a colonização progride, os tecidos maduros são atingidos, de maneira que a doença pode alcançar o sistema radicular. As Folhas secas permanecem presas por vários dias, contrastando com folhas de tonalidade verde. (VENTURA e COSTA, 2004; DUARTE et al., 2005)

2.2.3 Controle

Por ser uma cultura de baixo suporte fitossanitário, não existe um controle químico eficiente e cultivares resistentes ao patógeno, portanto, a principal medida para evitar o inóculo inicial é a prevenção. As estacas devem ser coletadas de ramos herbáceos, o mais afastado possível da base da planta, de uma matriz e lavoura onde não ocorre a doença. Aquisições destas mudas devem ser oriundas de viveiros comprovadamente sadios credenciados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento – MAPA. Sempre que possível, evitar o reaproveitamento de tutores provenientes de lavouras infectadas, senão, desinfetá-los com solução de hipoclorito. (TREMACOLDI, 2009)

Para conviver com a doença e manter a lavoura produtiva, é necessário um conjunto de medidas, como: implantar a cultura em áreas distantes de lavouras infectadas; evitar injúria na planta; implantar a lavoura em áreas drenadas, evitar áreas compactadas; manejar matéria orgânica na área; manejar uma adubação química balanceada; evitar o trânsito excessivo de pessoas, animais e máquinas oriundas de áreas contaminadas; e vistoriar a lavoura periodicamente e erradicar as plantas com sintomas de doença para evitar a disseminação do patógeno. (DUARTE et al, 2005).

2.3 Geoestatística

A geoestatística é uma ferramenta que estuda a variabilidade espacial, fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, na qual os valores de uma variável estão de alguma maneira relacionados à sua disposição espacial. Segundo Landim (2003), em 1963 Matheron definiu a teoria das variáveis regionalizadas como uma função espacial numérica que varia de um local a outro no espaço com continuidade aparente. O comportamento de fenômenos naturais reconhecidos difere dos valores de uma determinada variável em dois locais dentro de um campo, que depende da distância entre elas (VIEIRA et al., 1981; VAUCLIN et al.)

Os valores dos atributos tomados a distâncias menores apresentam menores diferenças que tomados a maiores distâncias, por ocasião da forte interferência dos valores dos pontos vizinhos. Por isso, ao considerar a distância entre as observações, a geoestatística identifica a continuidade espacial dos atributos avaliados e delimita áreas homogêneas. (VIEIRA, 2000; 1983; GUIMARÃES, 2004).

A técnica da geoestatística difere da estatística clássica na forma de avaliar a variação dos dados. A estatística clássica supõe que não há relação entre a variação e a distância entre os pontos de amostragem, enquanto a geoestatística considera a existência de uma dependência da variação com relação ao espaço entre as amostragens. Isso possibilita interpretações dos dados na sua variabilidade natural que representa a continuidade do fenômeno através do variograma (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 2000).

O variograma analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem. A confecção dos variogramas experimentais é realizada a partir da soma dos quadrados da diferença entre os valores amostrados separados por uma distância h , divididos por duas vezes o número de pares, possíveis, de dados (SALVIANO, 1998).

A determinação do variograma é conhecida como o primeiro passo no procedimento de estimativa da geoestatística. O modelo escolhido será utilizado através de todo o processo de interpolação e influenciará todos os resultados e conclusões do estudo.

O variograma é definido pela equação:

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

Em que: $N(h)$ = número de pares de valores medidos $Z(x_i) - Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . (VIEIRA, 2000; LANDIM, 2003).

O comportamento de um variograma é analisado por alguns parâmetros como o efeito pepita (C_0), campo estrutural (C), patamar (C_0+C) e alcance (a).

O efeito pepita é quando a distância entre as unidades amostrais são bem pequenas e o alcance mede a distância limite da dependência espacial. Reflete o erro analítico e indica uma variabilidade não explicada de um ponto para o outro. Fato atribuído a erros de medidas e microvariação não detectada em função da distância de amostragem utilizada. (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 1997) (Figura 1).

Campo estrutural é a variância estrutural ou a diferença entre o efeito pepita e o patamar (C_0+C) (Figura 1). O valor de variância correspondente ao ponto em que o mesmo estabiliza e se o variograma for constante e igual ao patamar para qualquer valor de h . Não apresentando o valor de alcance, tem-se efeito pepita puro (EEP). Neste caso, ha ausência total de dependência espacial. Portanto, o patamar é o valor do variograma correspondente ao alcance. (ANDRIOTTI, 2003).

À distância em que $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamado de alcance (a), e representa a distância limite de dependência espacial. De acordo com Andreotti (2003), quanto maior for o seu valor, mais homogêneo será o fenômeno ou processo estudado. O alcance do variograma representa zona de influência de uma observação e separa o campo estruturado (amostras correlacionadas) do campo aleatório (amostras independentes) (Figura 1)

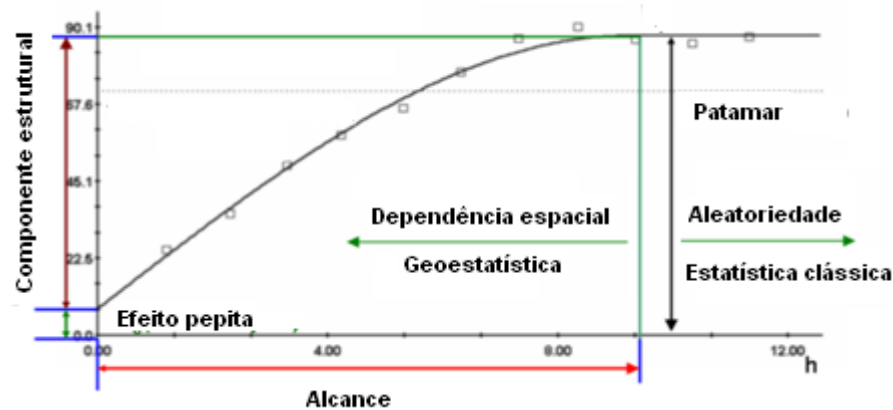


Figura 1 - Modelo de variograma teórico e seus componentes (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).

Os variogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e mostra o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, onde as variações nas diferentes direções do terreno indicam também continuidade da característica estudada no terreno (LANDIM, 1998). A equação $IDE = C_0 / (C_0 + C) \times 100$ (ZIMBACK, 2001), utiliza a relação do campo estrutural pelo patamar para mensurar a dependência de acordo com os intervalos:

- Efeito Pepita Puro ($IDE = 0 \%$): variável independente espacialmente se a relação entre a componente estrutural e patamar for igual a 0%.
- Fraca dependência espacial ($IDE \leq 25 \%$): componente estrutural for menor ou igual a 25% do patamar.
- Moderada dependência espacial ($25 \% < IDE < 75 \%$): componente estrutural entre 25% e 75% do patamar.
- Forte dependência espacial ($75 \% \leq IDE \leq 100 \%$): relação componente estrutural e patamar entre 75% e 100%.

Os modelos com patamar normalmente são ajustes que representam a estacionaridade de segunda ordem, onde a semivariância aumenta com o aumento da distância entre amostras, até atingir o patamar onde se estabiliza, definindo o efeito pepita (C_0), o patamar (C_0+C) e o alcance (a). Na geoestatística são basicamente quatro funções teóricas que se ajustam aos variogramas: (VIEIRA et al., 1983; MACHADO, 1994).

a) Modelo Linear: $\gamma(h) = C_0 + \frac{C}{a} h$

Nesse modelo, o patamar é determinado por inspeção. O efeito pepita é determinado pela interseção da reta no eixo $\gamma(h)$ e o alcance é o valor de h correspondente ao cruzamento da reta inicial com o patamar (Figura 2).

b) Modelo esférico: $\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]$

O modelo esférico é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita e do patamar, passando uma reta que intercepte o eixo y em C_0 e seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h=0$. O modelo esférico é aproximadamente linear até cerca de $1/3$ do alcance (Figura 2).

c) Modelo exponencial: $\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right) \right] \right]$

Uma diferença fundamental entre o modelo exponencial e o esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto que o modelo esférico o atinge no valor do alcance. O parâmetro alcance é determinado como a distância após a qual o variograma se estabiliza. (Figura 2).

d) Modelo gaussiano: $\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right] \right]$

Semelhante ao modelo exponencial, o modelo gaussiano atinge o patamar assintoticamente e o parâmetro alcance é definido como o alcance prático ou distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar, o que caracteriza nesse modelo um comportamento parabólico próximo à origem (Figura 2).

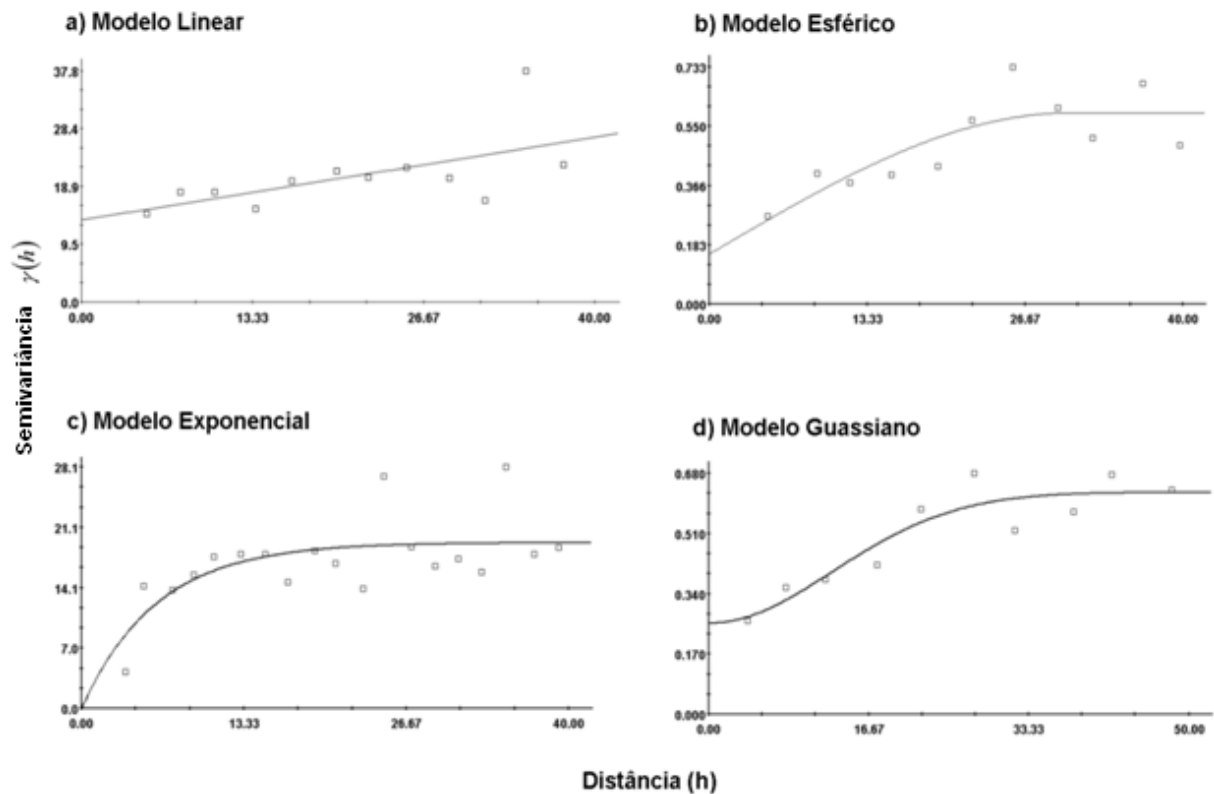


Figura 2 - Modelos teóricos de variogramas (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989)

2.3.1 Krigagem

A krigagem é o método de interpolação da geoestatística que, a partir do variograma da variável e havendo dependência espacial entre as amostras, pode-se fazer a interpolação de dados, que consiste da estimativa de valores em pontos não amostrados, o que permite a obtenção de mapas de isolinhas ou de superfície (ZIMBACK, 2003).

De acordo com Silva Júnior (2001), a krigagem ordinária é a variação mais utilizada da krigagem simples e tem o objetivo de minimizar a variância dos erros, em que as distâncias consideradas não são somente as distâncias entre o ponto a ser predito e os vizinhos, mas também as distâncias entre os vizinhos. (VIEIRA, 2000; LANDIM e STURARO, 2002). Descrita por Trangmar et. al, (1985), tem o valor estimado da variável pela equação :

(2)

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z(x_1)$$

Em que:

- $Z(x_0)$ = valor estimado para local não amostrado;
- $Z(x_1)$ = valor obtido por amostragem no campo; e
- λ_i = peso associado ao valor medido na posição x_i .

A obtenção dos mapas, dos diversos atributos relacionados à produção agrícola gerados por meio da krigagem permite ao produtor um planejamento e gerenciamento eficaz da área amostrada. É através da interpretação dessas informações que implementam a agricultura de precisão na lavoura.

2.3.2 Escalonamento de variogramas

Quando se escalona um variograma pela variância, o efeito pepita torna-se automaticamente uma fração do patamar (VIEIRA et al., 1998), facilitando as interpretações e comparações entre variogramas de diferentes propriedades. Assim verifica se contam com o mesmo padrão de variabilidade espacial, uma vez que assumem valores em uma escala padronizada. Quando se escalonam dois variogramas de variáveis diferentes eles podem passar a apresentar variabilidade espacial semelhante, ou seja, valores próximos de efeito pepita, alcance e patamar.

Quando isso ocorre, a razão mais provável é que os processos que regulam estas variáveis na área de estudo são semelhantes no espaço e assim espera-se que tenham comportamentos espaciais parecidos (VIEIRA, 1997). Como a escala de $\gamma(h)$ varia muito, utiliza-se o escalonamento dos variogramas individuais para a uniformização, representada pela equação:

(3)

$$\gamma^{esc}(h) = \frac{\gamma_1(h)}{\alpha_1}$$

Em que: α_1 = fator de escala, valor da variância (S^2) de cada variável. Após escalonar os variogramas, a soma dos parâmetros C_0 e C deve ser 1, já que o fator de escala utilizado são os valores das variâncias. Caso esse valor se exceda e se apresente como 1,1, significa que o patamar está excedendo a variância em 10%.

2.3.3 Geoestatística na fitopatologia

Vários autores relatam a utilização da geoestatística para compreender o padrão espaço-temporal de patógenos radiculares em diversas culturas e os resultados são condizentes sobre aspectos epidemiológicos do padrão agregado do inóculo e da doença.

Xiao et al. (1997), através de mapas de Krigagem, avaliaram a distribuição espacial de microescleródios de *Verticillium dahliae* no solo e em plantas de couve-flor, relacionando os padrões de microescleródios e incidência de murcha. Miller et al. (1997), na Universidade de Ohio, compararam a distribuição de *Phytophthora* spp. em campo na produção de soja, pimenta e feijão. Rekah et al. (1999), empregaram a mesma técnica para analisar a incidência de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* em raiz de plantas de tomateiro, e concluíram que o patógeno se desloca de uma planta infectada para outra em uma distância de 4,5 m durante o período das chuvas.

Jaime-Garcia et al. (2001), em lavoura com batata e tomate, demonstraram mapas por meio da krigagem a caracterização de padrão espacial agregado *Phytophthora* spp.. Franklin e Mills (2003), na Virginia-EUA, utilizaram geoestatística para avaliar a comunidade bacteriana em diferentes profundidades do solo em campo de trigo, e concluíram uma variação no número de microrganismos ao longo da profundidade do solo analisado.

Musolin et al. (2008) analisaram o espaço temporal de *Fusarium xylariodes* em *Coffea canephora* com a geoestatística e o resultado mostrou o alcance efetivo de 10 metros o que sugeriu um raio de erradicação para minimizar o inóculo inicial na área.

Zucoloto et al. (2009), no Estado do Espírito Santo, mapearam a probabilidade de ocorrência do mal-do-panamá em banana prata anã e possibilitou diagnosticar as áreas de maior incidência e antecipar medidas preventivas. Com a mesma cultura, Uchôa (2011) constatou com os mapas de krigagem um padrão agregado da distribuição da sigatoka-negra e relação com nutrientes no solo.

Almeida et al (2011) estudou em casa de vegetação a distribuição espacial de *Phytophthora nicotianae* da cultura da cebola e a geoestatística auxiliou no conhecimento da distribuição e do potencial de inóculo do fungo em canteiros.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

O experimento foi realizado no período de outubro/2010 a novembro/2011, próximo ao distrito de Nestor Gomes na Rodovia ES 381, no km 31 do município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo (Figura 3). As coordenadas geográficas estão situadas latitude 18° 42' S, longitude 39° 51' W com altitude média de 26 metros.

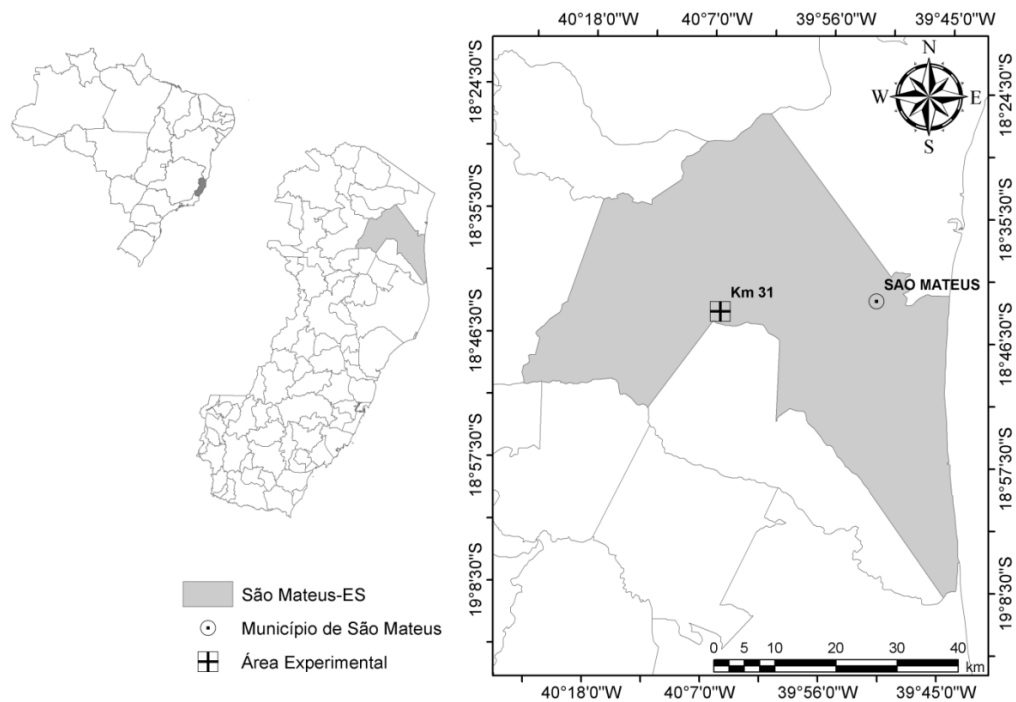


Figura 3 - Localização da lavoura experimental.

3.2 Clima

De acordo com a classificação de Köppen, o Norte do Espírito Santo é caracterizado por um clima Aw, tropical úmido, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso. Baseado em uma série histórica, as redes de observações de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), registram temperatura média anual de 24,8 °C, com média do mês mais frio de 19,8 °C, mês mais quente de 29,8°C e precipitação média acumulada de 1.280 mm (Figura 4).

O comportamento do clima no período da condução do experimento foi registrado na estação meteorológica pertencente à rede de observação de superfície do INMET, e os dados foram disponibilizados pelo INCAPER de São Mateus-ES. A estação está localizada nas coordenadas geográficas: Latitude: 18° 71' S; Longitude: 39° 85' W e Altitude de 39 metros.

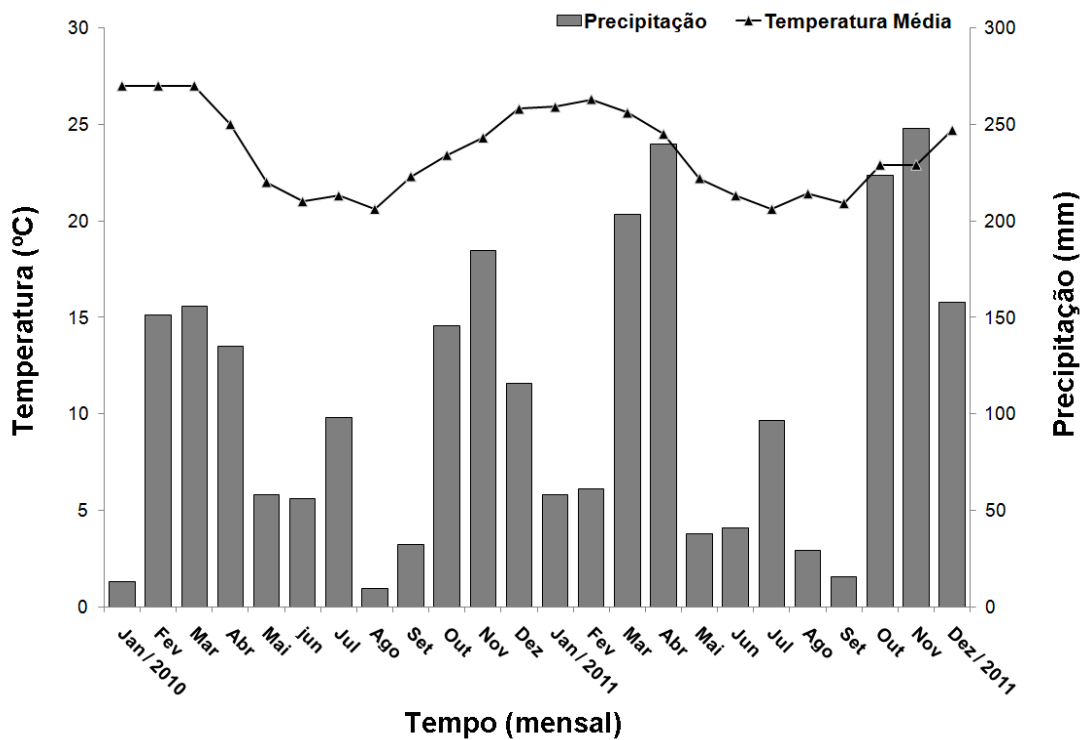


Figura 4 - Temperatura média e precipitação pluviométrica acumulada dos anos de 2010 e de 2011 na Região Norte do Espírito Santo. (Fonte: INCAPER e INMET).

Os períodos chuvosos compreenderam os meses de fevereiro a abril e outubro a dezembro. No inverno a estação seca acentuou nos meses de agosto e setembro. A temperatura atingiu maiores valores do período de janeiro a março enquanto que junho a agosto foi registrado as menores temperaturas (Figura 4.).

3.3 Características e manejo da lavoura

O estudo foi realizado em uma área de $1,2 \text{ ha}^{-1}$, com o cultivo da pimenta-do-reino, da variedade bragantina (suscetível ao fungo *Fusarium solani* f. sp. *piperis*), com três anos de implantação e irrigação localizada de vazão de 2,0 litros/h. O stand na lavoura era de 2080 plantas espaçadas entre linhas de 3 metros e entre plantas de 2 metros, com o relevo topográfico de declividade de 11% no sentido norte/sul.

O manejo da adubação no período de 2010 a 2011 foi realizado com aplicações de 4,2 e 16,7 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (K) e de ureia (N), respectivamente, através da fertirrigação a cada 15 dias. Os micronutrientes foram fornecidos nos meses de abril, setembro e dezembro com aplicações foliares de 1,0; 2,0 e 10 kg ha⁻¹ de ácido bórico, sulfato de zinco (Zn) e sulfato manganoso (Mn), respectivamente. A calagem foi realizada na linha das plantas no mês de junho, com aplicação de 1000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico e a aplicação do fósforo (P) ocorreu no mês de agosto, com aplicação de 0,8 kg ha⁻¹ na linha de plantio no solo.

Na estação chuvosa, a pimenta-do-reino inicia a florada, concentrado entre os meses de janeiro a março. A maturação dos frutos ocorre seis a oito meses após o início da florada. A colheita ocorre em três períodos: junho e julho primeira catação; agosto e setembro segunda catação e a terceira colheita em outubro e novembro oriunda da floração tardia. Devido à floração desuniforme, no Estado do Espírito Santo, o pico da colheita é entre outubro e novembro. O procedimento da colheita na lavoura experimental é manual, portanto neste período há um intenso trânsito de pessoas na lavoura. As drupas são colhidas diretamente dos ramos ou no chão, devido aos frutos maduros por completo caírem. Os equipamentos: escadas, balaies, cestos e sacos de aniagem são reutilizados, vindos de outras lavouras. (SERRANO et. al., 2008).

3.4 Determinações da malha para a amostragem das variáveis

Para estudar a variabilidade espacial da doença e dos atributos do solo, foram realizadas três malhas amostrais regulares, dependendo do atributo analisado. As malhas continham a dimensão de 100 m de comprimento com 140 m de largura para uma área de 1,2 ha⁻¹. Para analisar a intensidade da doença e os atributos químicos do solo, a malha foi composta por 125 pontos amostrais. Para análise física do solo foram compostos 112 pontos amostrais, e para análise de textura do solo foi composto uma malha de 75 pontos amostrais. (Figura 5).

O georreferenciamento de cada ponto amostral na área foi realizado utilizando um

par de receptores GPS TechGeo®, modelo GTR G2 geodésico. Os dados após serem processados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE, apresentaram precisão de 10,0 mm +1,0 ppm, em *Universal Transverso de Mercator* (UTM) com *Datum* WGS-84. A área experimental é alocada entre as seguintes coordenadas geográficas: L = 407157m a L = 407315 m e N = 7905858 m a N = 7906016 m.

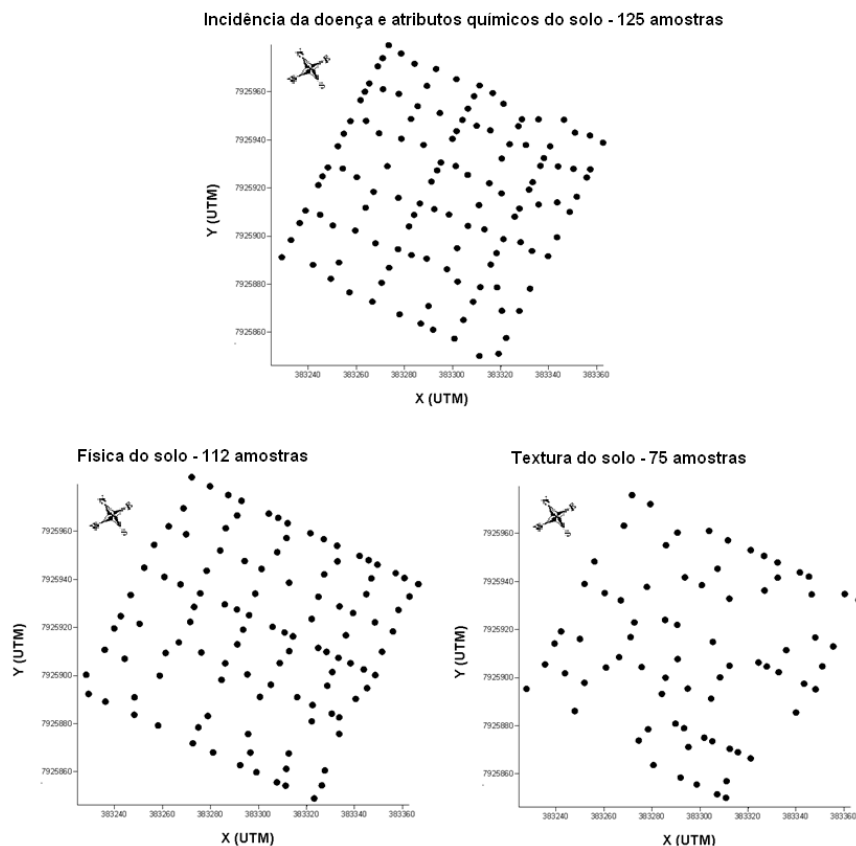


Figura 5 - Malha amostral para monitorar a intensidade da fusariose em pimenta-do-reino e amostragem dos atributos do solo. Cada ponto é representado por uma planta.

3.4.1 Determinação da Intensidade da doença e dos atributos químicos do solo

Uma grade amostral de 100 m x 120 m (12.000 m²), contendo 125 pontos amostrais (plantas saudas) com a distância mínima entre pontos de 5 m, foi implantado na área para estudar a variabilidade da intensidade da doença e dos atributos químicos do solo. A intensidade da fusariose (*Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *piperis* Albuquerque) foi quantificada pelo parâmetro da incidência (presença ou ausência de sintomas da

doença na planta). Os períodos das avaliações de intensidade da doença foram realizados ao longo de seis monitoramentos, totalizando 150 dias.

Para confirmar o diagnóstico, realizou-se o corte superficial, longitudinal no colo da planta próximo ao solo. Com esse método é possível visualizar e identificar estrias enegrecidas, consequência da necrose dos feixes vasculares (Figura 6). A planta com a presença dos sintomas da doença, atribuiu-se o valor 1 (um) e plantas ausentes do sintomas valor 0 (zero). A porcentagem da incidência foi obtida com a contagem de plantas com sintomas da fusariose dividido pelo número total de plantas na área (MORAES, 2007).



Figura 6 - Feixes vasculares necrosados. Método do corte longitudinal na base do caule da planta para diagnóstico da fusariose na pimenta-do-reino.

Nas mesmas plantas, na última avaliação da intensidade da doença (março 2001), com o auxílio de um trado tipo sonda, foram coletadas 125 amostras simples de 0-20 cm para a caracterização química do solo. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental (Laboratório FULLIN) no município de Linhares-ES (Tabela 2). Os métodos analíticos para determinar os teores dos nutrientes foram adotados conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997) e Programa Inter laboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo do Estado de Minas Gerais - PROFERT-MG (1997).

3.4.2 Determinação do atributo físico do solo

Uma grade amostral de 100 m x 120 m (12.000 m²), contendo 112 pontos amostrais com a distância mínima entre pontos de 5 metros, foi implantado na área experimental para estudar a variabilidade da física do solo. Na última avaliação da intensidade da doença (março 2011) e nas mesmas plantas avaliadas pela intensidade da doença, foram coletados amostras de solo indeformadas na profundidade equivalente á altura do cilindro de alumínio, nas proximidades da planta (30 cm da base da planta), com o auxílio de um trado tipo Uhland e cilindros de alumínio com volume de 270 cm³ (7,5 cm de diâmetro externo; 7,0 cm de diâmetro interno e 7,0 cm de altura).

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de fertilizantes, águas, minérios, resíduos, solos e plantas (LAFARSOL) do Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC/UFES) campus no município de Jerônimo Monteiro - ES. Os teores de macroporo (Ma), microporo (Mi), volume total de poros (PT) e densidade aparente do solo (Ds) foram determinados em câmara de pressão de Richards com placa porosa pela metodologia da EMBRAPA (1997) (Tabela 2).

3.4.3 Determinação do atributo textura do solo

Uma grade amostral de 100 m x 120 m (12.000 m²), contendo 75 pontos amostrais com a distância mínima entre pontos de 5 metros, foi implantado na área experimental para estudar a variabilidade granulométrica do solo. Na última avaliação da intensidade da doença (março 2011) e nas plantas avaliadas pela intensidade da doença, foram coletados com o auxílio de um trado tipo sonda, 75 amostras simples de 0-20 cm para a caracterização da textura do solo.

A análise textural foi realizada no Laboratório de Química do Solo no Centro de Ciências Agrárias (CCA/UFES), campus no município de Alegre - ES. Foram determinados os teores de argila (Ar); silte (Si); areia grossa (AG) e areia fina (AF) utilizando o método da pipeta (EMBRAPA, 1999).

3.5 Processamentos dos dados

Os cálculos para verificar a existência de dependência espacial das variáveis foram realizados utilizando o *Gamma Design Software 7.0 GS+* (GDS, 2004) (ROBERTSON, 2000). Às variáveis com dependência espacial detectadas, restringiu-se a análise estatística exploratória descritiva e *outliers*, realizado no *software Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa)*. A confecção gráfica visual dos mapas foi gerada no *software Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002)*. Os gráficos e os variogramas escalonados entre a intensidade da doença e os atributos do solo foram calculados utilizando-se o *software Excel (MICROSOFT CORPORATION, 2011)*.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Análise do padrão espacial da doença

Um levantamento da intensidade da doença na lavoura constatou 14 % de incidência de fusariose, o que confirmou a presença do patógeno na área experimental (Figura 7). A primeira avaliação (0 dias) na malha amostral, não houve diagnóstico de plantas sintomáticas. Aos 30 dias no início do período da colheita, a incidência apresenta 7% de plantas sintomáticas. Após a colheita, aos 90 dias, a incidência da doença demonstra um crescimento linear. Analisando o comportamento da doença nos primeiros 150 dias (outubro/10 a março/11), observou um aumento da incidência da doença de 328%, e no período de março/11 a agosto/11 (150 dias) o aumento da incidência da doença foi de apenas 30% (Tabela 1).

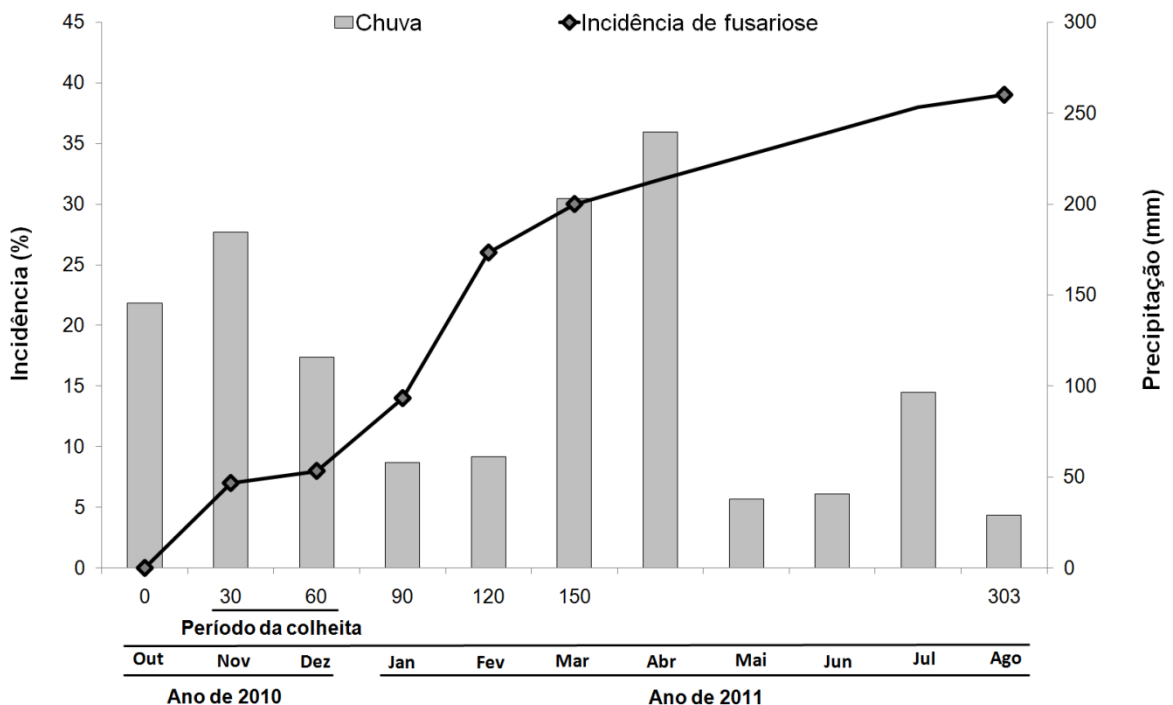


Figura 7 - Curva de progresso da incidência da fusariose e chuva ao longo de 303 dias.

Não houve diagnóstico de plantas sintomáticas na primeira avaliação (0 dias) pois a malha amostral foi composta inicialmente por plantas ausentes de sintomas da doença (plantas saudáveis), o que impossibilitou o cálculo da geoestatística neste período, devido a ausência de variabilidade entre as amostras (Tabela 1).

No período da colheita (30 e 60 dias), a incidência apresentou 8% de plantas sintomáticas, ajustando-se ao modelo gaussiano com R^2 de 0,99, validação cruzada acima de 50% (Tabela 1). Após a colheita, aos 90 dias, houve um crescimento da incidência em 100% o que alterou o ajuste do modelo para exponencial com R^2 de 0,99 e validação cruzada de 47% (Tabela 1). Aos 120, 150 e 300 dias a doença aumentou gradativamente 29, 31 e 39% respectivamente, onde se ajustou o modelo esférico com R^2 de 0,90, 0,94 e 0,97 e validação cruzada de 0,74, 0,77 e 74% respectivamente (Tabela 1).

O melhor modelo ajustado de acordo com o parâmetro da validação cruzada ($CR > 70\%$) foi o esférico, para as avaliações de 120, 150 e 300 dias (Tabela 1). De acordo com Azevedo (2004), os parâmetros ideais para selecionar o melhor ajuste do modelo teórico é a menor soma de quadrados dos resíduos (R_{SS}), seguido do coeficiente de determinação (R^2) mais próximo a um (1). Para confirmar a confiabilidade dos parâmetros ajustados recomenda-se que o coeficiente de regressão da validação cruzada seja superior a 50 %, satisfazendo os critérios básicos para aceitação dos ajustes.

Pesquisadores relatam que variogramas ajustados com modelo esférico descrevem melhor os comportamentos dos atributos de plantas e solos, por apresentar a definição clara do patamar e do alcance (TRANGMAR et al., 1987; PAZ et al., 1996; SALVIANO, 1998; LAMPARELLI et al., 2001).

Estudos de patógenos radiculares com variogramas ajustados com o modelo esférico são descritos para alguns microrganismos, como: *Pythium ultimum* var. *sporangiferum* Dandurand et al, (1995); *Phytophthora capsici* Larkin, (1995); *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* Rekah et al, (1999); e *Sclerotinia sclerotiorum* Carvalho, (2008).

Tabela 1 - Parâmetros de ajuste de modelo e validação dos variogramas das avaliações de incidência da fusariose em uma lavoura de pimenta-do-reino.

Parâmetros	Período de avaliação						
	Mês / Ano						
	Out/10	Nov/10	Dez/10	Jan/11	Fev/11	Mar/11	Ago/11
	Dias						
	0	30	60	90	120	150	303
ID%	0	7	8	14	26	30	39
Modelo	-	Gau	Gau	Exp	Esf	Esf	Esf
R _{SS}	-	7.46 ^{e-06}	7.75 ^{e-06}	1.16 ^{e-06}	7.78 ^{e-04}	1.47 ^{e-03}	2.60 ^{e-04}
R ²	-	0.99	0.99	0.99	0.90	0.94	0.97
CR-VC	-	0.51	0.50	0.47	0.74	0.77	0.74
C ₀	-	0.0001	0.0001	0.011	0.0143	0.139	0.123
C ₀ +C	-	0.064	0.069	0.012	0.224	0.249	0.247
A (m)	-	11	11	16	80	91	41
IDE %	-	99	99	91	36	44	51

ID - Incidência de fusariose; Gau. Gaussiano; Exp. – Exponencial; Esf. – Esférico; R_{SS} - Soma dos quadrados do resíduo; R² - Coeficiente de determinação; CR-VC - Coeficiente de regressão da Validação cruzada; C₀ – Efeito pepita; C₀+ C – Patamar; A – alcance; e IDE – Índice de dependência espacial.

Nos primeiros 60 dias (período da colheita), a doença apresentou um padrão de distribuição agregado (IDE 99%) e um raio de dispersão de 11 metros (alcance) (Figura 8). Para o patossistema em estudo, o modelo gaussiano representou o início da epidemia. Com um resultado semelhante, Leal et al., (2010), utilizaram a geoestatística para avaliar a distribuição espacial e a expansão da *Huanglongbing* (greening) em talhões de citros no Estado de São Paulo, Brasil. Nos talhões avaliados, a incidência da doença variou 2 a 4% e todas as avaliações ajustaram, neste início de epidemia, ao modelo gaussiano.

Aos 90 dias (após a colheita), o comportamento da doença ajustou-se ao modelo exponencial e neste período a doença apresentou um padrão de distribuição agregado (IDE 91%) com um raio de dispersão de 16 metros (alcance), o que evidenciou o início da expansão da doença (figura 8). Resultados de STEIN et al., (1994), analisaram o padrão da dinâmica espacial de epidemias de míldio em repolho no Arizona, EUA. Os autores observaram que os variogramas ajustados com o modelo exponencial foram os períodos onde ocorreu a expansão da doença.

Aos 120 e 150 dias a doença cresceu gradativamente, no entanto o padrão de distribuição da doença apresentou moderada agregação ($25\% > IDE < 75\%$) com um raio de dispersão de 80 e 91 metros respectivamente (Figura 8). A doença, provavelmente definiu a formação de um foco e a infecção primária deu lugar a secundária, o que caracteriza a infecção de planta a planta, resultado da formação dos focos. Aos 303 dias o padrão de distribuição da doença apresentou moderada agregação (IDE 51%) e neste período, o raio de distribuição da doença diminuiu para 41 metros (Figura 8).

O alcance é o raio da dependência espacial entre as amostras, onde se identifica o campo estruturado do campo aleatório. Teoricamente, estima o raio da capacidade de dispersão da doença. O índice de dependência espacial (IDE) representa o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, indicando a continuidade da característica do fenômeno e o padrão de distribuição da variável. (LANDIM, 1998, VAN DE LANDE e ZADOKS, 1999; ANDRIOTTI, 2003).

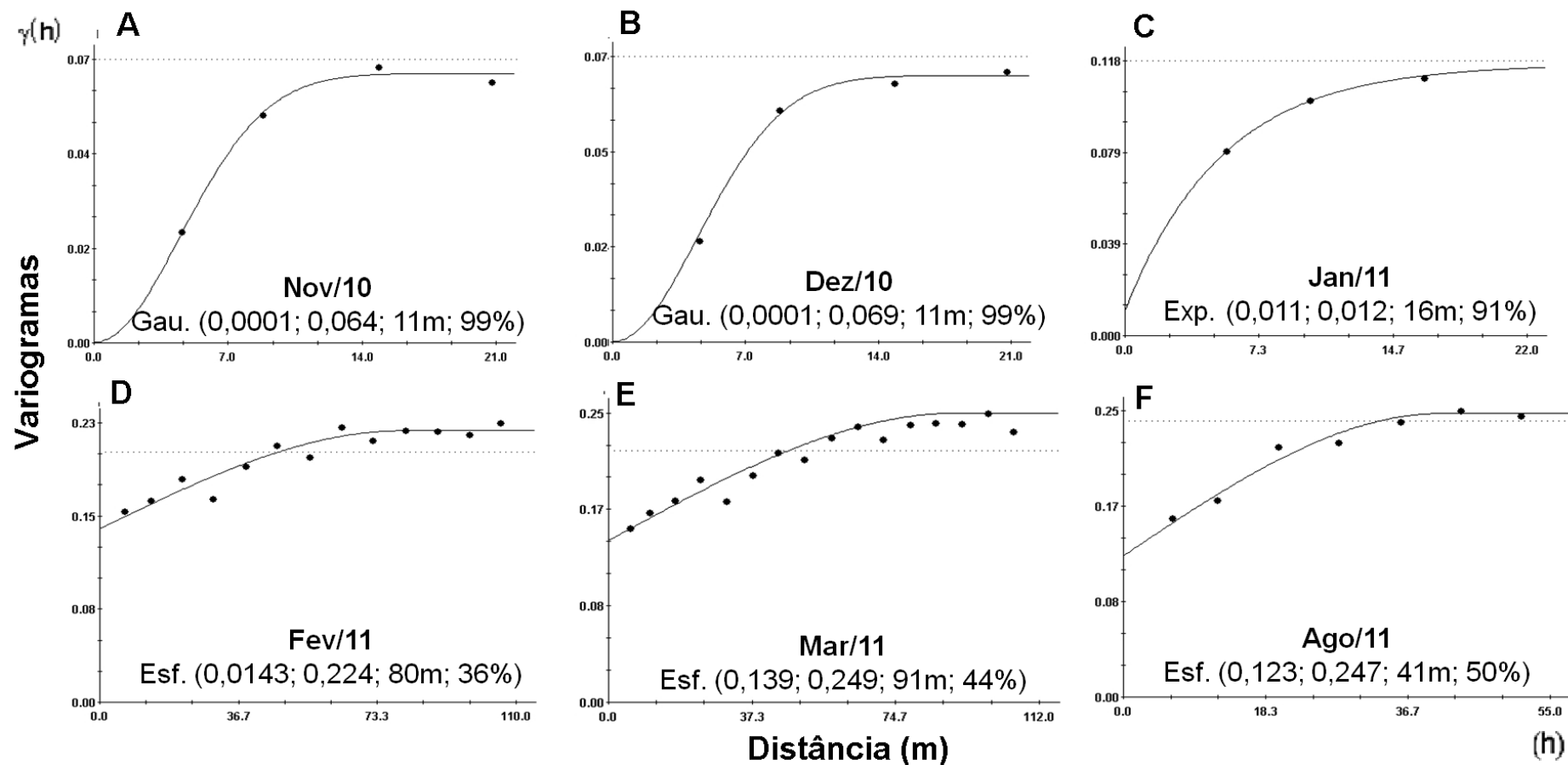


Figura 8 - Parâmetros dos variogramas das avaliações da incidência de fusariose em uma lavoura de pimenta-do-reino, Modelo (efeito pepita; patamar; alcance; índice de dependência espacial).

O aumento do alcance nos primeiros 150 dias (outubro/10 a março/11), sugere-se que houve algum fator que favoreceu o aumento da capacidade de dispersão da doença neste período, fator que não deve ter acontecido no período seguinte de abril/11 a agosto/11. Nos primeiros 150 dias, foi registrada uma média mensal de 768 mm de chuva, além do intenso trânsito de pessoas devido o processo da colheita neste mesmo período. Fatores que não ocorreram com a mesma intensidade no período de abril/11 a agosto/11, onde a média mensal de chuva foi de apenas 444 mm e não houve manuseio entre as plantas infestadas e sadias (Figura 7). Sabe-se que a umidade favorece a fase de reprodução sexuada do patógeno, pois a estação chuvosa é propícia para a formação dos peritécios e liberação dos ascósporos (HAMADA et al., 1988, IKEDA, 2010).

Os parâmetros dos modelos selecionados pela validação cruzada foram relevantes para realizar a krigagem. Com a interpolação dos dados, foi possível gerar mapas da lavoura para localizar a área de maior intensidade e estimar o comportamento e a dispersão da fusariose na lavoura.

Denota-se que a doença surgiu ao sudeste do mapa, nas bordas da lavoura (Figuras 9A e B). Neste local do mapa encontra-se uma lavoura de pimenta-do-reino mais velha e provavelmente é de onde surgiu o inóculo inicial da doença. Em janeiro/11 (90 dias) evidencia-se a expansão da epidemia com focos aleatórios sentido sul norte (Figura 9C). No período de fevereiro/11 e março/11 (120 e 150 dias) a doença aumenta gradativamente, com alguns pontos aleatórios de doença próximos aos focos principais, que provavelmente a doença encontra condições favoráveis para a disseminação (Figuras 9D e E). No mês de agosto/11 (300 dias) os focos são definidos e não possui pontos aleatórios da doença. Neste período como comentado, houve baixa intensidade de chuva e não houve manuseio entre as plantas, fatores que colaboraram para evitar a disseminação da doença (Figura 9F).

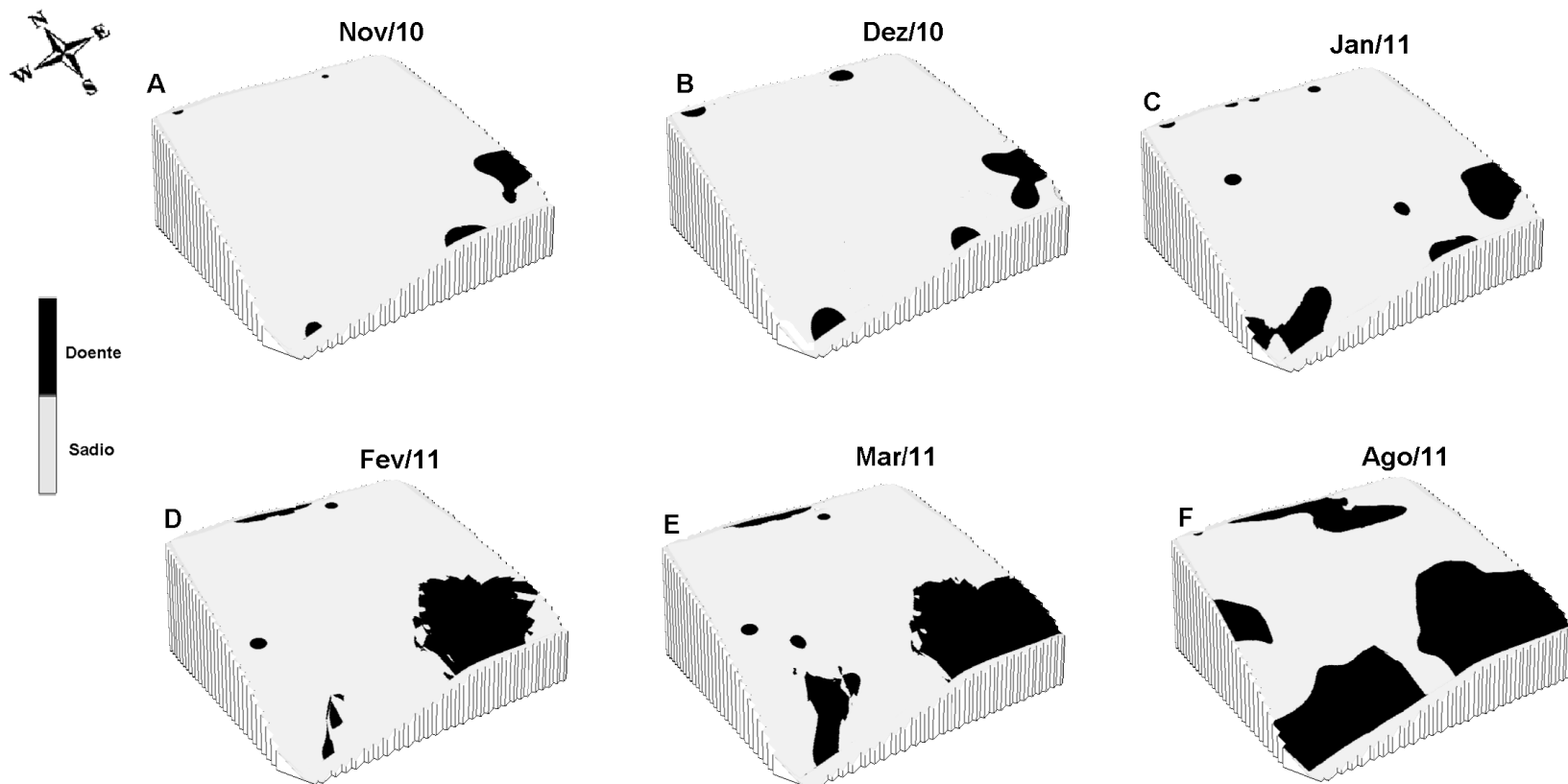


Figura 9 - Mapas temáticos da distribuição espacial da fusariose em pimenta-do-reino nas avaliações.

Os mapas de kigragem mostraram o início dos focos da doença pelas bordas, podendo evidenciar a introdução do patógeno na área, pelas lavouras de pimenta-do-reino vizinhas. Os fatores chuva e colheita podem ser sugeridos relevantes para explicar o comportamento da doença ao longo tempo. Pois do período de 0 a 150 dias a intensidade da chuva e o evento da colheita que ocorreu aos 30 e 60 dias podem ter influenciado na capacidade de dispersão da doença, onde no período de 180 a 303 dias não houve nenhuma intensidade desses eventos na lavoura.

Relatos históricos da área em estudo revela que uma pastagem predominava a área antes da expansão da nova lavoura e sabe-se que estudos revelam que as gramíneas em geral são supressoras para os patógenos *Fusarium* ssp. (TOLEDO-SOUZA, 2008). A primeira colheita da lavoura ocorreu no final do ano de 2010 e as primeiras plantas com sintomas da fusariose foram observadas no ano seguinte (2011). Em relação ao inóculo inicial do patógeno na área de estudo, deduz-se que o nível era baixo, pois a doença manifesta em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, e a doença surgiu após a colheita sugerindo que o patógeno foi introduzido na área experimental.

A colheita principal da pimenta-do-reino no Norte do Espírito Santo ocorre no período de outubro e novembro do ano. No entanto, a área experimental é uma expansão da pipericultura na propriedade. A lavoura é localizada próxima à unidade beneficiadora (secador e armazém), com isso, o processo da colheita inicia-se da lavoura mais afastada da unidade beneficiadora e o término do evento na área experimental. Fato que atrasou o período da colheita na lavoura experimental, que ocorreu nos meses de novembro e dezembro do ano de 2011.

O processo da colheita, apesar de ser manual, é traumático para a planta, pois sofre um estresse natural da produção, onde as raízes sobrecarregam a extração dos nutrientes do solo, concentrando para os frutos. Processo que pode gerar deficiência nutricional na planta tornando-a sensível e suscetível para doenças. Além disso, a colheita cria oportunidades para a entrada de microrganismos nocivos à planta, devido aos ferimentos causados pelos arranques das drupas e folhas. O trânsito intenso de pessoas na lavoura e a reutilização de materiais e equipamentos oriundos das lavouras mais velhas e infestadas podem conter estruturas como ascósporos e conídios do patógeno, proporcionando novas infecções e o aumento do raio de dispersão da infecção da doença na lavoura.

Embora fitopatógenos do solo sejam considerados monocíclicos, alguns estudos relatam a possibilidade de que uma planta infectada com um patógeno habitante do solo serviria como fonte de inóculo para plantas adjacentes (FIRMAN e ALLAN, 1995; HUANG e HOES, 1980; STANGUELLINI et al., 1997; REKAH et al., 1999). Outra discussão sobre fonte de inóculo de fitopatógenos habitantes do solo é em relação um mecanismo de dispersão secundário.

Outros autores relatam a pressuposição de que para um patógeno bem sucedido em sobreviver e causar epidemias é importante possuir mais de um mecanismo de dispersão. Pois, para estabelecer em áreas recém-ocupadas é imprescindível a dispersão de curta distância para que o patógeno colonize a área e reproduza e, para que o patógeno escape da área ocupada e alargue sua disseminação, é essencial a dispersão a longa distância (VANDERPLANK 1967 e 1975; HAU et al., 2002).

Para o patossistema em estudo, é conhecido a sua fase telemórfica (*Nectria haematococca* f. sp. *Piperis*) e estudos revelam que a umidade alta é a principal influência para a produção de peritécios. Hamada et. al. (1988), estudaram a ocorrência da fusariose em pimenta-do-reino no Estado do Pará. Os autores relataram a umidade como o principal fator de influência na liberação dos ascósporos e provavelmente podendo ser uma fonte de inóculo da fusariose radicular. Mais tarde, Ikeda, 2010, com um estudo no Estado do Pará, explorou a relação do peritécio (*Nectria haematococca* f. sp. *piperis*) como fonte de inóculo para a fusariose radicular (*Fusarium solani* f. sp. *piperis*). O resultado revela que a estação chuvosa é propícia para a formação dos peritécios e liberação dos ascósporos, que correlacionou com a alta intensidade da fusariose radicular que surgiu na estação seca.

Portanto, sabe-se que ação antrópica dissemina todas as espécies de patógenos, de maneiras distintas, e que influência não apenas na dispersão do inóculo, mas em todas as fases do processo de disseminação (liberação, transporte e deposição). A colheita da pipericultura é o processo de maior influência antrópica, onde a logística da colheita na propriedade se inicia das lavouras mais velhas para chegar até a unidade beneficiadora e com isso ocorre um intenso manuseio entre plantas infectadas e sadias. (Figura 10).



Figura 10 - Logística do processo de colheita na propriedade. A) Lavoura velha; 1B) lavoura experimental e C) Unidade beneficiadora.

4.2 Análise exploratória dos atributos do solo

A análise exploratória descritiva foi realizada das variáveis que obtiveram dependência espacial. As variáveis com presença de dados discrepantes foram excluídas com um processo de repetidas tentativas de conhecer a real influência no resultado obtido, seguindo o rigor em não excluir mais do que 10% dos dados, e verificar a interferência dos referidos dados sobre a resposta final dos ajustes (KERRY e OLIVER, 2007).

O atributo químico acidez trocável (238 %) apresenta o maior valor de CV, enquanto o pH e a soma de bases (6 %), o menor valor. De acordo com Warrick e Nielsen (1980), o coeficiente de variação classificado alto ($CV > 60\%$) é atribuído às variáveis cobre (60 %) e acidez trocável, enquanto os classificados baixo ($CV < 12\%$) às variáveis pH, soma de bases, saturação de bases (12 %), porosidade total (10 %)

e densidade do solo (8%). Os demais atributos estão classificados médio ($12\% > CV < 60\%$), com valores entre 15% a 45% (Tabela 2).

Os atributos boro, pH, soma de bases, areia grossa e macroporo apresentam assimetria negativa, enquanto os demais atributos são assimétricos positivos. Os atributos magnésio, relação Mg/K, boro, areia grossa, areia fina, argila, macroporo e microporo apresentam curtose positiva e os demais atributos são negativos (Tabela 2).

Os valores próximos da média com a mediana evidenciam uma proximidade dos dados a uma distribuição normal, no entanto, Cressie (1991) afirma que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, como observado nos dados em questão, o que poderia comprometer na estimativa dos valores por interpolação.

O solo da área experimental é classificado Latossolo Amarelo Distrófico, de acordo com o Sistema brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1991). Os teores dos atributos granulométricos são 76% de areia total, 21% de argila e 2% de silte, classificado franco argilo arenosa de acordo com o triângulo textural do Sistema Norte Americano, adaptado pela Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Os valores da física do solo são Densidade aparente do solo de 1.590 Kg m^{-3} , porosidade total de $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ macroporosidade de $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e microporosidade de $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos atributos do solo

Atributo	Unid	n	\bar{x}	Med	Min	Max	S	CV %	C_s	C_k
Areia Grossa	g kg ⁻¹	75	598	596	387	756	87,3	15	-0,36	-0,42
Areia Fina	g kg ⁻¹	70	172	172	111	237	29,2	17	0,07	-0,70
Argila	g kg ⁻¹	75	213	203	99	368	67,7	32	0,49	-0,70
Macroporo	m m ⁻³	107	0,17	0,17	0,11	0,26	8,1	17	-0,02	-0,74
Microporo	m m ⁻³	112	0,21	0,18	0,13	0,28	8,3	16	0,30	-0,78
Porosidade Total	m m ⁻³	103	0,38	0,36	0,32	0,48	0,04	10	1,02	0,64
Densidade do solo	kg dm ⁻¹	105	1,59	1,57	1,32	2,13	0,12	08	1,09	3,01
Cálcio	cmol _c dm ³	125	1,9	1,8	1,1	3,9	0,21	24	1,15	2,73
Magnésio	cmol _c dm ³	125	0,4	0,4	0,1	0,8	0,02	37	0,43	-0,31
Relação Mg/K	--	118	1,5	1,4	0,4	3,0	0,31	38	0,58	-0,26
Zinco	mg dm ³	124	4,4	4,1	1,3	12,7	3,86	45	1,08	1,96
Cobre	mg dm ³	118	1,4	1,2	0,1	3,7	0,68	60	1,01	0,36
Manganês	mg dm ³	125	9,1	8,0	3,0	20,0	14,60	42	1,03	0,85
Boro	mg dm ³	122	0,5	0,5	0,3	0,7	0,01	17	-0,03	-0,46
Mat. Orgânica	dag dm ³	117	2,0	2,0	1,1	3,2	0,14	19	0,31	1,00
pH	--	125	5,9	5,9	5,1	6,7	0,11	06	-0,07	0,20
Ac, Trocável	cmol _c dm ³	112	0,0	0,0	0,0	0,2	0,00	238	2,29	4,00
Ac, potencial	cmol _c dm ³	121	1,9	1,8	1,1	3,3	0,14	20	0,71	0,72
Soma de Bases	cmol _c dm ³	125	5,9	5,9	5,1	6,7	0,11	06	-0,07	0,20
CTC pH 7	cmol _c dm ³	125	2,6	2,5	1,4	4,9	0,34	23	0,90	1,71
Saturação por Base	%	125	4,5	4,4	3,4	6,0	0,27	12	0,79	0,86

n - número de amostras; \bar{x} - média; Med - mediana; Min - valor mínimo; Max - valor máximo; S - desvio padrão; CV - coeficiente de variação; C_s - coeficiente de assimetria; e C_k - coeficiente de curtose.

A natureza das variações físicas dos solos que ocorrem ao longo da profundidade, na superfície e ao tempo é difícil de ser avaliada, pois o conceito é complexo e demanda modernas tecnologias dispendiosas para definições quantitativas precisas e confiáveis. Existem valores quantitativos de natureza indireta que indicam propriedades físicas influenciadas pela estrutura do solo, auxiliando a identificação das limitações e fatores críticos ao desenvolvimento de plantas e qualidade do ecossistema do solo.

Em geral, para as Classes dos Latossolos brasileiros, valores de D_s para solos arenosos variam de 1.200 Kg m^{-3} a 1.900 Kg m^{-3} e o parâmetro associado à compactação ou adensamento prejudicial para raízes de plantas é em torno de 1.650 Kg m^{-3} (solo arenoso) e 1.450 Kg m^{-3} para solos argilosos. A PT em torno de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é o ideal para atividade agrícola. No entanto, sabe-se que em solos arenosos há predominância de macroporos, enquanto em solos argilosos a tendência é predominar microporos (KIEHL, 1979). Assim, a D_s (1.590 Kg m^{-3}) associada com a baixa PT ($0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e maior quantidade de M_i ($0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em relação a M_a ($0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) evidencia uma compactação ou adensamento na área experimental. Valores baixos de D_s associam a camadas com estrutura granular, enquanto valores elevados indicam estrutura compactada ou camadas de solo arenoso. O aumento da D_s resulta na distribuição e arranjo das partículas do solo, geralmente reduzindo PT e aumenta a quantidade de M_i indicando compactação ou adensamento do solo (BORGES et al., 1999; REICHERT et al., 2010).

Evento semelhante foi citado por Lima et. al., (2007), que estudaram variabilidade espacial dos atributos físicos e textural do solo em de pimenta-do-reino. Os autores relatam que na área estudada, não houve intervenção de máquinas durante o cultivo, fato que explicou o adensamento, devido ao carreamento de partículas menores do solo que causaram o incremento dos valores médios encontrados para D_s e baixa PT .

A cultura da pimenta-do-reino exige solos com boas características físicas e químicas, preponderante a textura arenosa, alto teor de matéria orgânica, $V\%$ em torno de 70% e pH variando de 6,0 a 6,5. Essas propriedades são cruciais para proporcionar boa disponibilidade dos nutrientes e o melhor desenvolvimento para a cultura (MILANEZ et al., 1987; FORNAZIER FILHO, 1989; SERRANO et. al., 2006).

De acordo com PREZOTTI et. al. (2007), o solo da área experimental indica um desequilíbrio entre os macronutrientes demonstrado na relação baixa de Mg/K, os níveis dos teores de micronutrientes baixo, e o CTC pH 7 e pH abaixo do ideal preconizado para cultura. No geral, o solo da área do experimento indica baixa fertilidade e desequilíbrio entre os nutrientes (Tabela 2).

4.3 Análise espacial dos atributos do solo

Todos os atributos do solo com dependência espacial ajustam-se ao modelo esférico, com R^2 variando de 0,79 (porosidade total e zinco) a 0,97 (manganês) e CR da validação cruzada variando de 0,55 (zinco) a 1,08 (cálcio) (Tabela 6). Os alcances dos atributos químicos do solo variam de 27 (cobre e zinco) a 80 metros (acidez potencial) com graus de dependência espaciais moderados ($25\% < IDE > 75\%$) para todos os atributos variando de 39 % (relação Mg/K) a 80 % (manganês) (Tabela 3 e Figura 11).

Os alcances dos atributos físicos e textural do solo variam de 23 (macroporo) a 110 metros (argila) com grau de dependência espacial alto apenas para argila (77%) e os demais atributos revelam dependência espacial moderada ($25\% < IDE > 75\%$) variando de 43 % (densidade do solo) a 64 % (areia grossa) (Figura 12)

Tabela 3 - Parâmetros de ajuste dos variogramas experimentais para incidência da doença física e textura do solo em um cultivo de pimenta-do-reino

Atributos	Ajuste			Validação Cruzada	Atributos	Ajuste			Validação Cruzada
	Unid	R _{SS}	R ²	CR		Unid	R _{SS}	R ²	CR
Doença	--	4,200	0,94	0,80	Zinco	mg dm ³	0,670	0,79	0,55
Areia Grossa	g kg ⁻¹	1,040 ^{E-07}	0,85	0,93	Cobre	mg dm ³	8,400 ^{E-03}	0,92	0,61
Areia Fina	g kg ⁻¹	7863	0,96	0,89	Manganês	mg dm ³	4,310	0,97	0,98
Argila	g kg ⁻¹	2224	0,94	0,94	Boro	mg dm ³	9,140 ^{E-07}	0,94	0,93
Macroporo	m m ⁻³	59,70	0,93	0,71	Matéria orgânica	dag dm ³	1,090 ^{E-03}	0,80	0,92
Microporo	m m ⁻³	180,0	0,93	1,05	pH	--	4,680 ^{E-04}	0,81	0,92
Porosidade Total	m m ⁻³	1,190 ^{E-07}	0,79	0,82	Acidez Trocável	cmol _c dm ³	2,530 ^{E-07}	0,90	0,86
Densidade do Solo	kg dm ⁻¹	3,620 ^{E-06}	0,94	0,55	Acidez potencial	cmol _c dm ³	5,780 ^{E-04}	0,93	0,94
Cálcio	cmol _c dm ³	1,077 ^{E-03}	0,87	1,08	Soma de Bases	cmol _c dm ³	6,100 ^{E-03}	0,90	0,94
Magnésio	cmol _c dm ³	2,395 ^{E-05}	0,81	0,86	CTC pH 7	cmol _c dm ³	2,230 ^{E-03}	0,94	0,98
Relação Mg / K	--	4,095 ^{E-03}	0,80	0,84	Saturação por Base	%	142	0,90	0,94

Esf, – Esférico; R_{SS} - Soma dos quadrados do resíduo; R² - Coeficiente de determinação; e CR - Coeficiente de regressão.

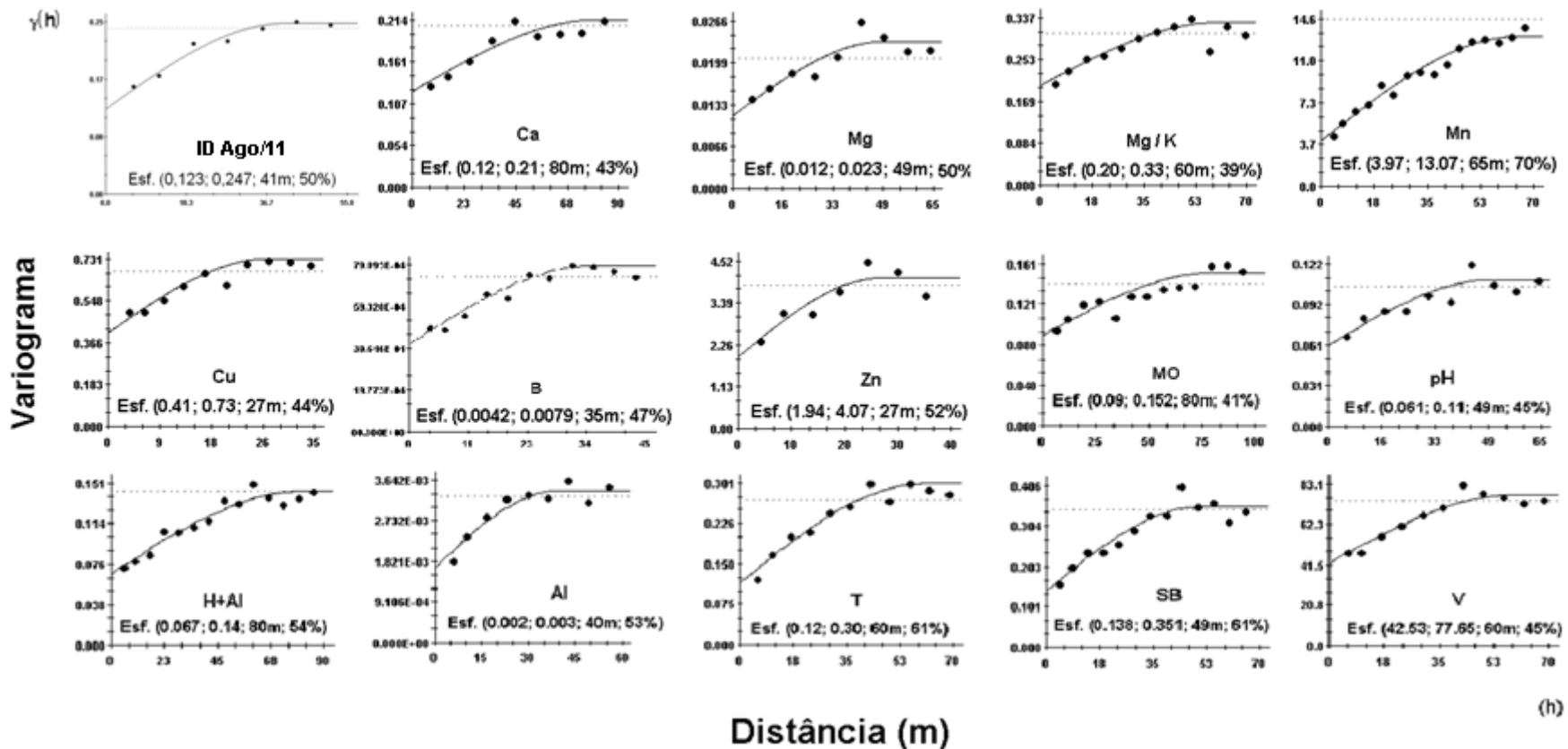


Figura 11 - Variogramas da incidência da fusariose e propriedades químicas do solo, Modelo (efeito pepita; patamar; alcance; e índice de dependência espacial); IF - incidência de fusariose; Ca cálcio; Mg - magnésio; Mg/K - relação magnésio potássio; Zn - zinco; Cu - cobre; Mn - manganês; B - boro; MO - matéria orgânica; pH - potencial de hidrogênio; Al - acidez trocável; H+Al - acidez potencial; SB - soma de bases; e T - CTC a pH 7,0 e V - saturação de bases. UFES/CEUNES, São Mateus-ES, 2012.

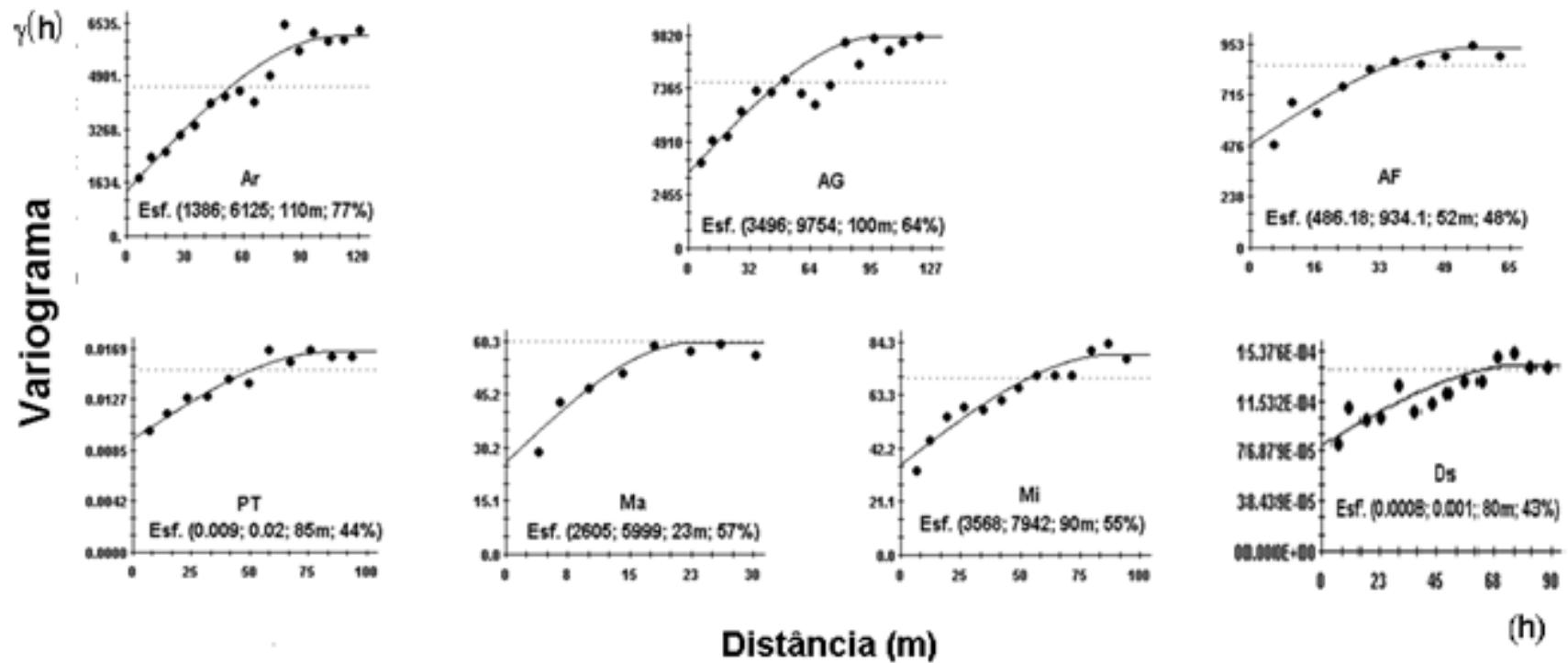


Figura 12 - Variogramas dos atributos físicos e textural do solo em uma lavoura de pimenta-do-reino, Modelo (efeito pepita; patamar; alcance; e índice de dependência espacial). Ar – Argila; AG – Areia grossa; AF – Areia fina; Ds – Densidade aparente do solo; PT – Porosidade total; Ma – Macroporo; e Mi - Microporo.

4.4 Correlação da fusariose com atributos do solo

O método do escalonamento é uma padronização dos dados originados dos princípios da geoestatística. Os variogramas são escalonados pela variância e o efeito pepita torna-se uma fração do patamar. Utilizando esse método em variogramas de variáveis diferentes, padroniza-se os valores do efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C) e alcance (A). Com o conjunto de valores (C_0 ; C_0+C e A) semelhantes, é possível correlacionar o comportamento da variabilidade espacial entre as variáveis em estudo, e inferir que os processos que regulam essas variáveis na área de estudo são semelhantes no espaço ou no tempo (VIEIRA, 1997).

O variograma escalonado da doença apresenta modelo esférico, efeito pepita 0,5, patamar 1,0 e alcance de 41 metros. Os variogramas escalonados dos atributos do solo que apresentam valores semelhantes com a incidência da doença são: areia fina; relação Mg/K; pH; acidez trocavel; e saturação de bases (Tabela 4).

A krigagem é um conjunto de técnicas para minimizar uma variância de estimação a partir de uma covariância definida. O processo de krigagem estima um valor de um atributo, em uma posição não amostrada, a partir de um conjunto de amostras vizinhas. Portanto, são gerados mapas estimados das variáveis em estudo, e o gráfico dos variogramas escalonados atribuem confiabilidade e validação da correlação espacial visualizada nos mapas (Figuras 13, 14 e 15) (DEUTSCH e JOURNAL, 1998).

Tabela 4 - Modelo e parâmetros de semivariograma escalonado e correlação de Pearson, associando incidência de fusariose com atributos físicos e textural em um cultivo de pimenta-do-reino.

Atributo	Unid	Mod.	C ₀	C _{0+C}	A (m)	Atributo	Unid	Mod.	C ₀	C _{0+C}	A (m)
Doença	--	Esf,	0,5	1,0	41	Zinco	mg dm ³	Esf,	0,5	1,0	27
Areia Grossa	g kg ⁻¹	Esf,	0,4	1,0	46	Cobre	mg dm ³	Esf,	0,6	1,1	27
Areia Fina	g kg ⁻¹	Esf,	0,6	1,1	52	Manganês	mg dm ³	Esf,	0,3	0,9	65
Argila	g kg ⁻¹	Esf,	0,2	0,9	41	Boro	mg dm ³	Esf,	0,6	1,1	35
Macroporo	m m ⁻³	Esf,	0,4	1,0	23	Matéria orgânica	dag dm ³	Esf,	0,6	1,1	80
Microporo	m m ⁻³	Esf,	0,5	1,1	90	pH	--	Esf,	0,6	1,0	49
Porosidade Total	m m ⁻³	Esf,	0,6	1,0	80	Acidez Trocável	cmol _c dm ³	Esf,	0,5	1,0	40
Densidade do Solo	kg dm ⁻¹	Esf,	0,6	1,1	85	Acidez potencial	cmol _c dm ³	Esf,	0,5	1,0	80
Cálcio	cmol _c dm ³	Esf,	0,6	1,0	80	Soma de Bases	cmol _c dm ³	Esf,	0,4	1,0	49
Magnésio	cmol _c dm ³	Esf,	0,6	1,1	49	CTC pH 7	cmol _c dm ³	Esf,	0,3	0,9	60
Relação Mg / K	--	Esf,	0,6	1,1	60	Saturação por Base	%	Esf,	0,6	1,0	60

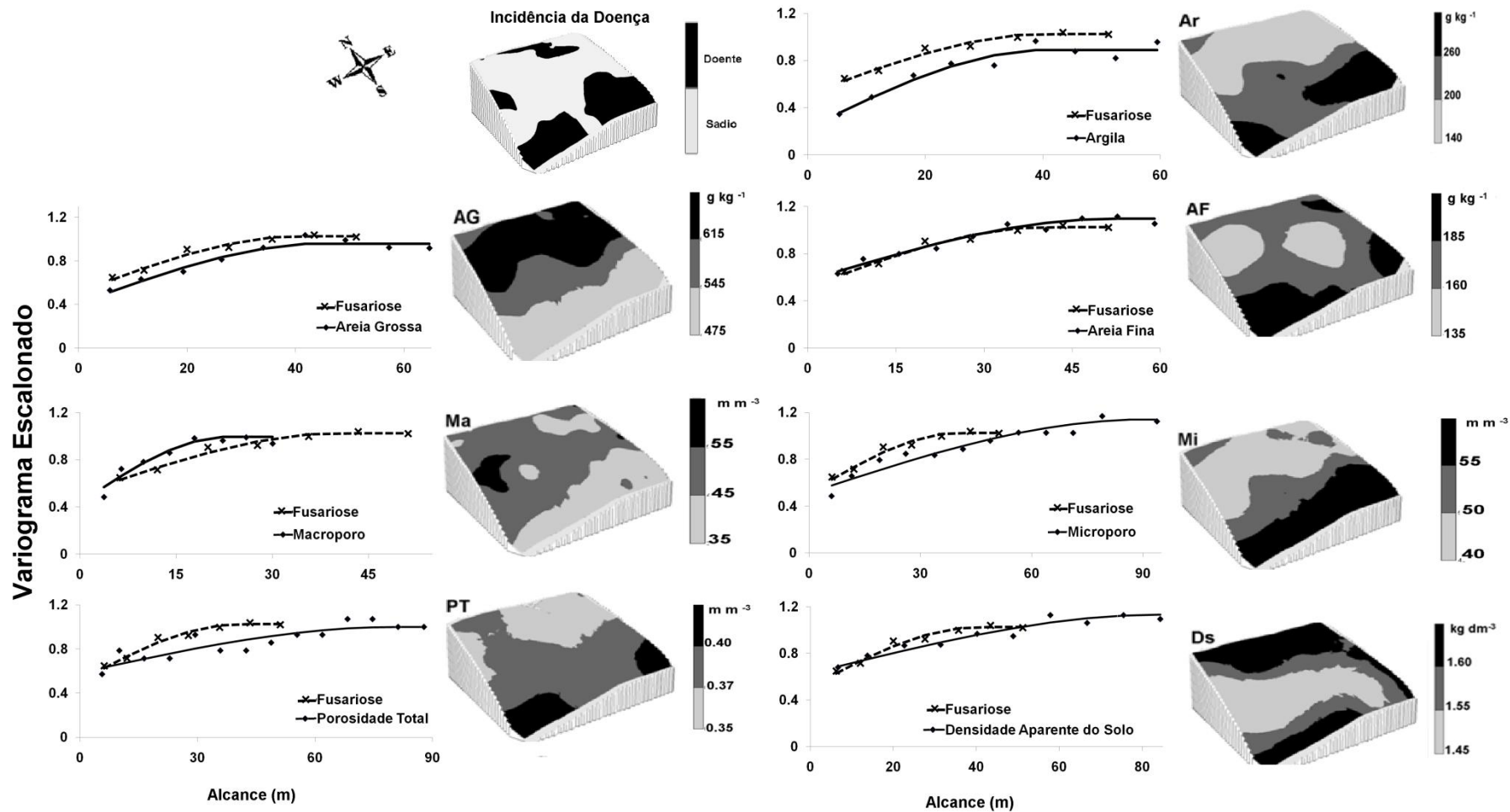


Figura 13 - Mapas temáticos e correlações espaciais entre a incidência da fusariose com propriedades físicas e textural do solo. IF – Incidência da fusariose; Ar – Argila; AG – Areia grossa; AF – Areia fina; Ds – Densidade aparente do solo; PT – Porosidade total; Ma – Macroporo; e Mi - icroporo,

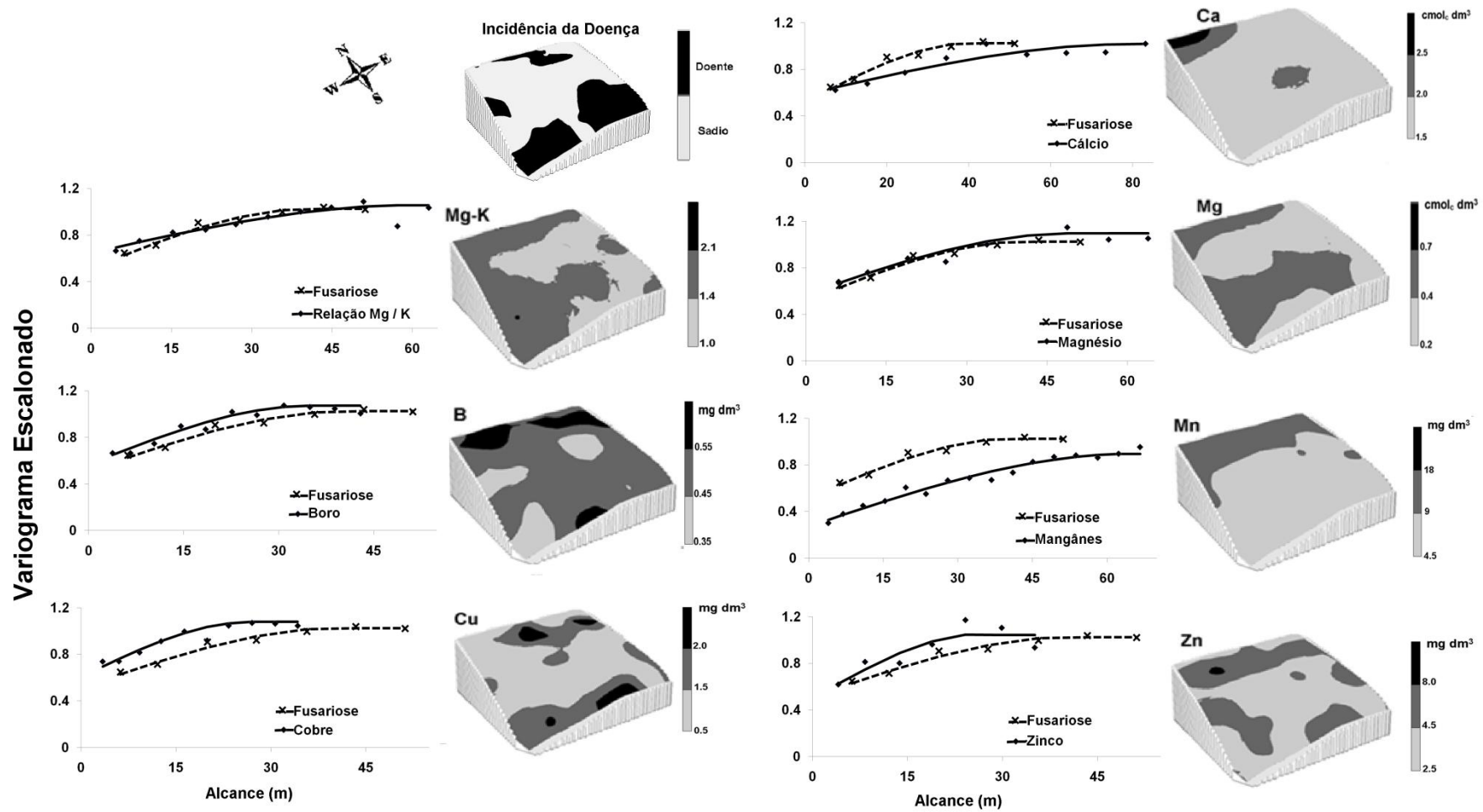


Figura 14 - Mapas temáticos e correlações espaciais entre a incidência da doença com propriedades macro e micronutrientes do solo. IF – Incidência da fusariose; Ca cálcio; Mg - magnésio; Mg/K - relação magnésio potássio; Zn - zinco; Cu - cobre; Mn - manganês; e B - boro.

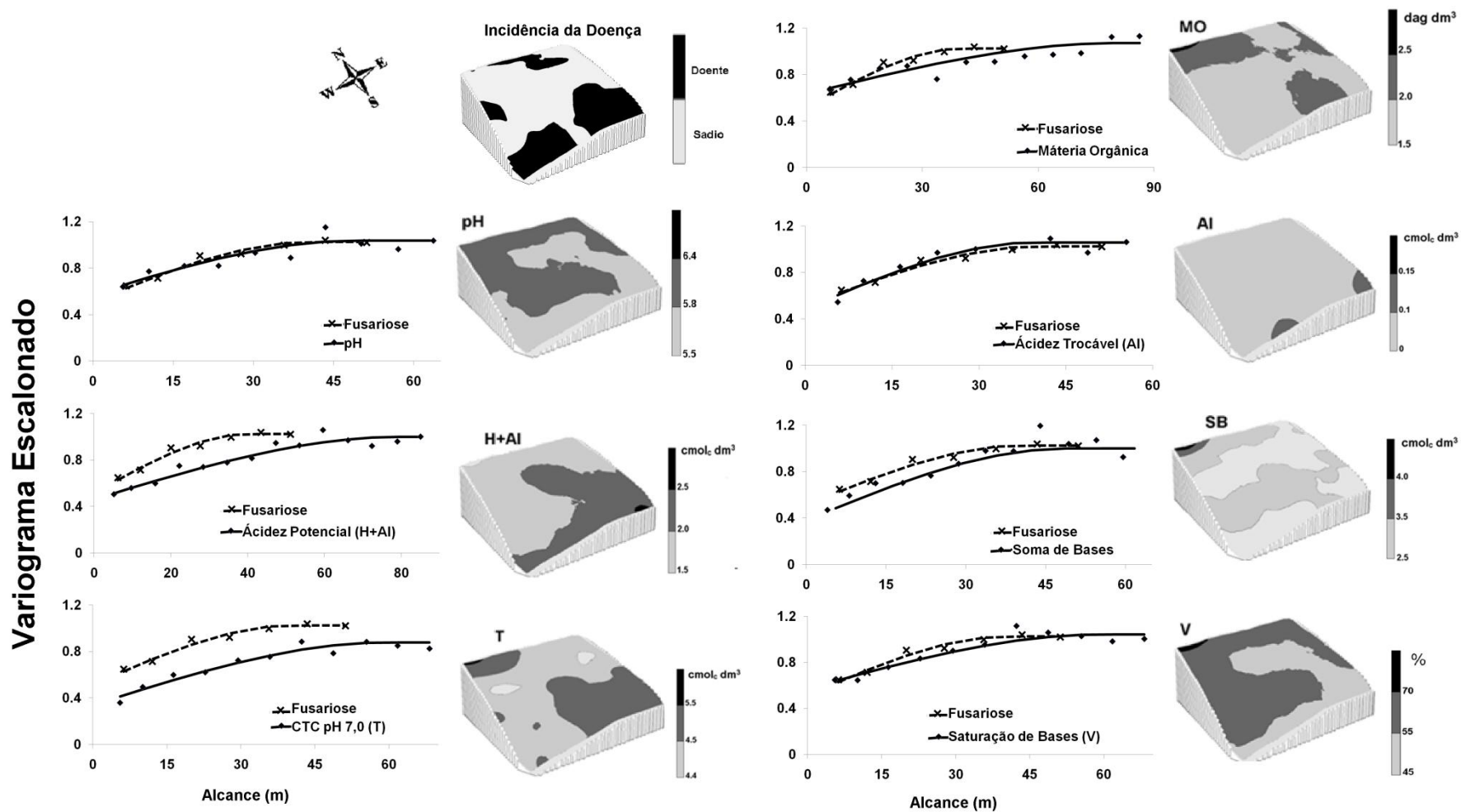


Figura 15 - Mapas temáticos e correlações espaciais entre a incidência da fusariose com propriedades da matéria orgânica e acidez do solo. IF - incidência da fusariose; MO - matéria orgânica; pH - potencial de hidrogênio; Al - acidez trocável; H+Al - acidez potencial; SB - soma de bases; T - CTC a pH 7,0; e V - saturação de bases

O alto teor de areia fina pode provocar a baixa estabilidade de agregados do solo, prejudicando o crescimento radicular, pois os poros são obstruídos pelas partículas da areia fina podendo ocorrer um adensamento (RUSSEL, 1973 e DUFRANC, 2004). A camada de solo adensado pode aumentar a incidência e a severidade de doenças radiculares, pois o fato pode propiciar um ambiente favorável devido ao acúmulo de umidade e podendo causar danos às raízes das plantas.

A alta concentração de um nutriente interfere na capacidade de absorção de outro. Malavolta (1980), em estudos com culturas de café e banana, relata que o excesso de potássio na adubação desfavorece a absorção do magnésio, o que implica na deficiência do nutriente. A deficiência de cálcio e magnésio pode diminuir a síntese de pectatos, que é um gel protetor contra os ataques enzimáticos do fungo patogênico. Na escassez do pectato, a planta não seria capaz de formar as tilosas que são mecanismos de defesa para impedir o avanço do fungo (STOVER, 1972; BORGES-PEREZ et. al., 1983).

O excesso de alumínio no solo causa danos às plantas, no entanto seu efeito em relação solo, planta e doença são pouco entendidos (MALVOLTA, 1976). Em geral o excesso desse elemento interfere na divisão celular das raízes, diminui a respiração das raízes, além de interferir e prejudicar a absorção e transporte de vários nutrientes do solo para planta, como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro. O acúmulo do alumínio nas raízes ocorre no núcleo das células, resultando injúria no órgão. (MARSCHER, 1986; FOY, 1984).

Os fungos possuem sistemas reguladores de pH, o que associa à capacidade de se desenvolverem em amplas faixas de pH, e este mecanismo provavelmente ocorre com *fusarium* spp.. Sistemas reguladores se expressam pela produção diferencial de enzimas e metabolitos extracelulares em função do pH do meio. Essa habilidade pode estar associada à sua capacidade de sobrevivência por longos períodos no solo e na ausência do hospedeiro, mesmo em condições adversas (DENISON, 2000; CARVALHO et. al., 2005).

A importância da saturação por base é a relação e a dependência direta com outros atributos químicos, principalmente com pH, acidez potencial, cálcio, magnésio, potássio e alumínio, bem como a relação entre eles. Cada atributo exige uma

correlação entre si, que pode influenciar na ocorrência ou não da doença. O importante é manter o solo equilibrado com um nível de saturação por base ideal para a cultura. Simmonds (1959) e Cordeiro (1988) concluíram que as condições do solo no desenvolvimento da doença do mal-do-panamá são evidentes por o patógeno ser um habitante do solo. Com base nesses estudos, pesquisadores levantaram algumas hipóteses como a de que plantas cultivadas em solos com maiores níveis de pH, cálcio, magnésio, zinco e matéria orgânica estão menos sujeitos à infecção por *F. oxysporum* f. sp. *cubense* e que qualquer estresse, sofrido pela planta, principalmente na região radicular, interfere diretamente no seu mecanismo de resistência.

Trujillo et al. (1983), citado em Furtado et al. (2009), observaram que o pH e o teor de MO, bem como os níveis de Ca, Mg, Zn e relações de Ca/Mg e K/Mg estavam associadas à ocorrência da doença. No Estado da Bahia e Espírito Santo, verificaram que o pH e níveis de Ca, Mg e Zn com baixos teores evidenciam maior incidência do mal-do-panamá, enquanto que as relações K/Ca e K/Mg apresentaram teores elevados em área com alta intensidade da doença (EMBRAPA, 1987; EMCAPA, 1988). Quanto à intensidade da doença, Lopes et al. (2008) destacaram também as relações de K/Mg, Ca/Mg e Ca/K.

O ecossistema do solo é heterogêneo e amplo, sendo que as fases sólidas podem ser discriminadas, enquanto as composições das fases aquosa e gasosa estão em constantes variações, tornando impossível identificar as divisões discretas. No entanto, com a troca de energia e matéria com o meio ambiente, torna-se incerto o estado de equilíbrio químico, com tudo, algumas propriedades podem alcançar uma condição estável e a perda de um componente é balanceada com sua acumulação. Os nutrientes aumentam ou diminuem a resistência das plantas aos patógenos radiculares, pois a nutrição das plantas está envolvida em todos os mecanismos de defesa como elementos integrais ou ativadores, inibidores ou reguladores do metabolismo.

É difícil generalizar os efeitos de um nutriente específico sobre as diferentes relações entre planta-patógeno. Um elemento pode induzir a resistência a um patógeno específico e a suscetibilidade a outro, o que pode deduzir algumas vezes a diferença na forma de aplicação ou disponibilidade do nutriente.

5 CONCLUSÃO

- A disseminação da fusariose aumenta com o processo da colheita que ocorre no período chuvoso do ano.
- Os mapas da variabilidade da doença demonstram o início do foco da doença nas bordas da lavoura, vizinha de uma lavoura velha de pimenta-do-reino.
- Os atributos do solo que correlacionam espacialmente com a intensidade da doença são: o pH, a acidez trocável, o magnésio, a relação magnésio/potássio, a saturação por base e a areia fina.
- A geoestatística é capaz de analisar a dependência espacial das variáveis estudadas, além de visualizar e correlacionar a doença com os atributos do solo através dos métodos de krigagem e escalonamento dos variogramas.

6 REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. **Micronutrientes**. In: Fertilidade do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa – MG, Ed. UFV, 2007, Cap.11, p. 645-736.
- ALBUQUERQUE, F. C.; CONDURU, J. M. P. **Cultura da pimenta-do-reino na região amazônica**. IPEAN- Série Fitotecnia, v.2. n.3, Belém, 1971.
- ALBUQUERQUE, F.C. **Podridão das raízes e do pé da pimenta-do-reino**. Belém : IPEAN, Circular, n°.5, 45p., 1961.
- ALBUQUERQUE, F.C. DE; DUARTE, M.L.R.; BENCHIMOL, R.L.; ENDO, T. **Resistência de piperaceas nativas da Amazônia à infecção causada por *Nectria haematococca* f. sp. *piperis***. Acta Amazonica, v.31, n.3, p.341-348, 2001.
- ALEXANDER, S. A.; SKELLY, J. M.; MORRIS, C. L. Edaphic factors associated with the incidence and severity of disease caused by *Fomes annosus* in Loblolly pine plantations in Virginia, **Phytopathology**, v. 65, p. 585-591, 1975.
- ALLMARAS, R.R.; KRAFT, J.M.; MILLER, D.E. Effects of soil compaction and incorporated crop residue on root health. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.26, p.219-243, 1988.
- ALMEIDA, F. A.; BARRETO, M.; BARBOSA, J. C. B.; COSTA, F. M. Distribuição espacial de *Phytophthora nicotianae* e reação de cultivares de cebola ao fungo. **Summa Phytopathology**, Botucatu, v. 37, n. 1, p. 13-17, 2011.
- ALVAREZ, C. E.; GARCIA, V.; ROBLES J.; DIAZ, A. Influence des caracteristiques du sol sur incidence de la Maladie de Panamá. **Fruits**, n°.36, p. 71-81, 1981.
- ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; MACHADO, J. C.; ARAÚJO, D. V.; TALAMINI, V.; OLIVEIRA, M. S. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p.557-563, 2006.
- AMORIM, L.; PASCHOLATI, S. F. In: **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Ed. Agronômica Ceres Ltda: v.1 4ª. Ed, São Paulo – SP, 2011. Cap. 4, p.61-98.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo – RS, Ed. Unisinos, 2003, 165p.
- ASIRIFI, K. N.; MORGAN, W.C.; PARBEY, D.G. Suppression of *Sclerotinia* soft rot of lettuce with organic soil amendments. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, n°.34, p.131-136. 1994.

AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico de degradação de um Argissolo sob pastagem no estado do Mato Grosso**. 158f. Tese de Doutorado. Faculdade de engenharia agrícola de campinas, Campinas. 2004.

BARBOSA, F. B. C. Biotecnologia molecular e novo padrão de financiamento: possibilidades para pesquisada fusariose da pimenta-do-reino. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n. 3, p.429-449, set./dez. 2002.

BETTIOL, W.; MIGHELI, Q.; GARIBALDI, A. Controle com matéria orgânica do tombamento do pepino, causado por *Pythium ultimum* Trow. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 32: 57-61. 1997.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, v. 3, 2003.

BIANCHINI, A.; MARINGONI, A.C.; CARNEIRO, S.M.T.P.G. Doenças do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L).In: **Manual de Fitopatologia**. São Paulo – SP, Ceres, 1997. v.2. pp. 376-399.

BORGES, E, N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F, BORGES, E. V. S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho Escuro textura média, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n°. 34, p.1663-1667, 1999.

BORGES-PÉREZ A.; TRUJILLO, J. C. I.; GUTIERREZ-JEREZ, F,; ANGULO-RODRIGUEZ, D. Estudio sobre el mal de Panamá em las Islas Canarias. II – Influência de los desequilibrios nutritivos P-Zn Y K-Mg del suelo, en la alteracion de los mecanismos de resistência de la plantanema (Ca-vendish enana) al Mal do Panamá. **Fruits**, n°.38, p.755-758., 1983.

BHATTI, M. A.; KRAFT, J. M. Influence of soil bulk density on root rot and wilt Of chickpea, **Plant**, n°. 76,p. 960-963, 1992.

BURKE, D. W. et al. Counteracting bean root rot by loosening the soil. **Phytopatology**, n°.62, p. 306-309, 1972.

BUXTON, W.; KHALIFA, O.; WARD, V. Effect of soil amendment with chitin on pea wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. **Annals of Applied Biology**,n°.55,p. 83-88. 1965.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soils properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**. V. 58, p. 1501-1511, 1994.

- CARVALHO, E. A. **Modelagem geoestatística da distribuição espacial de doenças do feijoeiro comum e da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas.** Dissertação de Mestrado em Fitopatologia – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2008.
- CARVALHO A. O, JACOB NETO J, CARMO M. G. F. **Colonização de raízes de tomateiro por *Fusarium oxysporum f.sp.lycopersici* em solução nutritiva com três fontes de nitrogênio.** Fitopatologia Brasileira 30:26-32. 2005
- CHELLEMI, D. O.; ROHRBACH, K. G.; YOST, R. S.; SONODA, R. M. Analysis of the spatial pattern of plant pathogens and diseased plants using geostatistics. *Phytopathology*, n°. 78, p. 221-226, 1988.
- CLARK, I. Practical Geostatistics. Essex: **Applied Science Publishers**, p. 129, 1979.
- CORÁ, J. E; ARAUJO, A.V; PEREIRA, G. T; BERALDO, J. M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.1013-1021, 2004.
- CRESSIE, N. Statistics for spatial data. New York, Jonh Wiley e Sons, 1991. 900p.
- DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows.** Porto Alegre, Artmed., 2006.
- DANDURAND, L. M.; KNUDSEN, G. R.; SCHOTZKO, D. J. Quantificatoin of Pythium ultimum var. sporangiiferum Zoospore Encystment pattern Using Geoestatistics. **Phytopatology**, v. 85, n°.2, 1995.
- DAVID, M. **Handbook of applied advanced geoestatistical ore sererve estimation.** New York, Elsevier, 1988. 216p.
- DAVIS, J. C. Uses and abuses of cross-validation in geoestatistics. **Mathematical geology**, v. 19, p. 241-248, 1987.
- DENISON, S.H. **pH Regulation of gene expression in fungi.** Fungal Genetcs and Biology 29:61-71. 2000.
- DUARTE, M. L. R.; ALBUQUERQUE, F. C.; ALBUQUERQUE, P. S. B. Doenças da Pimenta-do-reino. In: **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas.** Ed. Agronômica Ceres Ltda: São Paulo, 2005. Cap.58, p.507-522.
- DUARTE, M. L. R. Sistemas de Produção da Pimenta-do-reino: Importância econômica. 12/2005. Disponível em: <http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/PimenteiradoReino/index.htm>> Acesso em 26 de fevereiro de 2012.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. **Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.505-517, 2004.

Eck, W.H. Autolysis of chlamydospores of *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* in chitin and laminarin amended soils. **Soil Biology and Biochemistry**, n°.10, p. 89-92. 1978. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro - RJ, 1997, 212p.

EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 1ª ed, Rio de Janeiro - RJ, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999, 412p.

FORNAZIER FILHO A. **Pimenta-do-reino: uma das mais importantes especiarias do mundo**. São Paulo: Ícone, 1989, 77 p.

FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F., ed. **Soil acidity and liming** 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1984. p.57-97.

FILHO, D. B. F.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson. **Revista Política Hoje**, Vol. 18, n. 1, 2009.

Firman, D. M., and Allen, E. J. 1995. Effects of seed size, planting density and planting pattern on the severity of silver scurf (*Helminthosporium solani*) and black scurf (*Rhizoctonia solani*) diseases of potatoes. *Ann. Appl. Biol.* 127:73-85.

FRANKLIN, R.B.; MILLS, A.L. Multi-scale variation in spatial heterogeneity for microbial community structure in an eastern Virginia agricultural field. **FEMS Microbiology Ecology**. Virginia, v.44, n.3, p.335-346, 2003.

FURTADO, E. L.; BUENO, C. J.; OLIVEIRA, A. L.; MENTEN, J. O. M.; MALAVOLTA, E. Relações entre ocorrência do Mal-de-Panama em bananeira da cv. Nanicão e nutrientes no solo e nas folhas. **Tropical Plant Pathology**, n°.34, July – August, 2009.

Gamma Design Software. GS+: **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159 p.

GOOVAERTS, P. **Geoestatistics for natural resources evaluation**. Oxford University Press., New York, 1997. 650p.

GORODECHI, B.; HADAR, Y. Suppression of *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* diseases in container media containing composted separated cattle manure and composted grape marc. **Crop Protection**, n°.9, p. 271-274. 1990.

GROHMANN, F. **Porosidade**. In: Elementos de Pedologia. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 1975, p.7-84

GUERRA, A.J.T. **Processos erosivos nas encostas**. In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 3a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUIMARÃES, E. C. Geoestatística básica e aplicada. UFU/FAMAT. Núcleos de estudos estatísticos e biométricos. 2004. 48p. Disponível em: <http://www.famat.ufu.br/ednaldo/geoest/apgeo1.pdf> Acesso em 22 de agosto de 2010.

GUPTA, S.C.; HADAS, A.; SCHAFER, R.L. **Modeling soil mechanical behavior during compaction**. In: Eds. Mechanics and related process in structured agricultural soils. Dordrecht, Kluwer Academic, 1989. p.137-152.

GUTIERREZ-JEREZ F.; TRUJILLO, J. C. I.; BORGES-PEREZ, A. Estudio sobre el Mal-de-Panamá em las Islas Canarias. I Características físicas y químicas e los suelos y su relacion com la aparición e la enfermedad. **Fruits**, n°.30, p.667-682. 1983.

HAMADA, M.; UCHIDA, T.; TSUDA, M. Ascospore dispersal of the causal agent of Nectria blight of Piper nigrum, **Phytopathological Society of Japan Annals**, Tokyo, v,54, p,303-308, 1988.

HAU, B.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia: Análise Espacial. In: **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Ed. Agronômica Ceres Ltda: v.1 4ª. Ed, 2011. São Paulo – SP, Cap. 38, p. 667-668.

HOMMA, A. K. O. **Dinâmica dos sistemas agroflorestais: o caso da colônia agrícola de Tomé-Açu**. Pará Embrapa-CPATU, 1998.

HOMMA, A.K.O. Dinâmica dos sistemas agroflorestais: o caso da Colônia Agrícola de Tomé-Açu, Pará. **Revista Instituto de Estudos Superiores da Amazônia**, v.2, p.57-65, 2004.

HOMMA, A . K. O. **Oferta e demanda de pimenta-do-reino a nível mundial; perspectivas para o Brasil**. EMBRAPA CPATU, Miscelânea, n°.8, Belém, 1981.

Huang, H. C., and Hoes, J. A. 1980. Importance of plant spacing and sclerotial position to development of Sclerotinia wilt in sunflower. **Plant Dis.** 64:81-84.

HUBER, D.M. e SCHNEIDER, R.W. **The description and occurrence of suppressive soils**. In: **Suppressive Soils and Plant Disease**. St Paul. APS Press. 1982. pp.1-7.

HUISMAN, O.C. Interrelations of root growth dynamics to epidemiology of root rotting fungi. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.20, p.303-327, 1982.

IKEDA, K. Role of perithecia as an inoculum source for stem rot type of pepper root rot caused by *Fusarium solani* f. sp. *Piperis* (teleomorph: *Nectria haematococca* f. sp. *piperis*). **Journal of General Plant Pathology**, n°.76, p. 241–246, 2010.

INDEX FUNGORUM. INDEX FUNGORUM. Disponível em:
<<http://www.indexfungorum.org/names/namesrecord.asp?RecordID=418895>>
Acessado em 11 de fevereiro de 2011.

INTERNATIONAL PEPPER COMMUNITY. Pepper Statistics 2011-2010. Disponível em: <<http://www.ipcnet.org/n/statpdf/index.php>> Acesso em 07 de fevereiro de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, 2011. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201108.pdf> Acesso em 29 de janeiro de 2012.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics: introduction to applied geostatistics**, Oxford: University Press, 1989, 561p.

JAIME-GARCIA, R.; ORUM, T. V.; FELIX-GASTELUM, R.; TRINIDAD-CORREA, R.; VANETTEN, H.D.; NELSON, M.R. Spatial analysis of *Phytophthora infestans* genotypes and late blight severity on tomato and potato in the Del Fuerte Valley using geostatistics and geographic information systems. **Phytopathology**, Davis, v.91, n. 12, p. 1156-1165, 2001.

JOUBERT, D. **Relationship between soil compaction and Phytophthora root rot of citrus**.1993. 123 p. Dissertação (Master in Agronomy) - University of Pretoria, Pretoria, 1993.

JOUBERT D; LABUSCHAGNE N. Effect of soil compaction on *Phytophthora nicotianae* root rot of Rough lemon and Troyer citrange seedlings. **African Plant Protection**, n°.4, p. 123-128, 1998.

KANE, V.; BEGOVICH, C.; BUTZ, T.; MYERS, D. E. Interpretation methods for mapping properties. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 393-400, 1999.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Determining the effect of asymmetric data on the variogram.II. Outliers. **Computers e Geosciences**, n°.33, p. 1233-1260, 2007.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**, São Paulo, Ceres, 1979, 262p.

KIRK, P. M.; CANNON, P. F.; DAVID, J. C.; STALPERS, J. A. **Ainsworth e Bisby's Dictionary of the Fungi**, 9th Edition. CABI Publishing, 2001.

KUAN, T. L.; ERWIN, D. C. Predisposition effect of water saturation of soil on *Phytophthora* root rot of alfafa, **Phytopathology**, n°. 70, p. 981-986, 1980.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, 1998, 226p.

LANDIM, P. M. B. e STURARO, J. R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. Texto Didático 06. Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, 2002. Disponível em <<http://WWW.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> Acesso em 25 de fevereiro de 2012.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2 ed. São Paulo, UNESP, 2003, 253p.

LARKIN, R.P., GUMPERTZ, M.L. & RISTAINO, J.B. Geostatistical analysis of *Phytophthora* epidemic development in commercial bell pepper fields. **Phytopathology**, p.191-203, 1995.

LASLETT, G. .; McBRATNEY, A. B.; PAHL, P.; HUTCHINSON, M. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. **Journal Soil Science**, v. 38, p. 325-341, 1987.

LECOUSTRE, R.; FARGETTE, D.; FAUQUET, C.; REFFYE, P. Analysis and mapping of the spatial spread of African mosaic virus using geostatistics and the kriging technique. *Phytopatology*, n°.79, p. 913-920, 1989.

LEENAERS, H.; OHX, J. P.; BURROUGH, P. A. Comparison of spatial prediction methods for mapping floods plain soil pollution. **Catena**, v. 17, p. 535-550, 1990.

LESLIE, J. F.; SUMMERELL, B. A. Frontmatter, in *The Fusarium Laboratory Manual*, **Black well Publishing**, Ames, Iowa, USA, 2007.

LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R. B.; QUARTEZANI, W. Z. Variabilidade de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.15, n.3, p.290-298, 2007.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. In: *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, 2007, p. 1-64.

LUGINBUHL, S. *Fusarium solani*, A class project for PP728 Soilborne Plant Pathogens, Fall 2010. Disponível em: <http://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/Fusarium%20solani/Fusarium_solani.htm> Acesso em 19 de fevereiro de 2012.

LIDDELL, C.M. **Abiotic factors and soilborne diseases**. In: *Diseases of Tropical Crops*. Ed. Soilborne, Wallingford, CAB International. 1997. pp.365-376.

MACHADO, R. V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma sequencia de solos bem a muito mal drenados**. 1994. 88p. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994.

MALAVOLTA E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo SP. Agronômica Ceres. 1980.

MALAVOLTA E. (1976) Manual de química agrícola. **Nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo SP. Agronômica Ceres. 1976.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.

MANDELBAUM, R.; HADAR, Y. Effects of available carbon source on microbial activity and suppression of *Pythium aphanidermatum* in compost and peat container media. **Phytopathology**, n°.80, p. 794- 804. 1990.

MATA, J. D. V. **Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado**. Piracicaba, 1997. 73p. Tese de doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 1997.

MCDONALD, J.D. **The soil environment**. In Epidemiology and Management of Root Diseases. Ed. Hidelberg. Springer-Verlag. 1994. p.82-115.

MILANEZ D; VENTURA JA; FANTON CJ. 1987. Cultura da pimenta-do-reino. Vitória-ES, EMCAPA, 94 p. (Documento, 33).

MILLER, S. A.; MADDEN, L. V.; SCHMITTHENNER, A. F. Distribution of *Phytophthora* spp. in field soils determined by immunoassay. **Phytopathology**, Ohio, v.87, n.1, p.101- 107, 1997.

MOORE, D. S.; McCABE, G. **Introduction to the practice of statistics**. New York, Freeman. 2004.

MORAES, S.A. de Quantificação de doenças de plantas. 2007. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/doencas/index.htm>. Acesso em: 27 de fevereiro 12 de 2011.

MUSOLIN, C.P.; PINARD, F.; CHARRIER, A.; KANGIRE, A.;HOOPEN, G. M.; KABOLE, C.; OGWANG, J.; BIEYSSE, D.; CILAS, C. Spatial and temporal analysis of coffee wilt disease caused by *Fusarium xylarioides* in *Coffea canephora*. **Euro Journal Plant Pathology**, n°.122, p. 451–460, 2008.

MYERS, J. C. Geoestatistical error management. Qualifying uncertainty for environmental sampling and mapping. New York, **Van Nostrand Reinhold**, 1997, 517p.

MITCHELL, R.; ALEXANDER, M. Chitin and the biological control of *Fusarium* diseases. **Plant Disease Reporter**, n°.45, p. 487-490. 1961.

NELSON, E.B.; CRAFT, C.M. Suppression of dollar spot on creeping bentgrass and annual bluegrass with compost-amended top dressings. **Plant Disease**, n°.76, p. 954-9958. 1992.

NEPOMUCENO, R. **O Brasil na rota das especiarias: o leva-e-traz de cheiros, as surpresas da nova terra**. Ed. José Olympio, Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 150f. Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.
PAZ, A.; TABOADA, M. T.; GOMEZ, M.J. Spatial variability in topsoil micronutrient contents in a one-hectare cropland plot. **Community Soil Science Plant Anal**, 3:479-503, 1996.

PEPPERTRADE, Brazilian Pepper Statistics. Disponível em: <<http://www.peppertrade.com.br/statsini.htm>> Acesso em 29 de janeiro de 2012.

PLANO ESTRATÉGICO DE DESENVOLVIMENTO DA AGRICULTURA CAPIXABA. NOVO PEDEAG 2007-2025. SECUNDINO, W. - Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aqüicultura e Pesca. 127p. Vitória, 2008.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendações de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo, 5ª aproximação**, Vitoria – ES, INCAPER, 2007, 305p.

PROGRAMA INTERLABORATORIAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ANÁLISE DE SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – PROFERT-MG. In: Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª. Aproximação. Viçosa – MG, Ed. UFV, 1999, Cap. 2, p. 3-12.

RAGHAVAN, G. S. V. et. Al. Effect of compaction and root disease on development and yeld of peas, **Canadian Agricultural Engineering**., n°. 24,p.31-34, 1982.

REICHARDT, K. **Processos de transferências no sistema-solo-planta-atmosfera**. Fundação Cargil, Campinas – SP, 1985, 445p.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.10, n.1, p.1-6, 1986.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do Solo. In: Física do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa – MG, Ed. UFV, 2010. P. 29-102.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; HOFFMANN, L. L. Controle Cultural de Doenças Radiculares. In: **Ecologia e Manejo de patógenos Radiculares em Solos Tropicais**. UFRPE, Imprensa Universitária, Recife – PE, 2005. 398 p.

REKAH, Y.; SHTIENBERG, D.; KATAN, J. Spatial distribution and temporal development of Fusarium crown and root rot of tomato and pathogen dissemination in field soil. **Phytopathology**, Davis, v.89, n. 9, p. 831-839, 1999.

RODRIGUES, R.S.; SILVA, R.R. A história sob o olhar da química: As especiarias e sua importância na alimentação humana. **Química Nova na Escola**, v.32, n.2, 85p., São Paulo, 2010.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geoestatics for the environmental sciences – GS+ Users Guide**. Plainwell, Gamma Desing Software, 2000. 152 p.

ROSSI, R. E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geoestatistcals interpolation for remote sensing. **Remote Sensing of Environmental**, v. 49, p. 32-40, 1994.

RUSSEL, E.W. **Soil conditions and plant growth**. 10.ed. London: Longman, 1973.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:115-122, 1998.

SANTANA, A. C.; SOUZA, R. F.; ALENCAR, M. I. R. de; COSTA, R. M. Q. da; MATTAR, P. N.; PINTO, W. S. **O comportamento do mercado de pimenta-do-reino no Brasil e no mundo**. (Estudos Setoriais, 2), BASA; FCAP, Belém 1995.

SERRANO L. A. P.; NOVAK L. R.; LIMA I. M. **Colheita e pós-colheita da pimenta-do-reino**. Vitória - ES. Incaper, 40p., 2008.

SILVA, B. S. O.; DRUMOND NETO, A. P.; SILVA, M. B. Pimenta-do-reino: Importância da defesa fitossanitária para a sustentabilidade da atividade na região Norte do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.1, n.1., p.84-88, Julho, 2011.

SILVA JÚNIOR, R. L. de. **Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade**. 2001. 132f. Dissertação Mestrado. ESALQ/USP. Piracicaba, 2001.

SOUZA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria Orgânica. In: **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Ed. UFV, 1ª. Ed, 2007, Viçosa – MG, Cap. VI, p. 275-374.

SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado) – UFRGS, Porto Alegre, 1992.

SOUZA, C.M; PIRES, F.R. **Práticas mecânicas de controle da erosão**. Brasília: SENAR, 2003.

STANGHELLINI, M. E., RASMUSSEN, S. L., KIM, D. H., AND RORABAUGH, P. A. 1996. Efficacy of nonionic surfactants in the control of zoospores spread of *Pythium aphanidermatum* in a recirculating hydroponic system. *Plant Dis.* 80:422-428.

STERNE, R. E.; ZENTMEYER, G. A.; KAUFMANN, M. R. The effect of matric and osmotic potential of soil on Phytophthora root disease of *Persea indica*, **Phytopatology**, n°. 67, p. 1491-1494, 1977a.

STERNE, R. E.; ZENTMEYER, G. A.; KAUFMANN, M. R. The influence of matric potential, soil texture, and soil amendment on root disease caused by *Phytophthora cinnamomi*, **Phytopatology**, n°.67, p. 1495-1500, 1977b.

TOLEDO-SOUZA, E. D. et al. Sistemas de cultivos, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivências de patógenos de solo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, DF, v, 43, n°. 8, p. 971-978, 2008.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p 45-94, 1985.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G.; SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 3, p. 668-674, 1987.

TREMACOLDI, C. R. Principais Pragas da Pimenta-do-Reino e Recomendações: doenças Fúngicas. In: I Workshop da Pimenta-do-Reino do Estado do Pará, 2009, Belém - PA. Palestras do I Workshop da Pimenta-do-Reino do Estado do Pará, 2009.

TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S. Doenças da pimenta. In: KIMATI, H. et al. (Eds.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. p. 459-462.

TRUJILLO, J. C. I.; GUTIERREZ-JEREZ, F.; BORGES-PÉREZ, A. Estudio sobre el mal de Panamá em las Islas Canarias. III. Relaciones entre parámetros físicos y químicos de los suelos. **Fruits**, n°.38, p. 759-764, 1983.

TSAI, S. M., BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V.L.M. **Efeito de fatores do solo**. In: *Microbiologia do Solo*. Campinas. Sociedade Brasileira do Solo. 1992. p.59-67.

TOLEDO-SOUZA, E. D.; SILVEIRA, P. M.; JUNIOR, M. L.; FILHO, A. C. C. Sistemas de cultivo, sucessões de culturas, densidade do solo e sobrevivência de patógenos de solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p.971-978, ago. 2008.

UCHÔA, C. N.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; MORAES, W. S. Modelagem geoestatística da sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 357-362, May/June, 2011.

VAN DE LANDE, H.L.; ZADOKS, J.C. Spatial patterns of spear rot in oil palm plantations in Suriname. **Plant Pathology**, v.48, n.2, p.189-201, 1999.

VANDERPLANK, J. E. In: **Spreat of plant pathogens in space and time**. Airbone microbes, Cambridge, University Press., p. 227-47.

VANDERPLANK, J. E. **Principles of plant infection**. New York, Academic Press., 1975.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VAUCHAUD, G.; NIELSEN, D. R. The use of cokriging with limited field observations. **Soil Science Society of American Journal**. Madison, v. 47, p. 175-184, 1983.

VENTURA, J. A; MILANEZ, D. Fusariose da pimenta do reino e seu controle. EMCAPA, **Circular Técnica**, n.2. Cariacica - ES, 1983.

VIERA, S. R.; D. R. NIELSEN; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 45, p. 1040-1048, 1981.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical propertiers. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. Mapeamento das precipitações máximas prováveis para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.1, p.93-98, 1991.

VIEIRA, S. R. Variabilidade especial de argila, silte e atributos químicos em parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas – SP. *Bragantia*, v. 56, n.1, 1997.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**. Campinas: IAC, 1998.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo., v. 1, p. 1-54, Viçosa – MG, 2000.

VOLAND, R. P.; EPSTEIN, A.H. Development of suppressiveness to diseases caused by *Rhizoctonia solani* in soils amended with composted and on composted manure. **Plant Disease**, n.º.78, p. 461-466.1994.

WARRICK, A. W.; ZHANG, R.; HARRIS, M.K.; MYERS, D. E. **Direct comparisons between kriging and other interpolation – Validation of flow and transport models for the unsaturated zone**. New Mexico, 1988. P. 254-326.

WHEELER, T.; RUSH, C. M. Soilborne diseases. In: Maloy, O. C. & Murray, T. D. Ed. *Encyclopedia of Plant Pathology*. New York. JohnWiley & Sons. 2001b. pp.935-947.

XIAO, C.L.; HAO, J.J.; SUBBARAO, K.V. Spatial patterns of microsclerotia of *Verticillium dahliae* in soil and *Verticillium* wilt of cauliflower. **Phytopathology**, Califórnia, v.87, n.9, p. 325-331, 1997.

ZAWOLEK, M. W. ZADOKS, J. C. Studies on focus development: An optimum for the dual dispersal of plant pathogens. *Phytopalgy*, n°. 82, p. 1288-1297.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Apostila didática, FCA/UNESP, junho, 2003. 25p.

ZUCOLOTO, M.; SOUZA LIMA, J. S.; COELHO, R. I. Uso da geoestatística na probabilidade de ocorrência do mal-do-panamá em banana prata anã. **Revista Facultad Nacional de Agronomía** – Medellín, v. 62, n°. 1, p. 4793-4796, 2009.