



AURIVAN SOARES DE FREITAS

**SIGATOKA-AMARELA DA BANANEIRA EM
FUNÇÃO DA NUTRIÇÃO MINERAL EM
SOLUÇÃO NUTRITIVA E DA DISTRIBUIÇÃO
ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO**

LAVRAS – MG

2013

AURIVAN SOARES DE FREITAS

**SIGATOKA-AMARELA DA BANANEIRA EM FUNÇÃO DA
NUTRIÇÃO MINERAL EM SOLUÇÃO NUTRITIVA E DA
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Edson Ampélio Pozza

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Freitas, Aurivan Soares de.

Sigatoka-amarela da bananeira em função da nutrição mineral em
solução nutritiva e da distribuição espacial da fertilidade do solo /
Aurivan Soares de Freitas. – Lavras: UFLA, 2013.

79 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Edson Ampélio Pozza.

Bibliografia.

1. Banana. 2. Nutrientes. 3. Geoestatística. 4. *Mycosphaerella
musicola*. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 632.4

AURIVAN SOARES DE FREITAS

**SIGATOKA-AMARELA DA BANANEIRA EM FUNÇÃO DA
NUTRIÇÃO MINERAL EM SOLUÇÃO NUTRITIVA E DA
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2013.

Dr. Hermínio Souza Rocha	Embrapa
Dr. Mário Sobral de Abreu	UFLA
Dr. Edson Ampélio Pozza	UFLA

Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

LAVRAS - MG
2013

À minha amada e querida esposa, Maria Gilmara, que sempre está presente e apoiando a minha vida.

Aos meus amáveis pais, Maria Lucia e Wilson.

Aos meus queridos irmãos, Aldinei, Auriene, Audione e Adriana.

Aos meus estimados avós, João e Severina.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por tudo...

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Edson Ampélio Pozza, pela orientação.

Aos coorientadores Herminio e Adélia, pela coorientação.

A todos os professores do Departamento de Fitopatologia da UFLA, especialmente à professora Antonia dos Reis Figueira, pelos conhecimentos e pela amizade oferecidos durante o curso.

Ao professor Gilberto Coelho, pelo apoio na realização do capítulo 3 desta dissertação.

Ao professor Rodrigo Villela, por ter feito o georreferenciamento da área.

Ao professor Paulo Estevão de Souza, por disponibilizar o carro para a condução do experimento.

Ao produtor José Ferreira, por ceder a área de estudo.

Ao amigo Rodrigo Valeriano, por ajudar a conduzir o experimento.

A todos os alunos do DFP, especialmente os amigos da Epidemiologia e do controle químico.

A todos os funcionários da UFLA, pelos serviços prestados.

Ao pós-doutorando Cléber Lázaro Rodas, pelas dicas sobre hidroponia.

Ao graduando Luciano, por ajudar a conduzir o experimento em hidroponia.

Aos meus vizinhos de Lavras, Mauro, Elza, Fernanda, Maurinho, Samuel e Paulo pela amizade.

Aos meus pais WILSON ALVES e MARIA LUCIA, pelo carinho, amor e pela sinceridade.

Aos meus irmãos ALDINEI, AURIENE, AUDIONE e ADRIANA, pela fiel amizade.

A minha sogra, SOLANGE, pela alegria e pelo exemplo de coragem.
Ao grande amor da minha vida, MARIA GILMARA, pela paciência, sinceridade e pelo companheirismo.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a concretização desse sonho.

RESUMO GERAL

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a Sigatoka-amarela em mudas de bananeira, cultivadas em solução nutritiva e sobre omissão de nutrientes, bem como verificar o padrão espacial dessa doença no campo, correlacionando-o com a nutrição mineral por meio da geoestatística. Em solução nutritiva, a omissão de nutrientes causou sintomas visuais de deficiências nas mudas e resultou nas maiores áreas abaixo da curva de progresso do número de lesões da Sigatoka-amarela para os tratamentos sem K e S. Observou-se também que não foi possível avaliar a severidade da doença até 60 dias após a inoculação, em função da deficiência nas folhas inoculadas. No campo, com uso da geoestatística, foi observado que o gride principal apresentou moderado grau de dependência espacial com alcance de 193,71 m e o subgride apresentou agregação ou reboleira, com forte grau de dependência espacial, com alcance de 6,58 m, ajustou-se o modelo exponencial para ambos os grades. Nos mapas de krigagem ordinária, foi possível constatar a relação positiva entre a severidade da Sigatoka-amarela com os teores de fósforo, nitrogênio, potássio e cálcio e negativa com teores de magnésio, cobre e manganês.

Palavras-chave: Sigatoka-amarela. Nutrição mineral. Banana. Geoestatística.

GENERAL ABSTRACT

This work was performed aiming at evaluating yellow Sigatoka in banana seedlings grown in nutrient solution and on nutrient omission, as well as to determining the spatial pattern of disease in the field, correlating it with balanced nutrition using geostatistical analyst. In nutrient solution, the nutrients omission caused visual deficiency symptoms in seedlings and reached the highest areas under the number of lesions of yellow Sigatoka curve progress for treatments without K and S. However, it was not possible to assess yellow Sigatoka severity until 60 days after inoculation due the extreme deficiency symptoms in inoculated leaves. Using geostatistics in the field work we found that the main grid showed a moderate degree of spatial dependence with a range of 193.71 m and the subgrid showed a strong degree of spatial dependence with a range of 6.58 m. Besides, we adjusted the exponential model for both grids and through ordinary kriging maps, it was possible to found a positive relationship between yellow Sigatoka severity with levels of phosphorus, nitrogen, potassium, and calcium and negative relationship with levels of magnesium, copper and manganese.

Keywords: Yellow Sigatoka. Mineral nutrition. Banana. Geostatistics.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 introdução geral	11
1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	A cultura da bananeira	13
2.2	A Sigatoka-amarela	14
2.3	Nutrição mineral da bananeira	17
2.4	A geoestatística	19
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	23
	REFERÊNCIAS	24
	CAPÍTULO 2 Severidade da Sigatoka-amarela da bananeira, em função da nutrição mineral em solução nutritiva	30
1	INTRODUÇÃO	32
2	MATERIAL E MÉTODOS	34
2.1	Obtenção e isolamento	34
2.2	Indução da esporulação	35
2.3	Avaliação da patogenicidade	35
2.4	Manutenção das mudas em solução nutritiva e inoculação do isolado	36
2.5	Avaliação do número de lesões	37
2.6	Análise estatística	38
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1	Deficiência nutricional	39
3.2	Área abaixo da curva de progresso do número de lesões (AACPNL)	39
4	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45
	CAPÍTULO 3 Distribuição espacial da Sigatoka-amarela e sua relação com a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas	49
1	INTRODUÇÃO	51
2	MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1	Localização do experimento	53
2.2	Seleção da área	53
2.3	Grides amostrais	53
2.4	Análise da fertilidade do solo	54
2.5	Análise nutricional das plantas	55
2.6	Avaliação da severidade da Sigatoka-amarela	55

2.7	Análise geoestatística	56
2.8	Análise da dependência espacial	57
2.9	Correlações	58
2.10	Registro das variáveis climáticas	58
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
3.1	Distribuição espacial da Sigatoka-amarela, da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas	59
3.2	Teores médios de nutrientes e correlação com a severidade da Sigatoka-amarela	69
3.3	Correlação entre a severidade da Sigatoka-amarela com as variáveis climáticas	70
4	CONCLUSÕES	73
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS	75

CAPÍTULO 1

Introdução geral

1 INTRODUÇÃO

A banana (*Musa* spp.) é uma das frutas mais consumidas no mundo, principalmente na forma fresca, em virtude de conter vitaminas, minerais, carboidratos, proteínas, gordura, baixo teor calórico e sabor agradável. É cultivada, principalmente, nos países tropicais. No Brasil, é cultivada em todas as regiões.

De acordo com os dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2013), a produção mundial de banana, em 2011, foi de 106,541 milhões de toneladas, das quais o Brasil produziu cerca de 7,02 milhões de toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013). Apesar disso, vale frisar que diversos fatores têm limitado e reduzido essa produção, entre os quais se destacam as doenças, as quais requerem controle, aumentam o custo do produto e reduzem sua qualidade final.

Dentre as doenças da cultura da bananeira, a Sigatoka-amarela, cujo agente etiológico é o fungo *Mycosphaerella musicola* Leach na fase perfeita ou sexuada e *Pseudocercospora musae* (Zimm.) na fase imperfeita ou assexuada, está presente em todas as regiões do país, ocasionando prejuízos advindos da morte precoce das folhas e da consequente redução no crescimento e no desenvolvimento da planta, com reflexos evidentes na produção. Duas estruturas de reprodução estão envolvidas na propagação da doença, o esporo sexuada, ou ascósporo e o assexuada, ou conídio (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2005). Essas estruturas têm papel fundamental na distribuição da doença dentro e fora da área de cultivo. Segundo Tollenaar (1995), aparentemente, a disseminação

para longas distâncias ocorre por meio dos ascósporos, ao passo que, a curtas distâncias, os conídios têm papel primordial, influenciando a distribuição no espaço e no tempo da Sigatoka-amarela.

Tem sido comprovado, em estudos, que o padrão de distribuição das doenças de plantas sofre variações no espaço e é dependente de vários fatores, como o tipo de cultivar e as condições ambientais, além da biologia do patógeno. Dentre os fatores ambientais, a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas têm sido comprovadamente importantes na predisposição das plantas à infecção dos patógenos. Dessa forma, observa-se que plantas adequadamente nutridas, geralmente, apresentam maior capacidade de estabelecer barreiras de resistência (HUBER, 2002). Em contrapartida, quando se encontram deficientes ou excessivamente nutridas, podem se tornar predispostas à infecção (POZZA; POZZA, 2012).

Para relacionar a distribuição espaço-temporal das doenças com fatores ambientais, como a fertilidade do solo, a epidemiologia moderna tem utilizado a geoestatística, uma técnica associada aos sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto e estatística, capaz de analisar e monitorar os processos ambientais e agrícolas (ALVES et al., 2012). Para analisar os dados, a geoestatística utiliza os semivariogramas e os mapas de krigagens gerados para estimar valores em locais não amostrados sem tendência e com variância mínima. Diante desses fatos, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

- a) avaliar o efeito da omissão de nutrientes na severidade da Sigatoka-amarela em mudas de bananeiras, cultivadas em solução nutritiva;
- b) estudar a distribuição espacial da Sigatoka-amarela e verificar sua relação com a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas, por meio da geoestatística.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da bananeira

A cultura da bananeira é de grande importância mundial, pois constitui uma das frutas mais consumidas no mundo, sendo superada, em quantidade, por arroz, trigo e milho. Por isso, pode-se afirmar que todas as camadas sociais da população consomem banana, não só como fonte de sais minerais e vitaminas, mas como fonte adicional de calorias na dieta alimentar (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013).

Segundo dados da FAO (2013), o Brasil foi o quinto maior produtor em 2011, respondendo por 6,87% do volume mundial. A primeira colocada foi a Índia, com 27,84% do total, seguida por China (10,05%), Equador (6,97%) e Filipinas (6,89%). No Brasil, dados do IBGE (2013) indicam que, em 2011, foram produzidas cerca de 7,02 milhões de toneladas, tendo os maiores estados produtores sido São Paulo, com 1,22 milhão de toneladas; Bahia, com 1,14 milhão de toneladas; Santa Catarina, com 665,70 mil toneladas; Minas Gerais, com 654,57 mil toneladas e Pará, com 537,72 mil toneladas.

Segundo Borges e Souza (2004), diversos fatores influenciam o crescimento e a produção da bananeira, os quais podem ser classificados como internos e externos. Os fatores internos estão relacionados com as características genéticas da variedade utilizada, enquanto os externos referem-se às condições edáficas, ambientais, agentes bióticos e à ação do homem interferindo nos fatores edáficos e climáticos. Como o foco deste trabalho é voltado para os fatores externos, estes receberão maior ênfase.

Segundo Borges e Souza (2004), a bananeira é uma planta que se adapta a diversos tipos de solos de preferência planos, profundos e com bom nível de aeração. Em relação às condições climáticas, esta cultura exige temperaturas

altas e uniformes, em torno de 28 °C, precipitação anual de 1.900 mm, alta luminosidade, vento leves, umidade relativa anual, em média, superior a 80% e altitudes que variam de zero a 1.000 m acima do nível do mar.

Em relação à nutrição, observa-se que a bananeira tem crescimento rápido, requer quantidades suficientes de nutrientes disponíveis no solo para seu desenvolvimento normal e, sendo assim, a adubação é um fator de grande importância e deve ser balanceada, para evitar distúrbios nutricionais e, conseqüentemente, redução de produtividade (SILVA; SILVA; PEREIRA, 2011). A utilização de solos com baixa fertilidade e a manutenção inadequada dos níveis de nutrientes durante o ciclo da cultura são alguns dos fatores responsáveis pela redução na produtividade (BORGES; OLIVEIRA; SOUZA, 1997). Esses fatores tendem a ser mais graves quando associados a outros, como, por exemplo, as doenças.

2.2 A Sigatoka-amarela

A Sigatoka-amarela da bananeira tem como agente etiológico o fungo *Mycosphaerella musicola* Leach, em sua fase perfeita ou sexuada e *Pseudocercospora musae* (Zimm.) Deighton, que corresponde à fase imperfeita ou assexuada (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2005). A doença foi observada, pela primeira vez, próximo a Biotenzorg, em Java, por Zimmermann, em 1902. No entanto, os primeiros prejuízos de importância foram relatados nas Ilhas Fiji, vale de Sigatoka, em 1912, resultando no nome popular da doença (PHILPOTT; KNOWLES, 1913).

No Brasil, a doença foi constatada, inicialmente, no estado do Amazonas, em 1944, estendendo-se, posteriormente, para todos os estados brasileiros (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2005). Por estar presente nas grandes regiões produtoras, como é o caso do nordeste, do sudeste e do sul, a

doença continua sendo um grande problema para a bananicultura brasileira, em relação à Sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet Deighton) (CORDEIRO; MATOS, 2005). A explicação para isso deve-se à baixa adaptação da Sigatoka-negra à ampla variação climática nas regiões produtoras de banana no Brasil, com temperaturas mais amenas, que são ideais para a Sigatoka-amarela, mas não para aquela (ROCHA, 2008).

Nas manchas foliares ou manchas de Sigatoka em bananeiras são produzidos três tipos de frutificações: esporodóquios, espermogônios e peritécios (STOVER, 1972). O processo sexuado no gênero *Mycosphaerella* envolve a formação de espermogônios, que produzem gametas masculinos, as espermásias, que são o órgão sexual feminino e uma hifa espiralada, que é formada no interior de jovens ascocarpos, denominadas de tricogines (WARDLAW, 1961). Sob microscópio de luz, os espermogônios são pequenas frutificações negras em formato de frascos, imersas, que surgem no interior de uma base estromática de velhas frutificações conidiais ou independentemente. As espermásias, que são formadas em longas cadeias, são bastante minúsculas, oblongas e hialinas, com formato semelhante ao de bactérias e podem ser visualizadas sendo expelidas a partir de um ostíolo ou poro no ápice dos espermogônios (SIMMONDS, 1933). Portanto, estão envolvidos dois tipos de esporos capazes de infectar. São eles os ascósporos, que correspondem à fase sexual e os conídios, a fase assexual (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2005).

A disseminação da Sigatoka-amarela a longas distâncias, aparentemente, ocorre por meio dos ascósporos e a curtas distâncias, por meio dos conídios (TOLLENAAR, 1995). Os principais agentes envolvidos na disseminação a longa distância são o vento, os materiais propagativos e as folhas infectadas, ao passo que a curta distância, a água da chuva e o orvalho estão mais envolvidos (VENTURA; HINZ, 2002).

As infecções ocorrem através dos estômatos das folhas jovens, incluindo a folha zero (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2005). Os sintomas iniciais são pequenas estrias de cor verde-clara, com, aproximadamente, 1 mm de comprimento, visíveis na superfície superior das folhas. Essas estrias crescem no sentido das nervuras secundárias, expandindo-se e adquirindo forma elíptica, podendo ocorrer a formação de um halo amarelo ao redor delas. O centro da lesão torna-se necrótico e acinzentado. As lesões adquirem formato oval e podem coalescer e afetar grandes áreas da folha (VENTURA; HINZ, 2002).

Stover (1972) classificou o desenvolvimento das lesões em cinco estágios: I - pintas amareladas, com menos de 1 mm de comprimento, aparecem na superfície foliar; II - as pintas evoluem para estrias de coloração amarelada, medindo, aproximadamente, 3-4 mm por 1 mm de largura; III - as estrias tornam-se mais largas e compridas, com margens não bem definidas que se misturam com a coloração normal das folhas e, ao final, tornam-se marrom-claras; IV - manchas com contorno bem definido, centro marrom e halo amarelado ao redor da lesão. Neste estágio, inicia-se a produção de esporodóquios e pode haver conídios presentes nas lesões e V - as manchas completamente desenvolvidas apresentam o centro com coloração cinza e bordas escuras a preta. Em alguns casos, existe a formação de halo clorótico entre a lesão e o tecido normal da folha. Com o avanço das lesões, o índice de área foliar verde da planta é reduzido, o que reflete em menor número de frutos por cacho, menor número de pencas, menor tamanho de fruto e maturação precoce dos frutos no campo ou em pós-colheita. Há estimativa de que as perdas atinjam 50% da produção, mas, dependendo do microclima, poderão chegar aos 100% (CORDEIRO; MATOS, 2000). Devido a esse conjunto de lesões, a área fotossintética é reduzida, sendo necessário, então, o controle da doença.

A Sigatoka-amarela é uma doença de difícil controle. Recomenda-se utilizar um conjunto de medidas, as quais envolvem, principalmente, o controle

químico e o uso de variedades resistentes. O controle químico, apesar da sua simplicidade e eficiência, tem como consequências maiores riscos, como contaminação ambiental e animal, além de onerar o preço dos produtos; já o controle genético, apesar de ser eficiente e ambientalmente ecológico, nem sempre agrada o consumidor, pois retira do mercado as variedades preferidas. Para reverter esse impasse, outras medidas, como o uso de plantas adequadamente nutridas, têm sido alvo de recentes pesquisas. Em plantas de bananeira adequadamente nutridas, verifica-se uma rápida emissão de folhas, ocorrendo, nesta condição, o aparecimento de folhas em intervalos menores, além da melhoria nas barreiras de resistência física e química, pela melhor expressão da resistência, principalmente a horizontal. Verifica-se, nessa situação, o que se pode chamar de compensação das perdas provocadas pela doença com a manutenção de uma área foliar fotossintetizante adequada às necessidades da planta. Em plantas mal nutridas, o lançamento de folhas é lento e, conseqüentemente, as lesões serão visualizadas em folhas cada vez mais novas (CORDEIRO; MATOS, 2005).

2.3 Nutrição mineral da bananeira

A bananeira tem crescimento rápido e requer, para seu crescimento, desenvolvimento e produção, quantidades adequadas de água e nutrientes prontamente disponíveis (BORGES et al., 2006). Entretanto, nas áreas de produção de banana no Brasil, nem sempre essas condições são encontradas. Silva e Rodrigues (2001), avaliando a situação do estado nutricional das bananeiras irrigadas da região norte de Minas Gerais, observaram que 97% das amostras avaliadas apresentaram alguma deficiência, sendo 36% de macronutrientes e 95% de micronutrientes.

Dentre os macronutrientes, K e N são os absorvidos em maiores quantidades pela bananeira (SANTOS et al., 2009). O K atua como ativador enzimático e participa de processos como abertura e fechamento de estômatos, fotossíntese, transporte de carboidratos e respiração (SHIMAZAKI et al., 2007). Além dessas funções, participa do balanço de água na planta, na produção de cachos, de pencas e na qualidade dos frutos (MELO et al., 2010). Já o N é responsável pelo crescimento vegetativo nos estádios iniciais da cultura e, além disso, influencia positivamente o número de pencas, a emissão e o crescimento dos rebentos, além da quantidade de matéria seca total (SANTOS et al., 2009). Em relação aos micronutrientes, o B destaca-se, pois suas funções estão ligadas ao crescimento da gema apical e das laterais, à formação de raízes, à emissão da inflorescência e ao enchimento dos frutos (NOMURA et al., 2011). Quanto aos demais nutrientes, mesmo sendo absorvidos em menores quantidades, deve-se deixar claro que os mesmos exercem funções essenciais durante o crescimento e o desenvolvimento da planta (ALVES et al., 2010; DAMATTO JÚNIOR et al., 2011; SILVA; SILVA; PEREIRA, 2011).

Como descrito anteriormente, em diversos estudos há relatos dos efeitos da nutrição mineral sobre o crescimento e a produtividade, principalmente no que diz respeito à função dos nutrientes no metabolismo das plantas. Contudo, a nutrição mineral pode também ter um efeito secundário sobre a resistência de plantas, tanto ao ataque de pragas como à infecção por patógenos (MARSCHNER, 1995). Segundo Lima et al. (2010), o uso da nutrição equilibrada pode contribuir para reduzir a severidade das doenças e diminuir o número de pulverizações com fungicidas. Entre os fatores ambientais, os nutrientes minerais podem ser manipulados com relativa facilidade (POZZA et al., 2007).

Dada a importância socioeconômica da cultura da bananeira e a relação entre a severidade das doenças e o estado nutricional das plantas, ambos

mencionados nos itens anteriores, percebe-se que trabalhos dessa natureza ainda são poucos e, mesmo assim, a maioria refere-se ao mal-do-panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* W. C. Snyder & H. N. Hansen) (FURTADO et al., 2009; LOPES et al., 2008; MAIA; SILVA, 2011). Um trabalho nessa linha foi o desenvolvido por Furtado et al. (2009) que, estudando a relação entre a ocorrência do mal-do-panamá e o teor de nutrientes no solo e nas folhas de bananeiras cultivadas na região do Vale do Ribeira, SP, constataram que as áreas onde estavam presentes as plantas sintomáticas correspondiam às áreas nas quais a quantidade de Ca, Mg, PO_4^{-3} e S no solo e de N, K e S nas folhas era baixa. Uchôa et al. (2011), utilizando a geoestatística para caracterizar a variabilidade espacial da Sigatoka-negra com a fertilidade do solo no município de Registro, SP, verificaram que áreas com níveis mais altos de K apresentaram menor severidade e, nas áreas com maiores teores de enxofre, foi verificada elevada severidade da doença. Em relação à Sigatoka-amarela, Uchôa et al. (2008), avaliando a relação entre a severidade da doença e o estado nutricional das bananeiras cultivadas na Zona da Mata de Minas Gerais, observaram que plantas com baixas concentrações de K e Mg eram as que tinham maior severidade da doença.

2.4 A geoestatística

A geoestatística surgiu na África do Sul, quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não era possível encontrar sentido nas variâncias se não levasse em consideração a distância entre as unidades amostrais. Matheron (1963), com base nestas observações, desenvolveu a teoria das variáveis regionalizadas, que contém os fundamentos da geoestatística. Como cita Yamamoto (2001), uma variável regionalizada é qualquer função numérica com uma distribuição espacial que varia de um lugar

para outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função determinística.

A geoestatística é baseada, fundamentalmente, em apenas dois conceitos, o semivariograma e a krigagem. O primeiro tem o papel de descrever a estrutura da variabilidade espacial e o segundo, a função de prever, sem tendência e com variância mínima, os valores não medidos (ALVES et al., 2009). Segundo Silva et al. (2003), o semivariograma apresenta três parâmetros importantes, que são:

- a) o efeito pepita (C_0), que se refere ao valor da semivariância para a distância zero e representa o componente da variação ao acaso;
- b) o patamar ($C_0 + C_1$), que é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante (é o máximo da semivariância). O patamar é atingido quando a variância dos dados torna-se constante com as distâncias entre as amostras e esse parâmetro permite determinar a distância limite entre a dependência e a independência entre as amostras;
- c) o alcance (a), que é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, é considerado o limite da dependência espacial da grandeza medida.

Após a seleção do semivariograma da variável em estudo e havendo dependência espacial, podem-se interpolar valores em qualquer posição na área estudada, sem tendência e com variância mínima (ALVES et al., 2006; SILVA et al., 2003). O interpolador mais utilizado tem sido a krigagem que, segundo Landim (2006), é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma.

A geoestatística tem sido uma solução de apoio à análise e ao monitoramento de componentes dos sistemas ambientais e agrícolas, a fim de se caracterizar causas e efeitos de variações do ambiente, hospedeiro, patógeno e manejo, assim como o resultado da interação entre a doença e o estado nutricional do hospedeiro (ALVES et al., 2012). A interação entre o estado nutricional das plantas sobre a expressão da doença por meio da geoestatística tem sido componente de estudo nos últimos anos. Pinheiro et al. (2008), estudando a influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematoide de cisto da soja (NCS), observaram, por meio dos mapas de krigagem ordinária, que houve alta correspondência entre as variáveis juvenis de segundo estágio, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos por cisto e os teores de Ca no solo. As áreas em que os teores de Ca foram maiores coincidiram visualmente no mapa com os valores altos dessas variáveis. Para os teores de K houve somente correlação para a variável cisto viável no solo. A falta de correlação entre a maioria das variáveis do NCS com os teores de K foi atribuída, pelos autores, ao fato de o excesso de Ca acentuar uma eventual carência de K no solo.

Carvalho (2008), investigando a relação entre a severidade das doenças de final de ciclo da soja (DFCS) e a fertilidade do solo, constatou, por mapas de krigagem ordinária, um padrão de distribuição agregado e relação positiva entre os teores de Ca e negativa com os teores de P e K. Áreas com teores elevados de P e K apresentaram menor severidade das DFCS e áreas com teores elevados de Ca coincidiram com as maiores severidades das DFCS. O autor justificou que as maiores severidades nas áreas com teores elevados de Ca foi devido ao desequilíbrio nutricional entre Ca e K.

Uchôa et al. (2011), utilizando a geoestatística para caracterizar a variabilidade espacial da Sigatoka-negra com a fertilidade do solo, verificaram forte dependência espacial da severidade da doença com alcance de 25,26 m e, por meio dos mapas de krigagem ordinária, observaram um padrão agregado e

relação negativa da severidade da doença com os teores de potássio e positiva com teores de enxofre no solo. Áreas com níveis mais altos de K apresentaram menor severidade e, nas áreas com maiores teores de enxofre, foi verificada elevada severidade da doença.

Portanto, assim como foi possível caracterizar a relação entre a nutrição das plantas e a intensidade da doença em cada um desses patossistemas, inclusive a Sigatoka-negra, que é biologicamente semelhante à Sigatoka-amarela, espera-se que, neste trabalho, também seja possível. Além disso, acredita-se que as novas descobertas poderão ser utilizadas como medidas complementares no manejo da doença.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A Sigatoka-amarela, por ser endêmica em todas as Unidades da Federação e ocasionar perdas significativas na produção em todo o território nacional, continua sendo umas das principais doenças da cultura da bananeira. Apesar disso, ultimamente, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos com esse patossistema, principalmente no que diz respeito ao manejo da doença. Então, já que a atual pressão da sociedade é por alimentos ambientalmente ecológicos e com menos resíduos químicos, faz-se necessário o desenvolvimento de alternativas modernas para se conviver com as doenças. Nesse contexto, a relação entre o estado nutricional das plantas e a intensidade das doenças tem sido destaque em várias culturas. Entretanto, em alguns patossistemas, como é caso da Sigatoka-amarela na bananeira, poucos estudos foram desenvolvidos para este fim. Além disso, tecnologias modernas, como é caso da geoestatística, têm sido aplicadas na fitopatologia e na epidemiologia, para analisar padrões espaciais e para gerar hipóteses sobre aspectos ecológicos e epidemiológicos. Dessa forma, objetivou-se investigar o comportamento da Sigatoka-amarela em mudas de bananeira, cultivadas em solução nutritiva e sobre omissão de nutrientes, bem como verificar o comportamento espacial dessa doença no campo, correlacionando-o com a nutrição mineral por meio da geoestatística.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. S. et al. Crescimento e produtividade da bananeira cv. Grande Naine sob diferentes combinações de nitrato de cálcio e ureia. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 1, p. 125-131, 2010.

_____. 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.

_____. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: SIMPÓSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 12., 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2012. 1 CD-ROM.

_____. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Heidelberg, v. 82, n. 2, p. 137-148, Feb. 2009.

BORGES, A. L. et al. **Fertirrigação da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 8 p. (Circular Técnica, 84).

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. S. Solos, nutrição e adubação. In: _____. **A cultura da banana aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Cruz das Almas: EMBRAPA/CNPMF, 1997. p. 197-260.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Exigências edafoclimáticas. In: _____. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2004. p. 15-23.

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**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. Doenças fúngicas e bacterianas. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Ed.). **Banana: fitossanidade**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura; Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 36-65.

_____. Expressão da resistência de variedades de banana à Sigatoka-amarela. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 534-535, set./out. 2005.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P.; KIMATI, H. Doenças da bananeira. In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 99-117.

DAMATTO JÚNIOR, E. R. et al. Alterações nos teores nutricionais foliares de bananeira 'prata-anã' adubada com composto orgânico em cinco ciclos de produção. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 692-698, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de produção da bananeira irrigada**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 24 fev. 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Produção de banana**. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: 23 fev. 2013.

FURTADO, E. L. et al. Relações entre ocorrência do Mal-de-Panama em bananeira da cv. Nanicão e nutrientes no solo e nas folhas. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 201-215, 2009.

HUBER, D. M. Relationship between mineral nutrition of plants and disease incidence. In: WORKSHOP RELAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO DE PLANTAS E INCIDÊNCIA DE DOENÇAS, 1., 2002, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFÓS, 2002. 1 CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal, 2009**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 24 fev. 2013.

KRIGE, D. G. **A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand**. 1951. 139 f. Thesis (Ph.D. in Science) - University of the Witwatersrand, Johannesburg, 1951.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terræ Didática**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 33-35, 2006.

LIMA, L. M. et al. Relação nitrogênio/potássio com a mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 223-228, 2010.

LOPES, B. L. et al. Influência de fatores químicos do solo sobre incidência do mal-do-Panamá na bananeira cv. Pacovan na Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 100-109, 2008.

MAIA, A. M.; SILVA, C. M. Efeito da adubação no controle do mal-do-Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) na cultura da banana. **Campo Digit@l**, Campo Mourão, v. 6, n. 1, p. 7-13, 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, n. 5, p. 1246-1266, 1963.

MELO, A. S. et al. Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 417-426, July/Sept. 2010.

NOMURA, E. S. et al. Aplicação de boro em bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 608-617, jun. 2011.

PHILPOTT, J. C.; KNOWLES, C. H. **Report on a visit to Sigatoka**. Fiji: Pamphlet of the Department of Agriculture, 1913.

PINHEIRO, J. B. et al. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 32, n. 4, p. 270-278, 2008.

POZZA, A. A. A. et al. Efeito do tipo de substrato e da presença de adubação suplementar sobre o crescimento vegetativo, nutrição mineral, custo de produção e intensidade de cercosporiose em mudas de cafeeiro formadas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 685-692, maio/jun. 2007.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: SIMPÓSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 12., 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2012. 1 CD-ROM.

ROCHA, H. S. **Epidemiologia da Sigatoka amarela e análise filogenética de diferentes isolados brasileiros por marcadores de microsatélite**. 2008. 125 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SANTOS, V. P. et al. Fertirrigação da bananeira cv. Prata-Anã com N e K em um argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 567-573, 2009.

SHIMAZAKI, K. et al. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p. 219-247, 2007.

SILVA, E. B.; RODRIGUES, M. G. V. Levantamento nutricional dos bananais da região norte de minas gerais pela análise foliar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 695-698, dez. 2001.

SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; PEREIRA, R. D. Adubação fosfatada em mudas de bananeira 'Prata anã'(AAB), cultivadas em dois Latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 2, p. 238-242, mar./abr. 2011.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, nov./dez. 2003.

SIMMONDS, J. H. **Banana leaf spot**. Queensland: Department of Agriculture and Stock Division of Entomology and Plant Pathology, 1933. (Pamphlet, 6).

STOVER, R. H. **Banana, plantain and abaca disease**. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1972. 316 p.

TOLLENAAR, D. The controlo f Sigatoka (Banana Leaf Spot Disease) by mist blowing with Banacobre-Snadoz. **Netherlands Journal of Agricultural Sciences**, Wageningen, v. 3, n. 1, p. 70-83, 1995.

UCHÔA, C. N. et al. Modelagem geoestatística da Sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 357-362, 2011.

_____. Relação da nutrição mineral com a severidade da Sigatoka-amarela em bananeira "Nanicão" na Zona da Mata em Minas Gerais. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, p. S183-S183, 2008. Supplement.

VENTURA, J. A.; HINS, R. H. Controle das doenças da bananeira. In: ZAMBOLIM, L. et al. (Ed.). **Controle de doenças de plantas fruteiras**. Viçosa, MG: UFV, 2002. v. 2, p. 839-938.

WARDLAW, C. W. Leaf spot: Sigatoka disease. In: _____. **Banana diseases: including plantains and abaca**. Edinburgh: Longman, 1961. p. 314-341.

YAMAMOTO, J. K. (Org.). **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo: EDUSP, 2001. v. 1, 226 p.

CAPÍTULO 2

SEVERIDADE DA SIGATOKA-AMARELA DA BANANEIRA, EM FUNÇÃO DA NUTRIÇÃO MINERAL EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da omissão dos macronutrientes e do boro na severidade da Sigatoka-amarela em mudas de bananeiras cultivadas em solução nutritiva. O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, sendo completo (N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes) e com omissão individual de N, P, K, Ca, Mg, S e B. Após 28 dias sobre os tratamentos, duas folhas de cada planta, previamente identificadas, foram inoculadas com uma suspensão de $2 \cdot 10^4$ conídios ml^{-1} na superfície abaxial das folhas. A omissão de nutrientes causou sintomas visuais de deficiências nas mudas e resultou nas maiores áreas abaixo da curva de progresso do número de lesões da Sigatoka-amarela para os tratamentos sem K e S. Observou-se também que não foi possível avaliar a severidade da doença até 60 dias após a inoculação, em função da deficiência nas folhas inoculadas.

Palavras-chave: Sigatoka-amarela. Nutrição mineral. Bananeira. Solução nutritiva.

ABSTRACT

This work was performed aiming at evaluating the effect of omission of macronutrients and boron on yellow Sigatoka severity in banana seedlings grown in nutrient solution. The experiment was carried out in a completely randomized design with four replications and eight treatments being composed by (N, P, K, Ca, Mg, S, and micronutrients), as well as with single omission of N, P, K, Ca, Mg, S, and B. After 28 days under treatments, two leaves previously identified of each plant were inoculated with a suspension of conidia $2 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$ in the abaxial leaf surfaces. The nutrient omissions caused visual deficiency symptoms in seedlings and reached the highest areas under the number of lesions of yellow Sigatoka curve progress for treatments without K and S. However, it was not possible to assess yellow Sigatoka severity until 60 days after inoculation due the extreme deficiency symptoms in inoculated leaves.

Keywords: Yellow Sigatoka. Mineral nutrition. Banana. Nutrient solution.

1 INTRODUÇÃO

A bananeira (*Musa spp.*) é uma das fruteiras mais cultivadas nos países tropicais e seu fruto, um dos mais consumidos no mundo. No Brasil, a cultura é explorada de norte a sul e constitui importante fonte de renda para muitos brasileiros. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2013), em 2011, os maiores produtores foram os estados de São Paulo, com 1,22 milhão de toneladas, Bahia, Santa Catarina, Minas Gerais e Pará. Apesar de esses dados serem animadores, vale resaltar que vários fatores limitam ou reduzem essa produção, entre eles as doenças.

A Sigatoka-amarela, cujo agente etiológico é o fungo *Mycosphaerella musicola* Leach (Stat. Conid. *Cercospora musae* Zimm.), é uma das mais importantes doenças da bananicultura, pois sua ocorrência está generalizada por diversas regiões produtoras, ocasionando prejuízos advindos da morte precoce das folhas e a consequente redução no crescimento e no desenvolvimento da planta, com reflexos evidentes na produção.

Há estimativas de que as perdas atinjam 50% da produção, mas, dependendo do microclima, podem alcançar os 100% (CORDEIRO; MATOS, 2005). Segundo Cordeiro, Matos e Kimati (2005), esse patossistema é de difícil controle. Para estes autores, a melhor forma de conviver com a doença é fazer uso de um conjunto de medidas, dentre as quais a manutenção das plantas adequadamente nutridas, pois, assim, verifica-se rápida emissão de folhas, em intervalos menores, além de ocorrer melhoria nas barreiras de resistência física e química, ou seja, melhor expressão da resistência, principalmente a horizontal.

Além disso, a bananeira é uma planta de crescimento rápido que necessita, para seu crescimento, desenvolvimento e produção, de concentração adequada de nutrientes disponíveis no solo, principalmente K e N (SANTOS et al., 2009; SILVA; SILVA; PEREIRA, 2011). Em virtude disso, muitos trabalhos

descrevem os efeitos da nutrição mineral sobre o crescimento e a produtividade da bananeira, entretanto, poucos evidenciam a relação entre a intensidade das doenças e a nutrição mineral. Segundo Lima et al. (2010) e Pozza e Pozza (2012), são encontrados, na literatura, diversos relatos envolvendo a nutrição na redução da intensidade das doenças em diversas culturas. Uchôa et al. (2008), avaliando a relação entre a severidade da Sigatoka-amarela e o estado nutricional de bananeiras cultivadas na Zona da Mata em Minas Gerais, observaram que plantas com baixas concentrações de K e Mg eram as que tinham maior severidade da doença.

Trabalhos envolvendo a relação entre a nutrição e as doenças de plantas são complexos, devido à dificuldade de se isolar todos os fatores. Assim, estudos em solução nutritiva permitem isolar o efeito dos nutrientes, possibilitando o estudo da relação entre o efeito dos nutrientes e a intensidade da doença (LIMA et al., 2010). Considerado a escassez de trabalhos na literatura envolvendo a Sigatoka-amarela e o estado nutricional da bananeira em solução nutritiva, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da omissão dos macronutrientes e do boro sobre a severidade desta doença em mudas de bananeiras, cultivadas em solução nutritiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, no período de setembro de 2012 a janeiro de 2013, passando pelas etapas descritas a seguir.

2.1 Obtenção e isolamento

Seguindo a metodologia proposta por Cordeiro, Rocha e Araújo (2011), foram coletadas folhas de bananeira exibindo sintomas de Sigatoka-amarela, em Lavras, MG. As folhas coletadas foram transportadas para o laboratório, onde foram lavadas em água de torneira, com uso de esponja macia e detergente, e secas em papel toalha. Em seguida, foram extraídos pequenos retângulos correspondentes à lesão (cerca de 10 mm x 5 mm), os quais foram submetidos à desinfestação superficial em álcool 70%, durante um minuto, seguida de imersão em hipoclorito de sódio a 1%, durante 5 minutos, finalizado com a tríplice lavagem em água destilada e autoclavada. Após a desinfestação, os pequenos pedaços foram transferidos para placas de Petri, contendo meio ágar-água a 2%, dispostos em linhas paralelas nas placas, com a superfície superior voltada para cima. Logo em seguida, estas foram incubadas em estufa incubadora (BOD) com temperatura ajustada para 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. Após 48 horas, as placas foram abertas sobre microscópio estereoscópio e procedeu-se à captura dos conídios com o auxílio de um estilete de ponta fina e flambado. Depois da captura, os conídios foram transferidos para placas contendo meio de malte (20 g de extrato de malte, 20 g ágar e 1000 ml de água destilada), as quais foram incubadas em BOD, a 25 °C, e fotoperíodo de 12 horas. Após o crescimento das colônias, que ocorreu em torno de 25 dias, procedeu-se à multiplicação e à esporulação do isolado.

2.2 Indução da esporulação

A esporulação foi obtida seguindo a metodologia de Souza et al. (2011), com algumas modificações. Em câmara de fluxo laminar, foi transferida uma proporção de três colônias fragmentadas do isolado por Erlenmeyer com capacidade para 50 ml e contendo 30 ml de meio V8 líquido (100 ml de suco V8, 1 g de CaCO_3 e 900 ml de água destilada). Em seguida, os Erlenmeyers foram mantidos sobre agitação constante (120 rpm), durante seis dias. Passado esse período, o conteúdo de cada Erlenmeyer foi distribuído em duas placas de Petri contendo meio V8 sólido (100 ml de suco V8, 20 g ágar, 1 g de CaCO_3 e 900 ml de água destilada), as quais foram mantidas abertas dentro de BOD, com temperatura ajustada para 25 °C e fotoperíodo de 24 horas. Após dois dias de incubação, adicionaram-se 10 ml de água destilada esterelizada em cada placa e procedeu-se à liberação dos conídios com escova macia. Decorridos 15 minutos, a suspensão obtida foi filtrada e quantificada a concentração necessária.

2.3 Avaliação da patogenicidade

Para confirmar a patogenicidade, mudas micropropagadas da variedade Grande Naine foram inoculadas com uma suspensão de $4 \cdot 10^4$ conídios ml^{-1} por atomização, na superfície abaxial das folhas. Posteriormente, foram incubadas em câmara úmida, promovida por um atomizador, durante 48 horas, dentro de casa de vegetação. Após 25 dias, observaram-se os sintomas característicos da doença.

2.4 Manutenção das mudas em solução nutritiva e inoculação do isolado

Foram utilizadas mudas de bananeira micropropagadas da variedade Grande Naine, por ser ela altamente susceptível à Sigatoka-amarela. As mudas foram mantidas em substrato Plant Max, dentro de casa de vegetação. Após a emissão a 4^a folha, as mudas foram destorroadas e transferidas para vasos plásticos com capacidade para seis litros, contendo solução de Hoagland e Arnon (1950), com os respectivos tratamentos (Tabela 1), recebendo aeração constante promovida por compressor. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, os quais consistiram de: solução completa (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes), omissão de nitrogênio (-N), omissão de fósforo (-P), omissão de potássio (-K), omissão de cálcio (-Ca), omissão de magnésio (-Mg), omissão de enxofre (-S) e omissão de boro (-B). Monitorou-se o pH da solução, mantendo-o entre 5,0 e 5,5 com a adição de HCl 0,1 mol/L ou NaOH 0,1 mol/L. Quando necessário, o volume dos vasos foi completado com água deionizada. A troca da solução nutritiva foi realizada nos diferentes tratamentos, quando a condutividade elétrica atingiu 30% do valor inicial.

Tabela 1 Composição química da solução nutritiva ($\text{ml} \cdot \text{L}^{-1}$) de Hoagland e Arnon (1950), utilizada no experimento. Lavras, MG, 2013

Solução estoque	Tratamentos							
	Completa	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B
KH_2PO_4	1	1	0,1	-	1	1	1	1
KNO_3	5	-	5	0,6	5	3	3	5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	5	-	5	5	-	4	4	5
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2	2	2	2	2	-	-	2
KCl	-	5	1	-	-	2	2	-
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	-	5	-	-	0,5	1	1	-
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	-	-	-	1	-	-	-	-
NH_4NO_3	-	1,5	-	2	5	-	-	-
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	-	-	-	-	2	0,2	-
$\text{MgNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	-	-	-	-	-	0,2	2	-
Solução de Micro*	1	1	1	1	1	1	1	-
Solução Micro-B**	-	-	-	-	-	-	-	1
Solução de FeEDTA***	1	1	1	1	1	1	1	1

*Composição química da solução de Micro: 2,86 g de H_3BO_3 ; 1,81 g de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,10 g de ZnCl_2 ; 0,04 g de CuCl_2 e; 0,02 g de $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, por litro de solução. ** Composição química da solução de Micro-B: igual à solução de Micro, com exceção do H_3BO_3 . *** Solução de FeEDTA: 24,9 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 33,2g de EDTA-Na e; 89 mL de NaOH 1N, por um litro de solução

Após 28 dias nos tratamentos, as folhas zero e 1 das mudas foram identificadas e inoculadas com suspensão de $2 \cdot 10^4$ conídios ml^{-1} na superfície abaxial, até o ponto de escorrimento. Logo em seguida, elas foram mantidas em câmara úmida com alta umidade relativa, promovida por umidificador ultrassônico com ionizador, marca G.Tech, modelo Allergy Free Dual, durante 48 horas, dentro de casa de vegetação.

2.5 Avaliação do número de lesões

Com base na metodologia descrita por Cordeiro (1997), foi utilizado um gabarito, com área retangular de 50 cm^2 , que serviu para amostrar cada um dos

quatro quadrantes na superfície superior do limbo foliar, nos quais se contava o número de lesões. A posição dos quadrantes seguiu a seguinte ordenação:

- a) Q1: quadrante da base, lado esquerdo do limbo foliar;
- b) Q2: quadrante apical, lado esquerdo do limbo foliar;
- c) Q3: quadrante da base, lado direito do limbo foliar;
- d) Q4: quadrante apical, lado direito do limbo foliar.

Após quantificar o número de lesões em cada quadrante, calculou-se a média dos quatro quadrantes e aplicou-se a fórmula da área abaixo da curva de progresso do número de lesões (AACPNL) (SHANER; FINNEY, 1977):

$$AACPNL = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + (y_i + 1)}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

em que

AACPNL = área abaixo da curva de progresso do número de lesões;

y_i = proporção da doença na i -ésima observação;

t_i = tempo, em dias, na i -ésima observação;

n = número total de observações.

2.6 Análise estatística

Os dados da AACPNL foram submetidos à análise de variância. As variáveis significativas no teste F foram comparadas, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Para a realização dos testes estatísticos foi utilizado o programa SISVAR, versão 5.1 (Build 72) (FERREIRA, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Deficiência nutricional

A omissão dos nutrientes, em cada respectivo tratamento, causou alterações morfológicas manifestadas em sintomas visuais de deficiências. Os seguintes sintomas foram observados em cada tratamento com o nutriente omitido: omissão de nitrogênio (N) - clorose generalizada de folhas e caules e redução acentuada no crescimento; omissão de fósforo (P) - mudas com crescimento atrofiado, raízes pouco desenvolvidas e limbo quebrado; omissão de potássio (K) - amarelecimento rápido e murchamento precoce das folhas mais velhas; omissão de cálcio (Ca) - cloroses descontínuas nos bordos das folhas mais novas, diminuição do tamanho da folha e engrossamento da nervura; omissão de magnésio (Mg) - amarelecimento paralelo às margens do limbo foliar das folhas mais velhas; omissão de enxofre (S) - clorose generalizada do limbo das folhas mais novas e omissão de boro (B) - folhas deformadas e com listras amarelo-brancas paralelas à nervura principal da folha. As mudas do tratamento completo apresentaram crescimento vigoroso e ausência de sintomas de deficiências. Os sintomas observados nesses tratamentos estão de acordo com os relatados por Borges, Oliveira e Souza (1997).

3.2 Área abaixo da curva de progresso do número de lesões (AAPNL)

Houve efeito significativo entre os tratamentos. As maiores áreas abaixo da curva de progresso do número de lesões (AAPNL) ocorreram nos tratamentos com omissão de K e S. Os demais tratamentos, apesar de apresentarem variação no valor da AAPNL, não deferiram estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade (Gráfico 1).

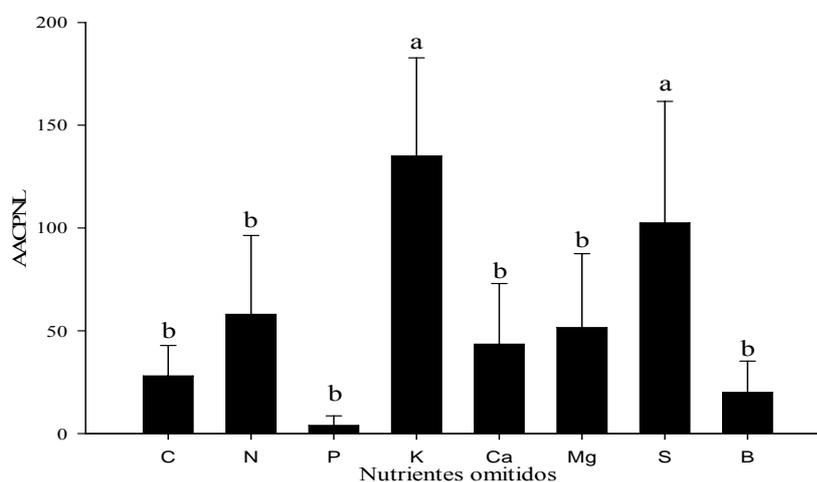


Gráfico 1 Médias das áreas abaixo da curva de progresso do número de lesões (AACPNL) da Sigatoka-amarela, em função da omissão dos nutrientes em solução nutritiva. C - completo; N - omissão de nitrogênio; P - omissão de fósforo; K - omissão potássio; Ca - omissão de cálcio; Mg - omissão de magnésio; S - omissão de enxofre e B - omissão de boro. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Lavras, MG, 2013

Entre os nutrientes minerais, o K é considerado o mais importante na redução das doenças de plantas; sua função já foi comprovada em vários patossistemas. Para a ferrugem-asiática-da-soja, Doreto et al. (2012) constataram efeito promissor do potássio na redução da incidência e na severidade da doença. Em cafeeiro, Lima et al. (2010) observaram, em solução nutritiva, redução da intensidade da mancha-de-phoma com aumento das doses de K, até a dose de 7 mmol/L. Estes autores relacionaram esses resultados ao papel exercido por esse nutriente em várias funções na planta, conferindo maior resistência aos tecidos e rápida recuperação de injúrias. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Garcia Júnior et al. (2003), ao constatarem redução na incidência no número

total de lesões da cercosporiose do cafeeiro na dose de 7 mmol/L de K. Porém, a partir dessa dose, em ambos os trabalhos citados anteriormente, houve aumento significativo da doença, devido à competição na absorção com o Ca, responsável por constituir importantes barreiras de resistência.

Em soja, Sugimoto et al. (2009) observaram redução na severidade e na liberação de zoósporos de *Phytophthora sojae* Kaufm. & Gerd, quando submetidas à adubação de K na forma de KNO₃ e, por meio de observações microscópicas, foi constatado acúmulo de potássio nos locais onde este patógeno estava presente. A competência do K na forma de KNO₃ também foi confirmada por Bhuiyan et al. (2007), ao constatarem redução na severidade da alternaria-do-algodoeiro, quando as plantas foram nutridas com esse nutriente.

Bergamin Filho e Amorim (2011) classificaram a ação do K contra as doenças de duas maneiras: diretamente, dificultando o estabelecimento do patógeno no hospedeiro e indiretamente, promovendo a cicatrização de ferimentos e dificultando a penetração de agentes patogênicos. Assim, diretamente, o K favorece a síntese e o acúmulo de compostos fenólicos, os quais atuam como inibidores de fungos e indiretamente, pelo maior enrijecimento de tecidos, como consequência maior espessura da cutícula e da parede celular, maior formação de tecidos esclerenquimatosos, maior lignificação e suberização (HUBER; ARNY, 1985; PERRENOUD, 1990).

Diante de todos esses fatos, observa-se que, em plantas deficientes em K, há menor formação de parede celular e acúmulo de carboidratos solúveis, o que provoca a menor síntese de amido e celulose, como, por exemplo, acumulação de aminoácidos livres, isto é, menos proteína (estruturais, enzimáticas e protetoras) e menor proteção de fenóis e alexinas inibidoras do patógeno (MALAVOLTA, 2006). Porém, deve-se ficar atento à dose ideal, para que não ocorra desequilíbrio com outros cátions, como o Ca, por exemplo, importante na constituição de barreiras estruturais de resistência.

Assim como o K, o S também participa de processos importantes durante o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Segundo Malavolta (2006), o S é responsável pela síntese de aminoácidos, proteínas, vitaminas, sulfatos de colina, flavanoides, fenol, glicosinolatos, sulfatos de polisacarídeos, sulfóxidos e alcaloides. Além disso, participa de reações enzimáticas e de vários processos importantes, como fotossíntese, fixação não fotossintética do CO₂, respiração, síntese de gordura e proteínas, fixação de N₂ e na estrutura das proteínas. Diante de todos esses atributos, acredita-se que a ausência do S no tratamento com omissão deste nutriente influenciou o progresso da doença, promovendo a patogênese e o incremento da severidade.

A relação entre a função do S na intensidade das doenças ainda não está bem esclarecida e poucas pesquisas foram desenvolvidas a esse respeito. Segundo Haneklaus, Bloem e Schnug (2007), o enxofre no metabolismo das plantas oferece várias funções no combate ao ataque provocado pelos fungos, como a produção de compostos tóxicos, a emissão de compostos voláteis, tais como H₂S, sulfureto de dimetilo e dissulfureto de dimetilo e a produção de glutathione, fitoalexinas e glucosinolatos.

Salac et al. (2005), na Escócia, verificaram, em plantas de colza nutridas com S e infectadas por *Pyrenopeziza brassicae* (Sutton & Rawlinson), aumento no conteúdo de glutathione, cisteína e glucosinolatos e concluíram que a mudança no conteúdo desses componentes poderia estar ligada à indução de resistência. Os mesmos autores confirmaram esses resultados mais tarde e, além disso, verificaram efeito positivo entre a infecção de *Peronospora parasitica* (Pers. ex Fr.) e plantas de colza nutridas com S. Resultados semelhantes foram encontrados por Klikocka et al. (2005), na Polônia, ao confirmarem diminuição significativa na taxa de infecção por *Rhizoctonia solani* Kühn e aumento expressivo na produção de tubérculos de batata, quando nutridos com S. Também na Polônia, Klikocka (2009) observou diminuição na taxa de infecção e

na severidade de *Streptomyces scabies* (Thaxter) Waksman & Henrici e *Rhizoctonia solani*, em tubérculos de batata, quando na presença do S juntamente com Mg e micronutrientes.

4 CONCLUSÕES

A deficiência de N, P, K, Ca, Mg, S e B, em mudas de bananeira, provoca alterações morfológicas, manifestadas como sintomas característicos de deficiência nutricional.

Mudas de bananeira deficientes em K e S são mais susceptíveis à Sigatoka-amarela que as deficientes em N, P, K, Ca, Mg, S e B.

REFERÊNCIAS

- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Ambiente e doença. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 4. ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. v. 1, p. 133-147.
- BHUIYAN, S. A. et al. Effects of foliar application of potassium nitrate on suppression of *Alternaria* leaf blight of cotton (*Gossypium hirsutum*) in northern Australia. **Australasian Plant Pathology**, Melbourne, v. 36, n. 5, p. 462-465, 2007.
- BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. S. Solos, nutrição e adubação. In: _____. **A cultura da banana aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Cruz das Almas: EMBRAPA/CNPMPF, 1997. p. 197-260.
- CORDEIRO, Z. J. M. **Variabilidade patogênica de isolados de *Mycosphaerella musicola* e resistência induzida e genética em genótipos de bananeira**. 1997. 118 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1997.
- CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. Expressão da resistência de variedades de banana à Sigatoka-amarela. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 534-535, set./out. 2005.
- CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P.; KIMATI, H. Doenças da bananeira. In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 99-117.
- CORDEIRO, Z. J. M.; ROCHA, H. S.; ARAÚJO, A. G. **Metodologia para manuseio de *Mycosphaerella musicola* em laboratório**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2011. 32 p.

DORETO, R. B. S. et al. Ferrugem asiática e produtividade da soja sob doses de potássio e fungicida, na safra 2007/08. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 941-952, maio/jun. 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

GARCIA JÚNIOR, D. et al. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, 2003.

HANEKLAUS, S.; BLOEM, E.; SCHNUG, E. Sulfur and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: The American Phytopathological Society, 2007. p. 101-118.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32 p. (Circular, 347).

HUBER, D. M.; ARNY, D. C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSA, 1985. p. 467-488.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal, 2009**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 24 fev. 2013.

KLIKOCKA, H. Influence of NPK fertilization enriched with S, Mg, and micronutrients contained in liquid fertilizer Insol 7 on potato tubers yield (*Solanum tuberosum* L.) and infestation of tubers with *Streptomyces scabies* and *Rhizoctonia solani*. **Journal of Elementology**, Olsztyn, v. 14, n. 2, p. 271-288, 2009.

KLIKOCCA, H. et al. Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 28, n. 5, p. 819-833, 2005.

LIMA, L. M. et al. Relação nitrogênio/potássio com a mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 223-228, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2nd ed. Berne: International Potash Institute, 1990. 363 p.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: SIMPÓSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 12., 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2012. 1 CD-ROM.

SALAC, I. et al. Influence of sulfur fertilization on sulfur metabolites, disease incidence and severity of fungal pathogens in oilseed rape in Scotland. **Landbauforschung Volkenrode**, Braunschweig, v. 56, n. 1/2, p. 1-4, 2006.

_____. Sulfur nutrition and its significance for crop resistance: a case study from Scotland. **Landbauforschung Volkenrode**, Braunschweig, v. 283, p. 111-119, 2005. Special issue.

SANTOS, V. P. et al. Fertirrigação da bananeira cv. Prata-Anã com N e K em um argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 567-573, 2009.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildew ingresistance in Know wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, p. 1051-1056, 1977.

SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; PEREIRA, R. D. Adubação fosfatada em mudas de bananeira 'Prata anã'(AAB), cultivadas em dois Latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 2, p. 238-242, mar./abr. 2011.

SOUZA, A. G. C. et al. Infection process of cercospora coffeicola on coffee leaf. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 159, n. 1, p. 6-11, 2011.

SUGIMOTO, T. et al. The effect of potassium nitrate on the reduction of phytophthora stem rot disease of soybeans, the growth rate and zoospore release of phytophthora sojae. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 157, n. 6, p. 379-389, June 2009.

UCHOA, C. N. et al. Relação da nutrição mineral com a severidade da Sigatoka-amarela em bananeira "Nanicão" na Zona da Mata em Minas Gerais. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, p. S183-S183, 2008. Supplement.

CAPÍTULO 3

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA SIGATOKA-AMARELA E SUA RELAÇÃO COM A FERTILIDADE DO SOLO E O ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a distribuição espacial da Sigatoka-amarela e verificar sua relação com a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas, por meio da geoestatística. A área experimental compreendeu de 1,2 ha, na qual foram demarcados dois grides amostrais. No primeiro, havia 27 pontos georreferenciados espaçados em malha regular de 18 x 18 m e, no segundo, um subgride compreendido dentro do primeiro, composto por 30 pontos georreferenciados, espaçados em malha retangular de 3,6 por 4,5 m. Em cada ponto, avaliaram-se a severidade da doença, a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas. Os semivariogramas e a krigagem ordinária foram analisados por meio do software ArcGIS 9.2. O gride principal apresentou moderado grau de dependência espacial, com alcance de 193,71 m e o subgride apresentou forte grau de dependência espacial, com alcance de 6,58 m. por meio dos mapas de krigagem ordinária, foi possível constatar a relação positiva entre a severidade da Sigatoka-amarela com os teores de fósforo, nitrogênio, potássio e cálcio e negativa com teores de magnésio, cobre e manganês.

Palavras-chave: Sigatoka-amarela. Geoestatística. Nutrição.

ABSTRACT

The present work was undertaken in order to evaluate the spatial distribution of yellow Sigatoka and to verify its relationship with soil fertility and plants nutritional status using geostatistical analyst. The experimental area consisted of 1.2 hectares where two grid samples were demarcated. For the first one, there were 27 georeferenced points spaced out in a regular grid (18 x 18 m) and for the second one, there was a subgrid located within the first one and composed by 30 georeferenced points, interspeded in a rectangular grid (3.6 x 4.5 m). At each point we assessed disease severity, soil fertility, as well as plant nutritional status. The semivariogram and ordinary kriging were analyzed using ArcGIS 9.2 software. The main grid showed moderate degree of spatial dependence with a range of 193.71 m and the subgrid showed a strong degree of spatial dependence with a range of 6.58 m. Through ordinary kriging maps, it was possible to found a positive relationship between yellow Sigatoka severity with levels of phosphorus, nitrogen, potassium, and calcium and negative relationship with levels of magnesium, copper and manganese.

Keywords: Yellow Sigatoka. Geostatistics. Nutrition.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da bananeira (*Musa* spp.) é de grande importância para o Brasil, pois seu cultivo está distribuído por todo o país. Em 2011, o Brasil foi o quinto maior produtor mundial dessa fruta, com 7,02 milhões de toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013). Porém, essa produção pode ser afetada por um grande número de doenças, dentre as quais a Sigatoka-amarela, cujo agente etiológico é o fungo *Mycosphaerella musicola* Leach.

Segundo Cordeiro e Matos (2005), esta doença está distribuída por todo o território nacional, ocasionando perdas de até 100% em microclima favorável. De acordo com Cordeiro, Matos e Kimati (2005), o seu controle envolve um conjunto de medidas, dentre as quais se inclui o uso de plantas adequadamente nutridas.

A cultura da bananeira é altamente exigente em nutrientes, principalmente nitrogênio e potássio (SANTOS et al., 2009; SILVA; SILVA; PEREIRA, 2011). Em função disso, muitos trabalhos envolvendo essa cultura enfatizaram a relação entre a nutrição mineral e o seu crescimento e desenvolvimento. Entretanto, pouco se conhece sobre a influência da nutrição mineral na intensidade das doenças, principalmente ao longo do espaço no campo. Nesse contexto, as informações sobre a distribuição espacial das doenças no campo e sua dependência com a fertilidade ao longo da área de plantio podem fornecer subsídios para pesquisas futuras e também para o manejo da doença.

Para avaliar trabalhos dessa natureza, há a necessidade de se adotar uma metodologia apropriada. A estatística clássica, por não considerar a dependência espacial em muitos dos seus métodos, tem sido substituída pela geoestatística e vem sendo aplicada em experimentos para gerar respostas mais condizentes com

os aspectos epidemiológicos das doenças de plantas, devido ao padrão agregado do inóculo e da doença (ALVES et al., 2012; CHELLEMI et al., 1988).

Durante o processo de análise com a geoestatística, duas etapas fundamentais devem ser seguidas. Inicialmente, por meio dos semivariogramas, a estrutura da variabilidade espacial deve ser descrita e, havendo dependência espacial, procede-se à interpolação por krigagem e à confecção de mapas (ALVES et al., 2009).

Diante desses fatos, este trabalho foi realizado com os objetivos de estudar a distribuição espacial da Sigatoka-amarela e verificar sua relação com a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas, por meio da geoestatística.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em um bananal da variedade Prata-Anã, localizado no sítio Vale dos Ventos, pertencente ao Sr. José Ferreira, no município de Lavras, MG. As coordenadas geográficas locais são 21° 08' 42" de latitude Sul e 45° 01' 37" de longitude Oeste.

2.2 Seleção da área

A escolha da área se deu em função da alta severidade da Sigatoka-amarela e de não haver qualquer medida de controle, permitindo, assim, estudar o comportamento da doença em condições naturais.

2.3 Grides amostrais

A área experimental compreendeu 1,2 ha. Foram demarcados dois grids amostrais, sendo, no primeiro, 27 pontos georreferenciados espaçados em malha regular de 18 x 18 m (324 m²) e, no segundo, um subgride compreendido dentro do primeiro, composto por 30 pontos georreferenciados, espaçados em malha retangular de 3,6 por 4,5 m (16,2 m²) (Figura 1). Os pontos foram georreferenciados com GPS modelo Trimble 4600 LS. Em cada ponto georreferenciado foram avaliados a fertilidade do solo, o estado nutricional das plantas e a severidade da Sigatoka-amarela.

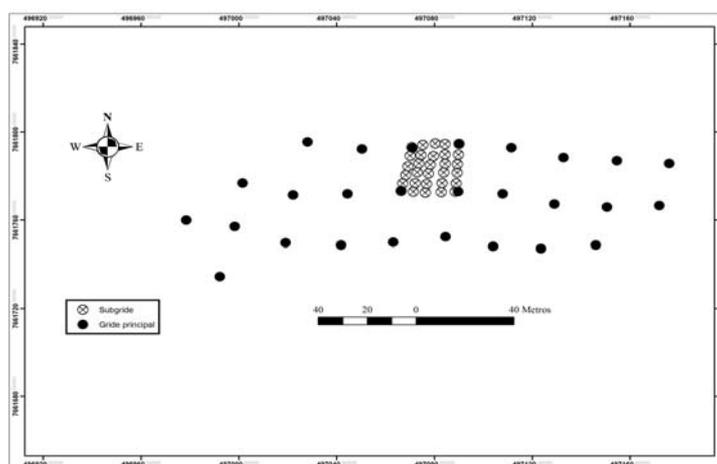


Figura 1 Gride principal (18 x 18 m), subgrid (4,5 x 3,6 m) e pontos georreferenciados da área. Lavras, MG, 2013.

2.4 Análise da fertilidade do solo

A fertilidade do solo foi avaliada em cada ponto georreferenciado. Para isso, foram coletadas quatro amostras simples de solo na camada de 0 a 20 cm, utilizando-se de um trado e, após homogeneização dessas amostras, foi retirada uma amostra composta com cerca de 500 g e enviada ao laboratório, para determinar a fertilidade do solo. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em conformidade com a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999). Os teores de Ca e Mg foram determinados por meio do extrator KCl, na concentração de 1 mol L^{-1} ; P e K foram quantificados utilizando-se solução extratora Mehlich 1; o S foi determinado com o extrator fosfato monocálcio em ácido acético e os teores de matéria orgânica foram determinados com a oxidação de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ 4N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 10N}$.

2.5 Análise nutricional das plantas

O estado nutricional das plantas selecionadas para a avaliação da severidade da doença foi determinado por meio de coleta de pequenas amostras foliares (10 a 25 cm) da parte mediana do limbo da terceira folha, a contar do ápice, conforme metodologia descrita por Borges, Oliveira e Souza (1997). Após a coleta, as amostras foram enviadas para o Laboratório de Análise Foliar, no Departamento de Química da UFLA, onde foram realizadas as análises dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, manganês, zinco e ferro, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

2.6 Avaliação da severidade da Sigatoka-amarela

Para avaliar a severidade da Sigatoka-amarela, foi selecionada uma planta em cada ponto georreferenciado, a qual teve a severidade da doença avaliada uma vez por mês, durante um ano, com base na escala diagramática proposta por Stover (1972) e modificada por Gauhl (1994) (Figura 2). Depois de realizadas as anotações, procediam-se aos cálculos dos índices de infecção com as notas de cada planta pela fórmula.

$$\text{Índice de infecção} = [\sum nb/(N-1)T]*100$$

em que

n = número de folhas em cada nível da escala de Stover modificada por Gauhl;

b = grau da escala;

N = número de graus empregados na escala (7);

T = número total de folhas avaliadas.

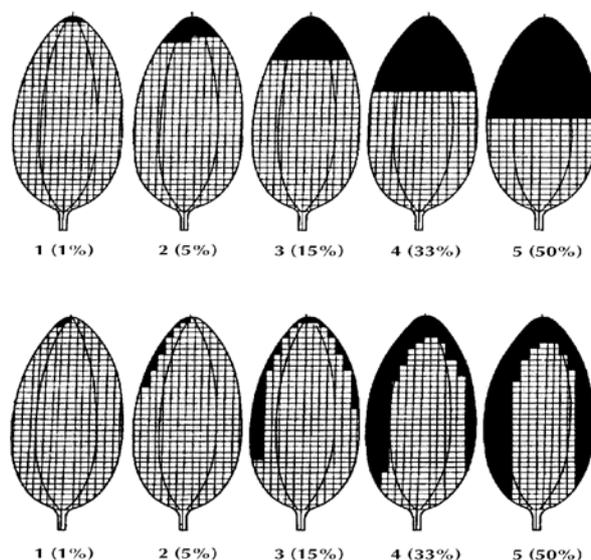


Figura 2 Escala de severidade para a Sigatoka, proposta por Stover (1972) modificada por Gauhl (1994). Lavras, MG, 2013

2.7 Análise geoestatística

A dependência espacial das variáveis e a interpolação dos dados foram analisadas por meio da geoestatística, de acordo com Burrough e McDonnell (1998). Foram construídos semivariogramas partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância estimada pela seguinte equação:

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

na qual $Y(h)$ é a semivariância estimada, $N(h)$ é o número de pares de observações e $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados pela distância h . Os modelos teóricos

de semivariogramas isotrópicos foram estimados por Burrough e McDonnell (1998).

Modelo esférico:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] = C_0 + C_1 [Sph(h)] & 0 < h \leq a \\ C_0 + C_1 & , h > a \end{cases}$$

Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] = C_0 + C_1 [Exp(h)] & h \neq 0 \end{cases}$$

Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] = C_0 + C_1 [Gau(h)] & h \neq 0 \end{cases}$$

em que C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C$ é o patamar, a é o alcance e h é a distância.

Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada interpolação por krigagem ordinária. Foi utilizado, para ajustar os semivariogramas e plotar os mapas de krigagem ordinária, o programa ArcGIS, do software ArcGIS 9.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, 2004).

2.8 Análise da dependência espacial

O grau de dependência espacial (GDE), que é a proporção em porcentagem do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C$), foi calculado utilizando-se a equação.

$$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) \times 100$$

De acordo com Cambardella et al. (1994), quando o GDE for menor que 25%, a dependência espacial é forte. Se o GDE ficar entre 26% e 75%, a dependência espacial é moderada e, se for maior que 75%, a dependência espacial é fraca.

2.9 Correlações

Realizou-se a correlação de Pearson entre a severidade da doença com os teores dos nutrientes no solo e nas plantas e com os dados climatológicos, utilizando-se o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS) versão 8.1 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2000).

2.10 Registro das variáveis climáticas

Foram monitorados os dados climatológicos umidade relativa mínima, média e máxima (%), temperatura mínima, média e máxima (°C) e precipitação (mm/dia), por meio de uma estação climatológica computadorizada (Datalogger-CR510 Campbell Scientific Inc.) instalada em torre metálica localizada no centro da área, com os sensores posicionados a uma altura de 1,5 m acima do nível do solo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Distribuição espacial da Sigatoka-amarela, da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas

A severidade média da doença nas plantas avaliadas em cada ponto georeferenciado variou de 7,88% a 49,84%, no gride principal e de 12,23% a 65,07%, no subgride, ou seja, houve variação na intensidade ao longo da área ou do espaço. Com esses valores, ajustou-se o modelo exponencial para ambos os grades, tendo o gride principal apresentado moderado grau de dependência espacial da doença, com alcance de 193,71 m e o subgride, forte grau de dependência espacial, com alcance de 6,58 m (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1 Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas isotrópicos relativos à severidade da Sigatoka-amarela no grid principal e subgride. Lavras, MG, 2013

Severidade	Modelo	C0	C0 +C	Ao	C0/C0 +C	GDE
Gride principal	Exponencial	98,5	163,28	193,71	60,32	Moderada
Subgride	Exponencial	0	137,55	6,58	0	Forte

Co: efeito pepita; Co+C: patamar; Ao: alcance; Co/Co+C: razão indicativa do grau de dependência espacial (GDE)

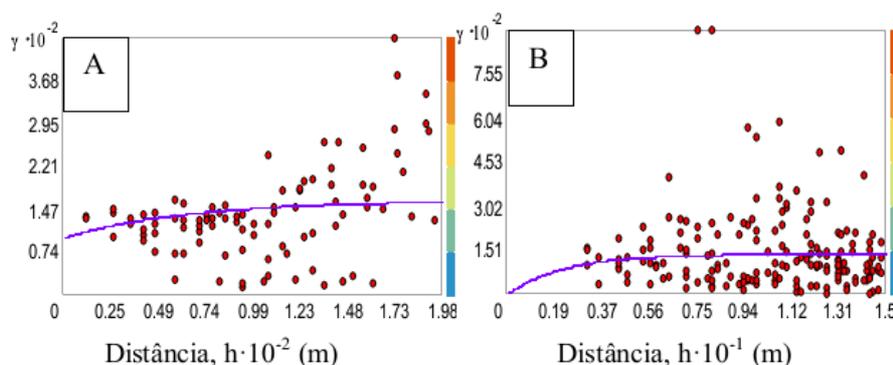


Figura 1 Semivariogramas ajustados para a severidade da Sigatoka-amarela: A) gride principal e B) subgride. Lavras, MG, 2013

A moderada dependência espacial encontrada no gride principal para a severidade da doença assemelha-se aos resultados encontrados por Carvalho (2008) que, estudando as doenças de final de ciclo da soja, também verificou moderada dependência espacial, com alcance de 70 m.

Por outro lado, o forte grau de dependência espacial observado no subgride está de acordo com os resultados encontrado por encontrado por Uchôa et al. (2011), ao observarem forte grau de dependência espacial e alcance de 25,26 m, para severidade da Sigatoka-negra, por meio da geoestatística. Alves et al. (2006), caracterizando o progresso espaço-temporal da severidade da antracnose do feijoeiro *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magnus), também verificaram forte grau de dependência espacial entre plantas, nas épocas de avaliações 26, 33, 40, 47, 54 e 61 dias após o plantio.

Em relação à fertilidade do solo e a nutrição das plantas, foi observado que todos os nutrientes apresentaram alguma dependência espacial e, para essas variáveis, conseguiu-se ajustar os modelos exponencial, esférico e gaussiano com variados valores de alcance, tendo o modelo exponencial prevalecido para a maioria das variáveis (Tabelas 2 e 3). Esses resultados estão de acordo com os

de Silva e Chaves (2001), que afirmam que o modelo exponencial é o que mais se ajusta às propriedades químicas do solo.

Tabela 2 Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas isotrópicos relativos aos teores de nutrientes no solo e nas plantas no gride principal. Lavras, MG, 2013

Variáveis	Modelo	C0	C0 +C	Ao	C0/C0 +C	GDE
<i>Fertilidade do solo</i>						
P	Exponencial	1,9	2	193,71	95	Fraca
K	Esférico	0	4521,1	61,83	0	Forte
Ca	Exponencial	1,4	4,6	68,9	30,43	Moderada
Mg	Exponencial	0	1	193,71	0	Forte
MO	Exponencial	0	0,3	74,89	0	Forte
<i>Estado nutricional das plantas</i>						
N	Esférico	14,98	1,03	193,71	93,56	Fraca
P	Exponencial	0,04	0,04	185,51	100	Fraca
K	Esférico	27,13	29,75	29,75	91,19	Fraca
Ca	Exponencial	2,06	4,04	193,71	51	Moderada
Mg	Exponencial	0,29	1,13	193,71	25,66	Moderada
S	Exponencial	0,01	0,06	193,71	33,33	Moderada
Fe	Exponencial	316,1	653,76	193,71	48,35	Moderada

Co: efeito pepita; Co+C: patamar; Ao: alcance; Co/Co+C: razão indicativa do grau de dependência espacial (GDE); MO: matéria orgânica

Tabela 3 Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas isotrópicos relativos aos teores de nutrientes no solo e nas plantas no subgride. Lavras, MG, 2013

Variáveis	Modelo	C0	C0 +C	Ao	C0/C0 +C	GDE
<i>Fertilidade do solo</i>						
P	Esférico	11,83	11,83	22,55	100	Fraca
K	Exponencial	2114,4	4440,7	23,46	47,61	Moderada
Ca	Esférico	4,33	4,33	22,55	100	Fraca
Mg	Esférico	0,32	0,52	6,6	62,23	Moderada
MO	Exponencial	0,1	0,06	23,46	62,50	Moderada
<i>Estado nutricional das plantas</i>						
N	Gaussiano	0,03	0,06	23,46	50	Moderada
P	Exponencial	0,01	0,06	23,46	16,66	Forte
K	Exponencial	6	12	23,46	50	Moderada
Ca	Exponencial	0	37,08	7,19	0	Forte
Mg	Exponencial	0,1	0,34	5,61	29,42	Moderada
S	Exponencial	0,01	0,04	23,46	25	Forte
B	Exponencial	0	21,18	8,17	0	Forte
Cu	Esférico	1,78	3,28	23,46	54,26	Moderada
Mn	Exponencial	2544	6781,3	23,46	37,51	Moderada
Zn	Exponencial	0	15,94	23,46	0	Forte
Fe	Exponencial	1415	6278,4	23,46	22,53	Forte

Co: efeito pepita; Co+C: patamar; Ao: alcance; Co/Co+C: razão indicativa do grau de dependência espacial (GDE); MO: matéria orgânica

Os valores dos alcances maiores que 18 m no gride principal e 3,6 m no subgride indicaram que a grade amostral adotada foi suficiente para expressar a variabilidade espacial das variáveis. Assim, em trabalhos futuros, poderá ser adotada uma grade amostral maior. Como o alcance é uma distância dentro da qual as amostras se apresentam correlacionadas espacialmente, sua medida é importante no planejamento e na avaliação experimental, pois pode auxiliar na definição do procedimento de amostragem (MCBRATNEY; WEBSTER, 1983).

A partir dos parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados de cada variável, foram estimados os valores em locais não amostrados por meio do

interpolador geoestatístico da krigagem ordinária. Para a severidade da doença no gride principal, foi observado que as regiões do mapa com maiores intensidades da severidade (34,51% a 44,7%) corresponderam às partes altas do terreno (Figura 2A). Este resultado pode ser explicado pelo fato de o solo nas partes mais altas do terreno apresentar alguma diferença como na textura ou estrutura, o qual comprometeu o desenvolvimento de processos importantes para as plantas, como infiltração de água, ventos, capacidade de retenção de água e nutrição das plantas, tornando-as mais propensas ao ataque da doença.

Já para a severidade no subgride, observou-se padrão agregado com a maior severidade da doença no centro do mapa progredindo em direção ao sul (26,27% a 65,07%) (Figura 3A). Uchôa et al. (2011) também encontraram padrão agregado para a severidade da Sigatoka-negra por meio da geoestatística.

Após estimar a distribuição espacial da severidade da Sigatoka-amarela nos dois grids, realizaram-se as correlações entre a severidade da doença com os teores de nutrientes. A correlação entre a severidade da Sigatoka-amarela e os teores de nutrientes no gride principal por meio dos mapas de krigagem ordinária revelou relação negativa entre os teores de Mg no solo com a severidade da doença, ou seja, as áreas com níveis altos de Mg (2,17 a 4,2 cmolc/dm^3) apresentaram menor severidade (7,87% a 34,51%). Por outro lado, as maiores severidades (39,1% a 44,7%) foram observadas quando os teores desse nutriente foram inferiores a 1,38 cmolc/dm^3 (Figura 2A e 2B). Alves et al. (2009) também encontraram alta correção entre a deficiência de Mg e outros nutrientes com ferrugem nas folhas e cercosporiose em frutos e folhas de cafeeiros.

Já os teores de P no solo apresentaram relação positiva com a severidade da Sigatoka-amarela, ou seja, as áreas com níveis mais altos de P (2,79 a 3,79 mg/dm^3) apresentavam maior severidade da doença (37,39% a 39,10%) (Figura 2A e 2C). Não foram encontrados trabalhos relatando valores altos de P no solo

com a maior severidade da doença, no entanto, pode-se perceber que essas regiões correspondiam aos valores baixos de Mg no mapa (0,7 a 1,49 cmolc/dm³) (Figura 2C e 2B). Conforme relatam Borges, Oliveira e Souza (1997), a absorção de P pode ser influenciada pelo suprimento de Mg, ou seja, baixo suprimento de Mg reduz a absorção de P pelas raízes. Assim, possivelmente, mesmo o P estando presente no solo, e este não sendo absorvido pelas plantas, já se caracteriza a deficiência em dois nutrientes importantes para a cultura, o que, fundamentalmente, resultou na maior severidade da doença nessa área.

Foi também observada, no gride principal, por meio dos mapas de krigagem ordinária, relação positiva entre a severidade da Sigatoka-amarela e os teores de N. Nesse caso, as áreas onde foram encontrados os teores mais altos desse nutriente (27,6 a 42,26 mg/kg) corresponderam aos níveis mais altos da severidade da doença (40,12% a 44,7%) (Figura 2D e 2A).

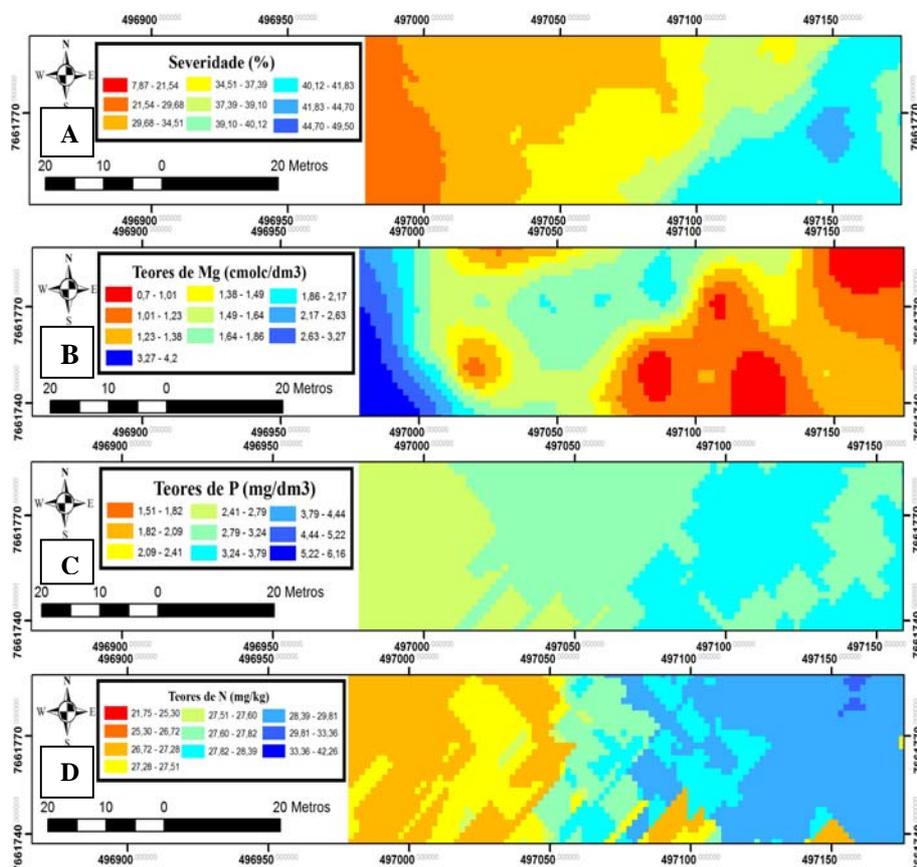


Figura 2 Mapas de krigagem ordinária, gerados após o ajuste dos semivariogramas para a severidade da Sigatoka-amarela (A) e os teores de magnésio (B), fósforo(C) e nitrogênio (D). Lavras, MG, 2013

Segundo Marschner (1995), o N pode favorecer ou prejudicar o patógeno e isso depende do patossistema e da quantidade desse nutriente no hospedeiro. Assim, geralmente, altos teores de N na planta favorecem a germinação e a infecção de fungos, pois ocorre um maior aumento na produção de tecidos jovens e suculentos, além do acúmulo de aminoácidos e amidas no apoplasto e na superfície foliar.

O aumento da severidade das doenças em função das maiores doses de N já foi comprovado em vários patossistemas. May-de-Mio et al. (2008) observaram maior incidência da podridão-parda das rosáceas-de-carço [*Monilinia fructicola* (G. Winter) Honey] quando se aplicou a maior dose de N no solo por ano. Lima et al. (2010) constataram, em solução nutritiva, maiores incidência e severidade da mancha-de-phoma do cafeeiro com as maiores doses de N. Portanto, conforme enfatizam Pozza e Pozza (2012), quando houver maior intensidade da doença é melhor suspender a aplicação de adubos à base de N.

A correlação entre a severidade da Sigatoka-amarela e os teores de nutrientes no subgride por meio dos mapas de krigagem ordinária evidenciou relação positiva entre a severidade e os teores de K no solo e de Ca nas plantas, e relação negativa com os teores de Cu e Mn nas plantas. As maiores severidades (52,32% a 65,07%) no mapa corresponderam aos maiores teores de K (64,69 a 76,05 mg/dm³) e Ca (13,67 a 26 mg/kg) e com os menores teores de Cu (5,82 a 6,22 mg/kg) e Mn (221,96 a 229,47mg/kg) (Figura 3). Esses resultados discordam dos encontrados por Uchôa et al. (2011), ao verificarem, por meio de mapas de krigagem, níveis mais altos de K (57,5 mg dm³) nas áreas com teores elevados da severidade da Sigatoka-negra.

A maior severidade da Sigatoka-amarela nas áreas com teores mais elevados de K e Ca deve-se, possivelmente, a desequilíbrios entre os nutrientes nas plantas. Segundo Marschner (1995), doses excessivas desses nutrientes interferem na absorção de outros nutrientes, em função da competição entre os cátions. Conforme explica Malavolta (2006), o K em excesso pode causar um desequilíbrio na absorção de outros nutrientes, como o Ca e o Mg, o que resulta na menor formação da lamela média por falta de cálcio, quebra do funcionamento normal da membrana plasmática, vazamento de solutos, distúrbios na formação de proteínas e no uso de energia do ATP para a síntese geral. Assim, como consequência, observa-se maior intensidade das doenças.

Uchôa et al. (2011) observaram maior severidade da Sigatoka-negra nas áreas onde os teores de S estavam mais altos. Esses resultados também foram atribuídos a possíveis desequilíbrios entre nutrientes, já que os teores de P, Ca e Mg estavam abaixo das quantidades recomendadas para a cultura da banana.

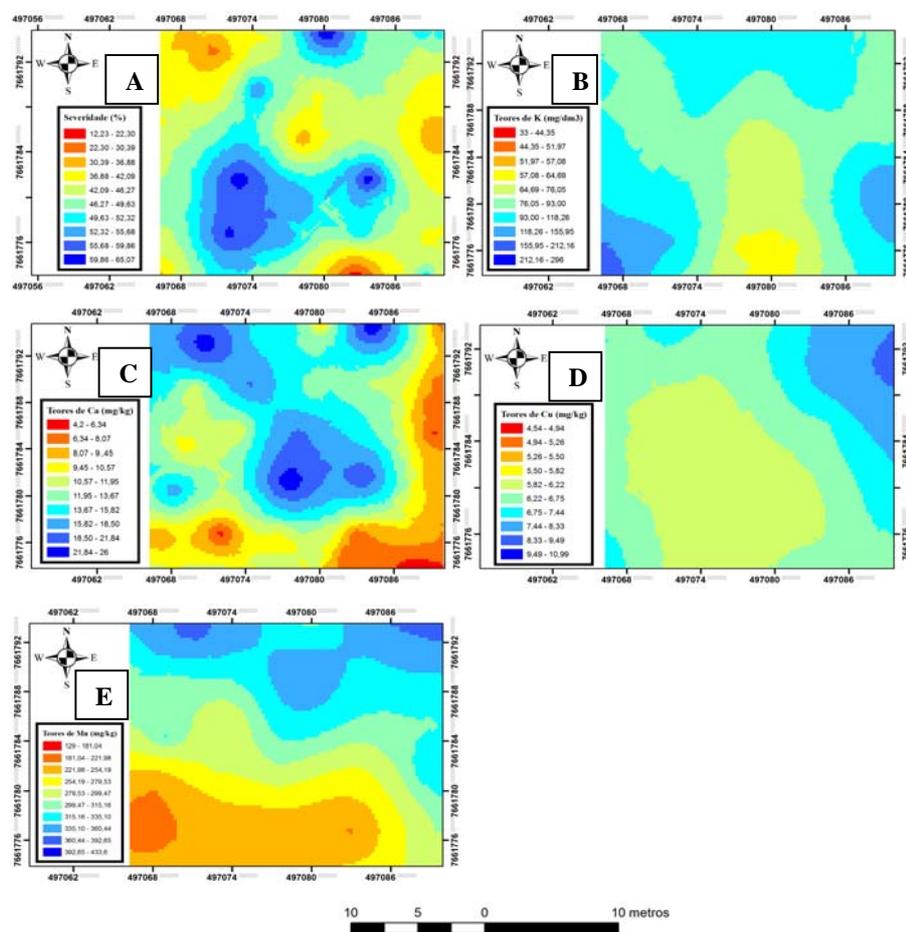


Figura 3 Mapas de krigagem ordinária, gerados após o ajuste dos semivariogramas para a severidade da Sigatoka-amarela (A) e os teores de potássio (B), cálcio (C), cobre (D) e manganês (E) no subgride. Lavras, MG, 2013

Esse fato foi comprovado por Balardin et al. (2006), ao constatarem que o equilíbrio entre P e K resultou na menor severidade da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd). Da mesma forma, Pozza et al. (2001) observaram aumento na severidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro, quando estas foram submetidas a doses de K a partir de 3 mmol/l, sendo esses resultados atribuídos a possíveis desequilíbrios com outros nutrientes, principalmente o Ca.

O mesmo processo explicado para o K também pode ser adotado para o Ca, pois, segundo Marschner (1995), altas concentrações de íons de Ca^{2+} na planta inibem a translocação de outros cátions. García Júnior et al. (2003) evidenciaram esse processo ao estudarem o suprimento de mudas de cafeeiro, em função do suprimento de K e Ca em solução nutritiva. Em campo, Custódio (2008) confirmou que tanto o excesso quanto o desequilíbrio desses nutrientes resultaram na maior intensidade da cercosporiose do cafeeiro.

As regiões dos mapas onde os teores de Cu e Mn foram encontrados em menores quantidades coincidiram com a maior severidade da Sigatoka-amarela. Em relação ao Cu, não foram encontrados estudos que relatassem o papel desse nutriente sobre as doenças, mas, conforme explica Malavolta (2006), seu efeito pode ser devido ao papel fungistático ou à sua função na síntese de lignina, que dificulta a entrada do patógeno na célula. Já em relação ao Mn, normalmente, a sua presença na planta confere maior resistência às doenças, pois este nutriente participa de vários processos importantes na planta como cofator e ativador enzimático (EL-JAOUAL; COX, 1998).

Em vários trabalhos já foi relatado o papel do Mn na redução das doenças. Zañão Júnior et al. (2009) observaram que a severidade da mancha-marrom do trigo aumentou quando os teores de Mn no solo estavam próximos aos relacionados à deficiência. Heckman, Clarke e Murphy (2003) e Hill et al.

(1999) também confirmaram o papel do Mn na redução do mal-do-pé e do míldio pulverulento do trigo.

3.2 Teores médios de nutrientes e correlação com a severidade da Sigatoka-amarela

Os teores médios dos nutrientes no solo e nas plantas não apresentaram variação entre os grades e, de acordo com Silva et al. (2002), os nutrientes P, K e B apresentaram níveis abaixo dos indicados para o cultivo da cultivar Prata-Anã. Já os demais nutrientes encontravam-se em níveis adequados (Tabela 4). Uchôa (2010), estudando a fertilidade do solo e a relação com Sigatoka-negra em bananal, no município de Registro, SP, também observou deficiência nos teores médios dos nutrientes, principalmente P, Ca, S, Mg e Zn.

Tabela 4 Teores médios de nutrientes no solo e nas plantas. Lavras, MG, 2013

<i>Teores médios de nutrientes no solo</i>											
Grides	P	K	Ca	Mg	M.O						
mg/dm ³cmol/dm ³dag/kg....						
Principal	3,72	97,47	4,55	1,75	2,4						
Subgride	3,08	82,79	4,57	1,58	2,48						
<i>Teores médios de nutrientes nas plantas</i>											
Grides	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
g/kg.....					mg/kg.....				
Principal	28,11	1,55	14,33	6,09	3,35	1,94	14,82	8,09	270,63	7,37	72,86
Subgride	25,31	1,41	17,50	12,43	3,52	1,54	14,16	6,72	295,88	14,2	173,41

M.O: teores de matéria orgânica

Houve correlação significativa, a 1% de probabilidade, entre o índice médio de infecção com os teores de cálcio, magnésio, matéria orgânica, enxofre e cálcio (Tabela 5).

Tabela 5 Coeficientes de correlação de Pearson entre a severidade média da Sigatoka-amarela e os teores de nutrientes no solo e nas plantas

<i>Teores de nutrientes no solo</i>								
Grides	P	K	Ca	Mg	M.O			
SGP	0,77 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,0041**	0,01**	0,0020**			
SSG	0,3341 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,88 ^{ns}			
<i>Teores de nutrientes nas plantas</i>								
Grides	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu
SGP	0,58 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,01*	0,78 ^{ns}	0,01**	0,74 ^{ns}	0,56
SSG	0,0001**	0,0035**	0,39 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,009**	0,89 ^{ns}	0,0035**

SGP: severidade no gride principal; SSG: severidade no subgride; MO = matéria orgânica; **=significativo, a 1% de probabilidade * =significativo, a 5% de probabilidade ^{ns} = não significativo

3.3 Correlação entre da severidade da Sigatoka-amarela com as variáveis climáticas

Observou-se correlação significativa entre a precipitação e a severidade da Sigatoka-amarela entre novembro de 2011 e outubro de 2012 (Tabela 6). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Rocha et al. (2012), ao observarem que a severidade média da Sigatoka-amarela apresentou correlação significativa com a pluviosidade, no período de novembro de 2006 a março de 2007, em coronel Pacheco, MG.

Tabela 6 Coeficientes da correlação de Pearson entre a severidade da Sigatoka-amarela (SS) e as variáveis climáticas (umidade relativa máxima - Umax, umidade relativa média - Umed, umidade relativa mínima - Umin, temperatura máxima - Tmax, temperatura média - Tmed, temperatura mínima - Tmin e precipitação - P. Lavras, MG, 2013

<i>Variáveis climáticas</i>							
	Umax	Umed	Umin	Tmax	Tmed	Tmin	P
SS	0,2114 ^{ns}	0,0783 ^{ns}	0,2954 ^{ns}	0,9230 ^{ns}	0,0787 ^{ns}	0,1698 ^{ns}	0,0130*

*significativo, a 5% de probabilidade; ^{ns}significativo

A curva da severidade da Sigatoka-amarela ao longo do ano teve progresso positivo e acumulou maiores índices até o final das avaliações, com índice médio de infecção variando de 19,41%, em novembro de 2011 a 65,01%, em setembro de 2012 (Gráfico 1). Esses resultados são diferentes dos encontrados por Rocha et al. (2012), ao observarem que a severidade média da Sigatoka-amarela, durante o período de novembro de 2006 a dezembro de 2007, apresentou dois picos distintos: o primeiro, com índice de infecção de 46,09%, no verão e o segundo no fim da estação seca, com índice de infecção de 53,6%.

Durante o período de novembro de 2011 a outubro de 2012, as variáveis climáticas umidade relativa, temperatura e precipitação apresentaram oscilações nas diferentes épocas, tendo a precipitação apresentado maior variação, com os maiores picos entre novembro de 2011 a fevereiro de 2012 (Gráfico 1). A maior precipitação nesse período, juntamente com a umidade relativa e a temperatura favorável ao progresso da doença, certamente induziu a maior produção de inóculo inicial, influenciando, assim, a curva de progresso da doença nos meses subsequentes. Outro aspecto possivelmente influenciador da curva de progresso da doença ao longo do ano foi o baixo índice pluviométrico, o qual, estando abaixo da média, diminuiu a emissão de folhas pelas plantas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Rocha et al. (2012), ao constatarem menor progresso da Sigatoka-amarela na época das chuvas e maior na época seca. Segundo esses autores, possivelmente, na época da chuva, ocorreu maior duração dos períodos de incubação e latência e maior taxa de emissão foliar. Por outro lado, na época da seca, as taxas de emissão foliar foram inferiores, possibilitando maiores índices de infecção em razão do livre progresso das lesões. Wardlaw (1961), na região costeira de Santa Marta, na Colômbia, relata maiores picos de infecção da Sigatoka-amarela na época seca, com constantes ocorrências de orvalhos e com taxa de emissão foliar menor.

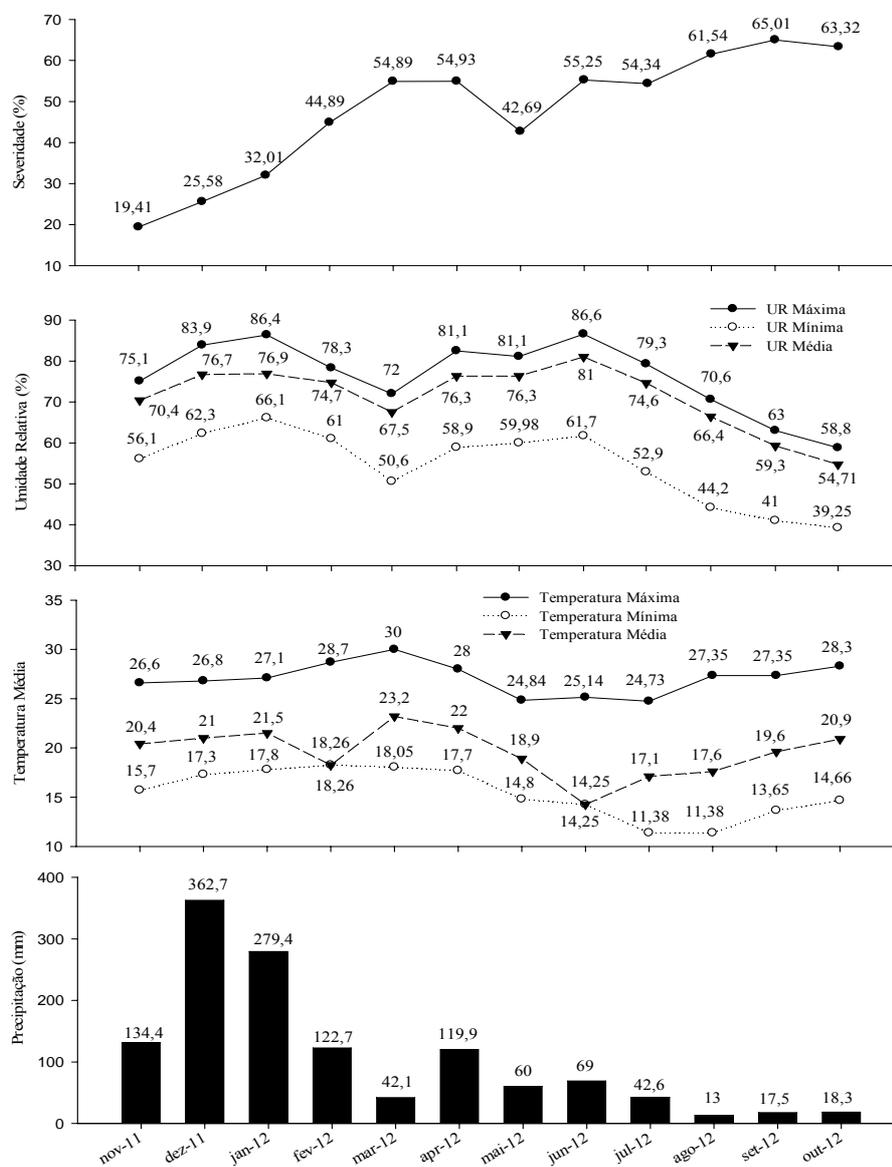


Gráfico 1 Severidade no gride principal (%), umidade relativa (%), temperatura (°C) e precipitação (mm), no período de novembro de 2011 a outubro de 2012. Lavras, MG, 2013

4 CONCLUSÕES

A geoestatística é técnica eficiente para o estudo da distribuição espacial da Sigatoka-amarela, sendo capaz de predizer, sem tendência, as áreas favoráveis à ocorrência da doença, podendo, assim, correlacionar com a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas.

A Sigatoka-amarela tende a ser mais severa nas áreas onde os teores de fósforo, nitrogênio e potássio são maiores e menos severa nas áreas onde os teores de magnésio, cobre e manganês são menores.

No período de menor precipitação, verifica-se maior severidade da Sigatoka-amarela, em função do menor desenvolvimento vegetativo do hospedeiro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliar a severidade da Sigatoka-amarela em mudas de bananeira submetidas à omissão de N, P, K, Ca, Mg, S e B em solução nutritiva exige a necessidade de diminuir o período de omissão antes da inoculação, em função da rápida deficiência nutricional expressa nas folhas, o que impede avaliação da severidade da doença por um maior período.

A manifestação de sintomas de deficiência nos tratamentos com omissão de N, P, Ca, Mg e B em mudas de bananeira evidenciou que pelo menos um processo foi afetado durante o seu desenvolvimento. Como já se sabe, em plantas deficientes, seja por um ou mais nutrientes, geralmente, a intensidade das doenças é maior. Então, nesse contexto, ressalta-se que novas pesquisas precisam ser realizadas para explicar esse feito.

A geoestatística caracteriza-se como uma técnica eficiente no estudo da distribuição espacial da Sigatoka-amarela, permitindo diagnosticar as áreas mais favoráveis à ocorrência da doença. Aliado a isso, permite correlacionar com a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas.

As grades amostrais utilizadas nesse trabalho poderiam ter sido maiores em todas as variáveis analisadas. Então, novas pesquisas precisam ser realizadas e, como base, recomenda-se utilizar os valores dos alcances expressos neste trabalho.

A manutenção do bananal com constante emissão foliar, por meio de técnicas como o uso de irrigação e a nutrição equilibrada, é uma medida que possibilita conviver, de forma mais harmoniosa, com a Sigatoka-amarela.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. S. et al. 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.

_____. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: SIMPÓSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 12., 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2012. 1 CD-ROM.

_____. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Heidelberg, v. 82, n. 2, p. 137-148, Feb. 2009.

BALARDIN, R. S. et al. Influência do fósforo e do potássio na severidade da ferrugem da soja *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 5, p. 462-467, set./out. 2006.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. S. Solos, nutrição e adubação. In: _____. **A cultura da banana aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Cruz das Almas: EMBRAPA/CNPMPF, 1997. p. 197-260.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems: spatial information systems and geostatistics**. 2nd ed. Oxford: Oxford University, 1998. 333 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, 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**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CHELLEMI, D. O. et al. Analysis of the spatial pattern of plant pathogens and diseased plants using geostatistics. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, n. 2, p. 221-226, 1988.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. Doenças fúngicas e bacterianas. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Ed.). **Banana: fitossanidade**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura; Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 36-65.

_____. Expressão da resistência de variedades de banana à Sigatoka-amarela. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 534-535, set./out. 2005.

CUSTÓDIO, A. P. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro irrigado sob pivô central**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

EL-JAOUAL, T.; COX, D. A. Manganese toxicity in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 21, n. 2, p. 353-386, 1998.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS 9.2: getting started with ArcGIS**. Redlands, 2004. 265 p.

GARCIA JÚNIOR, D. et al. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, 2003.

GAUHL, F. **Epidemiology and ecology of black Sigatoka (*Micospharella fijiensis* Morelet) on Plantain and Banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, Central America**. Montpellier: INIBAP, 1994. 120 p.

HECKMAN, J. R.; CLARKE, B. B.; MURPHY, J. A. Optimizing manganese fertilization for the suppression of take-all patch disease on creeping bentgrass. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 1395-1398, 2003.

HILL, W. J. et al. Take-all patch suppression in creeping bentgrass with manganese and copper. **HortScience**, Alexandria, v. 34, n. 5, p. 891-892, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal, 2009**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 24 fev. 2013.

LIMA, L. M. et al. Relação nitrogênio/potássio com a mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 223-228, 2010.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MAY-DE-MIO, L. L. et al. Doses de aplicação de nitrogênio e potássio em relação à podridão parda e sarna em ameixeira 'Reubennel' na região de Araucária, Paraná. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 1, jan./fev. 2008.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, Baltimore, v. 135, n. 3, p. 177-183, 1983.

POZZA, A. A. A. et al. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: SIMPÓSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 12., 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2012. 1 CD-ROM.

ROCHA, H. S. et al. Temporal progress of yellow Sigatoka and aerobiology of *Mycosphaerella musicola* spores. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 160, n. 6, p. 277-285, June 2012.

SANTOS, V. P. et al. Fertirrigação da bananeira cv. Prata-Anã com N e K em um argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 567-573, 2009.

SILVA, J. T. A. et al. **Diagnóstico nutricional da bananeira 'Prata-Anã' para o Norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 16 p. (Boletim Técnico, 70).

SILVA, J. T. A.; SILVA, I. P.; PEREIRA, R. D. Adubação fosfatada em mudas de bananeira 'Prata anã'(AAB), cultivadas em dois Latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 2, p. 238-242, mar./abr. 2011.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, set./dez. 2001.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/QC software:** reference. Version 8. Cary, 2000. Software.

STOVER, R. H. **Banana, plantain and abaca disease.** Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1972. 316 p.

UCHÔA, C. N. **Estudos epidemiológicos e diagnose molecular da Sigatoka-negra.** 2010. 106 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

UCHÔA, C. N. et al. Modelagem geoestatística da Sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 357-362, 2011.

WARDLAW, C. W. Leaf spot: Sigatoka disease. In: _____. **Banana diseases: including plantains and abaca.** Edinburgh: Longman, 1961. p. 314-341.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Severidade da mancha-marrom em trigo cultivado com diferentes formas de nitrogênio e doses de manganês. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1199-1206, 2009.