



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE
PERNAMBUCO**

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM FITOPATOLOGIA**

Dissertação de Mestrado

**Desenvolvimento e validação de escala
diagramática para avaliação da Sigatoka amarela
da bananeira**

Maria Roselane Alves Oliveira

**Recife – PE
2021**

MARIA ROSELANE ALVES OLIVEIRA

**Desenvolvimento e validação de escala diagramática
para avaliação da Sigatoka amarela da bananeira**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitopatologia.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Orientador: Humberson Rocha Silva (UFRPE)

Coorientador: Sami Jorge Michereff (UFRPE)

Coorientador: Aurivan Soares de Freitas (UNINCOR)

Recife - PE

2021

Desenvolvimento e validação de escala diagramática para avaliação da Sigatoka amarela da bananeira

MARIA ROSELANE ALVES OLIVEIRA

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 21/07/2021

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Humberson Rocha Silva (UFRPE)

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza (UFLA)

Prof. Dr. Jonas Alberto Rios (UFRPE)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O48d Oliveira, Maria Roselane Alves
Desenvolvimento e validação de escala diagramática para avaliação da Sigatoka amarela da bananeira / Maria Roselane Alves Oliveira. - 2021.
51 f. : il.
- Orientador: Humberson Rocha.
Coorientador: Sami Jorge Michereff, Aurivan Soares de Freitas.
Inclui referências e anexo(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.
1. *Musa* spp. 2. *Mycosphaerella musicola*. 3. Regressão linear simples. 4. Coeficiente de concordância de Lin. I. Silva, Humberson Rocha, orient. II. Michereff, Sami Jorge, III. Freitas, Aurivan Soares de, coorient. III. Título

Aos meus amados pais, Rosilene Aureliana e José Oliveira. Aos meus irmãos João Paulo, Paulo André e João Lucas. A minha irmã Ana Paula. A meus amigos e familiares.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, que me deu força, coragem e amor para concluir esta etapa de minha vida.

Aos meus pais, Rosilene Aureliana e José Oliveira, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus irmãos, João Paulo, Paulo André e João Lucas e a minha irmã, Ana Paula por estarem ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus avós, Antônia Francisca e Francisco Aureliano, pelo carinho e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo apoio institucional.

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

Ao orientador Prof. Dr. Humberson Rocha Silva pela orientação, apoio, confiança e compreensão diante das minhas limitações.

Ao coorientador Prof. Dr. Sami Jorge Michereff pela valiosa contribuição na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Henrique da Silva Silveira Duarte, pela sua contribuição no desenvolvimento da análise estatística.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia (PPGF), pelos ensinamentos, em especial, ao Prof Dr. Jonas Rios.

A Prof. Dr^a Giovana Lopes da Silva pelo apoio e amizade.

Aos colaboradores Kledson Santos e Fábio Silva pelo auxílio na realização desta pesquisa.

Ao laboratório de Epidemiologia, em especial, a Ana Flávia, Grazielle e Ana Paula, pelo acolhimento e amizade.

Aos meus amigos e colegas, Erasmo, Cássia, Larissa, Tatiane, Felipe, Rezanio, Jaqueline, Ruthe, Keyla, Suzilaine, Tiago, Bruno, Andreza, Thaís, Dionízio, Wallison, Matheus, Jadson, pelo companheirismo e amizade.

Ao Grupo de jovens JED (Jovens escolhidos de Deus) sempre me incentivaram a não desistir dos meus sonhos, em especial, a Ana Maria.

A todas as pessoas que torceram pela minha vitória nesta etapa. Muito obrigada!

Por fim, a todos que participaram, direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	8
GENERAL ABSTRACT	9
CAPÍTULO I	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
1. A cultura da bananeira.....	11
2. A Sigatoka amarela da bananeira.....	12
3. Quantificação de doenças em plantas.....	13
3.1 Quantificação de severidade de doenças.....	15
3.1.1 Escalas diagramáticas.....	16
3.1.2 Escalas utilizadas para avaliar a severidade da Sigatoka amarela da bananeira	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO II	25
RESUMO	27
INTRODUÇÃO	28
MATERIAL E MÉTODOS	29
RESULTADOS.....	32
DISCUSSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	44
CAPÍTULO III	49
CONCLUSÕES GERAIS	50
ANEXO.....	51

RESUMO GERAL

A bananeira (*Musa* spp.) é cultivada em todas as regiões brasileiras, sendo a banana uma das frutas mais consumidas e de importância socioeconômica significativa para o país. Nas áreas com baixa produtividade, os principais fatores associados são a falta de tecnificação e o manejo inadequado de pragas e doenças. Dentre as doenças, destaca-se a Sigatoka amarela da bananeira (*Mycosphaerella musicola*), responsável por causar redução na produção acima de 50%. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar uma escala diagramática para avaliar a severidade da Sigatoka amarela da bananeira. A escala diagramática foi elaborada e validada com oito níveis de severidade (0,44; 5,43; 12,80; 20,22; 40,26; 60,20; 72,83 e 91,28%). A validação da escala envolveu a participação de 14 avaliadores sem experiência com o patossistema. Realizaram-se três avaliações, com intervalos semanais. Na primeira avaliação, foram apresentadas aos avaliadores, 50 imagens de folhas sintomáticas, e os valores de severidade foram estimados sem o auxílio de escala. Nas avaliações subsequentes, os avaliadores utilizaram a escala. Os dados foram analisados por dois métodos: regressão linear simples e coeficiente de concordância de Lin. Por meio da regressão linear simples, sem a escala, os valores do intercepto de 92,86% dos avaliadores diferiram significativamente de zero. Com o uso da escala, na primeira e segunda avaliações, houve redução na porcentagem de avaliadores com valores de intercepto significativos, para 57,14% e 28,57%. Por meio do coeficiente de concordância de Lin o fator de correção do desvio foi de 0,918 e 0,991, sem e com o uso da escala, respectivamente. O coeficiente de correlação de concordância de Lin, foi de 0,857 e 0,946, sem e com o uso da escala, respectivamente. Sem a escala, a maioria dos avaliadores superestimou a severidade da doença. Já com o uso da escala, houve elevada acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade das estimativas. Portanto, recomenda-se a escala diagramática desenvolvida nesse estudo, para avaliar a Sigatoka amarela da bananeira.

Palavras-chaves: *Musa* spp., *Mycosphaerella musicola*, regressão linear simples, coeficiente de concordância de Lin.

GENERAL ABSTRACT

Banana (*Musa* spp.) is cultivated in all Brazilian regions, being the banana one of the most consumed fruits and of significant socioeconomic importance for the country. In areas with low productivity, the main associated factors are the lack of technification and inadequate management of pests and diseases. Among the diseases, the Yellow sigatoka leaf spot (*Mycosphaerella musicola*) stands out, responsible for causing a reduction in production above 50%. The objective of this work was to develop and validate a diagrammatic scale to assess the severity of the Yellow sigatoka leaf spot. The diagrammatic scale was developed and validated with eight severity levels (0.44, 5.43, 12.80, 20.22, 40.26, 60.20, 72.83 and 91.28%). Scale validation involved the participation of 14 raters without experience with the pathosystem. Three assessments were carried out at weekly intervals. In the first evaluation, 50 images of symptomatic leaves were presented to the evaluators, and the severity values were estimated without the aid of the scale. In subsequent evaluations, the evaluators used the scale. Data were analyzed by two methods: simple linear regression and Lin's coefficient of agreement. By means of simple linear regression, without the scale, the intercept values of 92.86% of the evaluators differed significantly from zero. With the use of the scale, in the first and second evaluations, there was a reduction in the percentage of evaluators with significant intercept values, to 57.14% and 28.57%. Using Lin's coefficient of agreement, the deviation correction factor was 0.918 and 0.991, without and with the use of the scale, respectively. Lin's correlation coefficient of agreement was 0.857 and 0.946, without and with the use of the scale, respectively. Without the scale, most raters overestimated the severity of the disease. With the use of the scale, there was high accuracy, precision, repeatability and reproducibility of estimates. Therefore, the diagrammatic scale developed in this study is recommended to assess the banana yellow Sigatoka.

Keywords: *Musa* spp., *Mycosphaerella musicola*, simple linear regression, Lin's coefficient of agreement.

CAPÍTULO I**Introdução Geral**

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA SIGATOKA AMARELA DA BANANEIRA

INTRODUÇÃO GERAL

1. A cultura da bananeira

A cultura da bananeira pertence à classe das monocotiledôneas, ordem Scitaminales, família Musaceae, subfamília Musoidea e gênero *Musa* (ALMEIDA; SOUZA; CORDEIRO, 2000). Ela apresenta importância socioeconômica mundial, sendo responsável por movimentar US\$ 12 bilhões no mercado internacional em 2017. No Brasil, o valor bruto da produção foi de US\$ 4 milhões (FAOSTAT, 2019). A banana destaca-se entre as frutas mais consumidas, principalmente na forma fresca, em virtude do seu sabor agradável. O consumo *per capita* nacional é estimado em 33 kg habitante⁻¹ ano⁻¹. Do ponto de vista nutricional, a polpa é rica em vitaminas (A, B e C), minerais (cálcio, potássio e ferro), carboidratos (23 a 32 g 100g⁻¹), proteínas (1,0 a 1,3 g 100 g⁻¹), gordura (0,37 a 0,48 g 100 g⁻¹) e baixo teor calórico (90 a 120 kcal 100 g⁻¹). É utilizada para sorvetes, sucos, iogurtes, doces em massa, geleias e bolos (SALOMÃO; SIQUEIRA, 2015).

A produção de banana é distribuída em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo. Os maiores produtores em ordem decrescente são Índia, China, Indonésia, Brasil e Equador, respectivamente (FAOSTAT, 2019). A safra brasileira de banana no primeiro semestre de 2021 foi de 6,9 milhões de toneladas, em área colhida de 461,75 mil ha e produtividade média de 15,02 t ha⁻¹ (IBGE, 2021). No Brasil, a bananeira é cultivada em todas as regiões. Segundo o IBGE (2021), os estados com maior produção foram São Paulo, com 1,07 milhão de toneladas; Bahia, com 878,52 mil toneladas; Minas Gerais, com 800,97 mil toneladas; Santa Catarina, com 714,25 mil toneladas e Pernambuco, com 436,04 mil toneladas. As variedades cultivadas para o mercado interno são a Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra, D'Angola e Nanica. Já para o mercado externo, Nanicao e Grande Naine (BORGES; SOUZA, 2004; CORDEIRO; MATOS, 2000).

A bananeira é uma planta que se adapta a diversos tipos de solos, de preferência planos, profundos e com bom nível de aeração. É exigente em temperaturas em torno de 28°C, precipitação anual de 1.900 mm, elevada luminosidade, vento leve e umidade relativa do ar anual média superior a 80% (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016). Com relação à nutrição, a bananeira é uma planta exigente, devido à elevada quantidade de nutrientes absorvidos e exportados pelos frutos, principalmente o potássio e o nitrogênio (PEREIRA; SILVA; SILVA,

2011; SANTOS *et al.*, 2009). Nesse sentido, solos pouco férteis e desprovidos de níveis adequados de nutrientes durante o ciclo da planta constituem fatores importantes na redução da produtividade da cultura. Outro fator limitante são as doenças que acometem a cultura, desde mudas à plantas adultas em produção, além de frutos em fase de pós-colheita (CORDEIRO; MATOS, 2000).

Entre as doenças de maior importância na bananeira, destacam-se a Sigatoka amarela (*Mycosphaerella musicola* Leach), Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) Mancha de cordana (*Cordana musae* Zimm), Mal do Panamá (*F. oxysporum* f. sp. *cubense* Schlechtend), Murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum* Smith), Antracnose (*Colletotrichum musae* Berk. & MA Curtis), Nematóide das lesões (*Pratylenchus* spp.), Nematóide das galhas (*Meloidogyne* spp.), Mosaico da bananeira (*Cucumber mosaic virus* - CMC) e Vírus das estrias da bananeira (*Banana streak virus* - BSV) (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, *et al.*, 2016).

2. A Sigatoka amarela da bananeira

A Sigatoka amarela da bananeira tem como agente etiológico o fungo *Mycosphaerella musicola* Leach em sua fase sexuada, e *Pseudocercospora musae* (Zimm.) Deighton, na fase assexuada (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016). O primeiro registro da doença foi próximo a Biotenzorg, em Java, por Zimmermann, em 1902. Entretanto, os relatos de prejuízos da doença ocorreram nas Ilhas Fiji, no vale de Sigatoka, em 1912 (PHILPOTT; KNOWLES, 1913). No Brasil, a Sigatoka amarela foi constatada pela primeira vez no estado do Amazonas, em 1944 (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016).

Devido à capacidade de propagação do patógeno, a doença está presente em todas as regiões produtoras de banana do mundo, causando redução acima de 50% na produção de frutas (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016; PLOETZ; KEMA; MA, 2015). Os sintomas iniciais da doença são pontos ou estrias de no máximo 1 mm de comprimento, com leve descoloração entre as nervuras secundárias, geralmente da segunda à quarta folha, a partir da vela. Com o avanço da doença, são notadas estrias necróticas de coloração acinzentada com halo amarelo, que ao coalescerem, desenvolvem áreas necrosadas nas margens das folhas. Consequentemente, observa-se redução da área foliar fotossinteticamente ativa ou morte prematura dos tecidos, e com isso, formação de cachos pequenos e maturação precoce dos frutos (CASTELAN *et al.*, 2013; QUIRINO *et al.*, 2014; VENTURA; HINZ, 2002).

Três elementos associados ao clima são necessários para ocorrência da Sigatoka amarela: chuva, orvalho e temperatura. Na bananicultura brasileira, os picos da Sigatoka

amarela ocorrem durante o período chuvoso e temperaturas ótimas por volta de 25°C (CORDEIRO; MATOS; KIMATI *et al.*, 2016; ROCHA *et al.*, 2012; VENTURA; HINZ, 2002). Dois tipos de esporos estão envolvidos com o desenvolvimento da doença: o ascósporo (sexuado) e o conídio (assexuado), que desempenham funções diferentes na epidemiologia da doença. Os ascósporos são favorecidos por períodos chuvosos. Já os conídios tornam-se fonte de inóculo na ausência do período chuvoso (CORDEIRO; MATOS; KIMATI *et al.*, 2016). A germinação do ascósporo ou conídio ocorre no intervalo entre 24 e 48 h, sendo que o crescimento da hifa sobre a folha estende-se por um período de 96 horas (PASSOS *et al.*, 2013).

A Sigatoka amarela é uma doença de difícil controle. As principais medidas de manejo recomendadas são o controle químico (PERUCH; MEDEIROS; ALBUQUERQUE JUNIOR, 2015) e o uso de variedades resistentes (CORDEIRO; MATOS; KIMATI *et al.*, 2016). Os principais fungicidas pertencem aos grupos químicos isoftalonitrila, triazóis, estrobilurinas, ditiocarbamato, além de fungicidas inorgânicos à base de cobre. Os fungicidas à base de cobre e os ditiocarbamatos possuem ação protetora, já os triazóis e algumas estrobilurinas são sistêmicos. Apesar de fungicidas apresentarem como inconvenientes os custos elevados e os riscos de contaminação ambiental e de trabalhadores, esta ainda é uma das alternativas mais adotadas, pois variedades resistentes muitas vezes não produzem frutos apreciados por consumidores. As variedades Pioneira, Yangambi, Mysore, Terra, Terrinha, D'Angola, Nanica e Figo são consideradas resistentes à doença. Por outro lado, Caipira, Grande Naine, Maçã, Pacovan e Prata Anã são consideradas suscetíveis (AGROFI, 2021).

3. Quantificação de doenças em plantas

A ocorrência de doenças em plantas é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento da agricultura. As doenças afetam a produção das culturas e causam reflexos sociais e econômicos. A quantificação de doenças de plantas, também denominada de fitopatometria, é fundamental para realizar estudos epidemiológicos e para definir medidas de controle (BROWN; KEANE, 1997; CAMPBELL; MADDEN, 1990). Por meio da quantificação de doenças, pode-se identificar fontes de resistência de cultivares a patógenos em programas de melhoramento (QUIRINO *et al.*, 2014), comparar a eficiência de fungicidas ou critérios para tomada de decisão de aplicações de fungicidas (PERUCH; MEDEIROS; ALBUQUERQUE JUNIOR, 2015), descrever padrões de epidemias no tempo e no espaço (FREITAS *et al.*, 2016), validar modelos de previsão (RIOS *et al.*, 2013) e avaliar estratégias de controle (SAMUELIAN; WRIGHT; VAWDREY, 2016).

Para avaliar a importância de determinada doença em uma área de cultivo, é necessário definir planos de amostragem apropriados, e a partir dessas amostras, a intensidade da doença pode ser estimada, por meio de incidência ou severidade. A amostragem consiste basicamente na definição do número de amostras a serem avaliadas, e na forma como essas amostras serão selecionadas na população de plantas. Um dos procedimentos de amostragem mais adotados para avaliar doenças em campo é a amostragem sistemática, com caminamento em W, mais conhecido como caminamento em zig-zag. Para mais detalhes, consultar Campbell e Madden (1990). Caso as amostras não sejam obtidas adequadamente, as estimativas não representarão o comportamento da doença na população.

Para minimizar erros na quantificação de doenças de plantas, o método utilizado nas avaliações deve fornecer resultados acurados e precisos, com reprodutibilidade e repetibilidade elevadas (CAMPBELL; MADDEN, 1990; LARANJEIRA, 2005; VALE *et al.*, 2004). A acurácia refere-se à proximidade dos valores quantificados em uma amostra em relação aos valores verdadeiros. O avaliador acurado é aquele capaz de estimar a doença por meio de valores iguais ou próximos aos valores reais, sem tendências de super ou subestimativas da doença. A precisão refere-se à repetibilidade dos valores associados à amostra, com a menor variação possível entre si. A repetibilidade refere-se à variação dos valores estimados por cada avaliador, em uma mesma amostra, em tempos de avaliação diferentes, e a reprodutibilidade é a variação desses mesmos valores, estimados por diferentes avaliadores, aos pares. Nesse sentido, o método mais adequado para quantificar a doença é aquele que otimiza cada um desses critérios (DUARTE *et al.*, 2014; CAMPBELL; MADDEN, 1990; NUTTER JUNIOR *et al.*, 2006).

Os métodos de quantificação de doenças em plantas são divididos em métodos diretos, onde a estimativa da quantidade de doenças é feita diretamente por meio dos sintomas ou métodos indiretos, onde a quantidade de doença é estimada pela população do patógeno (CAMPBELL; MADDEN, 1990; BOCK *et al.*, 2016; LARANJEIRA, 2005; NUTTER JUNIOR; SCHULTZ, 1995). Dentre os métodos diretos encontram-se a estimativa dos parâmetros de incidência e severidade e as técnicas de sensoriamento remoto.

A incidência é a contagem do número de plantas ou órgãos doentes em relação ao total presente em uma amostra ou população, com resultados expressos em porcentagem. A incidência apresenta a vantagem de ser um procedimento simples, rápido e de fácil execução, e pode ser adotada para avaliar viroses sistêmicas, murchas vasculares ou doenças cuja ocorrência de uma única lesão interfira na comercialização do produto final, como as podridões em frutos (LOPES, *et al.*, 2014). Ela também é útil para avaliar doenças em órgãos aéreos,

como folhas e flores, em determinadas culturas. Nesses casos, quantifica-se o número de órgãos doentes em relação ao total de órgãos amostrados na planta.

A severidade, por sua vez, é a proporção ou porcentagem de tecido doente (área ou volume) em relação ao tecido total (área ou volume) . É recomendada para a avaliação de doenças como ferrugens, oídios, míldios e manchas foliares (CAMPBELL; MADDEN, 1990; DUARTE *et al.*, 2014). Freitas *et al.* (2015) avaliaram o efeito da omissão dos macronutrientes e do B na severidade da Sigatoka amarela. O experimento foi conduzido com mudas em solução nutritiva, mantidas em casa de vegetação, no município de Lavras-MG. Foram avaliados os tratamentos solução nutritiva completa (testemunha) e omissão individual de N, P, K, Ca, Mg, S e B. Houve efeito significativo da omissão dos nutrientes no progresso da doença. Os autores constataram as maiores áreas abaixo da curva de progresso do número de lesões em mudas de bananeira deficientes em K, N, P, S e Mg.

O sensoriamento remoto baseia-se no registro da radiação eletromagnética emitida, absorvida ou refletida pelo objeto em estudo, sem manter contato físico com o alvo de interesse. Quando aplicado a avaliação de plantas, o sensoriamento remoto visa quantificar a diferença existente entre a radiação refletida por copas doentes e sadias (VALE; JESUS JUNIOR; ZAMBOLIM, 2004). Calou *et al.* (2020) monitoraram a severidade da Sigatoka amarela (*Mycosphaerella musicola*) na cultura da banana (*Musa* sp.), utilizando imagens aéreas de alta resolução espacial. As imagens foram coletadas com auxílio de drone, na cidade de Fortaleza-CE. As avaliações em campo foram delineadas de modo aleatório, selecionando-se 30 plantas em área de 4 ha. Realizou-se o processamento das imagens com os algoritmos *Maximum Likelihood* (Máxima Verossimilhança), *Minimum Distance* (Distância Mínima) e *Mahalanobis Distance* (Distância Mahalanobis). Os algoritmos *Minimum Distance* e *Maximum Likelihood* foram eficientes para uso no monitoramento da doença.

3.1 Quantificação de severidade de doenças

Para aprimorar a avaliação da severidade de doenças e minimizar os erros das estimativas, recomenda-se o uso de escalas descritivas, escalas diagramáticas e análise de imagens digitais (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018; ALVES; NUNES, 2012). As chaves descritivas ou classes de severidade são escalas arbitrárias com certo número de graus ou notas para quantificar as doenças. Cada nota da escala representa um estágio específico do progresso dos sintomas da doença. De forma geral, são consideradas subjetivas e, por isso, apresentam baixa precisão nas avaliações (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018; LOPES *et. al.*, 2014).

As escalas diagramáticas são representações ilustrativas de uma série de plantas, ou partes de plantas com sintomas em diferentes níveis de severidade. É uma ferramenta que possibilita a redução da subjetividade das estimativas de severidade entre os avaliadores, e desta forma, melhora a acurácia e precisão da avaliação (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018; ALVES; NUNES, 2012; NUTTER JUNIOR *et al.*, 2006).

Já a análise de imagens digitais é feita com o auxílio de programas computacionais que realizam as estimativas da porcentagem da área visivelmente doente, com acurácia e precisão máximas, além da possibilidade de cálculo do tamanho das lesões, classificação das lesões por tamanho e cálculo do número de lesões no órgão em análise. Dentre os *softwares* utilizados para essa finalidade, cita-se o *Quant*[®] (VALE; FERNANDES FILHO; LIBERATO, 2003) e o *Assess*[®] (LAMARI, 2002). *Softwares* dessa categoria podem ainda, ser utilizados no processo de desenvolvimento de escalas diagramáticas, pois informam a severidade real das doenças nos órgãos analisados. Apesar das vantagens dessa abordagem, quando o interesse é avaliar número elevado de amostras, a análise de imagens torna-se um processo laborioso, principalmente quando é necessário realizar avaliações frequentes, como aquelas adotadas em levantamentos de doenças em propriedades comerciais, para tomada de decisão de aplicação de produtos. Nesses casos, o procedimento mais simples é realizar o treinamento dos avaliadores, para fazerem a estimativa visual da doença, com auxílio de escala diagramática desenvolvida e validada para o patossistema de interesse.

3.1.1 Escalas diagramáticas

Os valores de severidade de doença em um órgão podem variar de 0 a 100%, e caso o avaliador não disponha de uma escala diagramática, ele pode atribuir valores discrepantes em relação à severidade real, sub ou superestimando a doença grosseiramente. Por outro lado, o uso de escala contribui para a redução da discrepância na estimativa visual do avaliador em relação à severidade real (CAMPBELL; MADDEN, 1990). Visando minimizar a possibilidade de uso inadequado, as escalas diagramáticas devem ser simples, aplicáveis em diferentes condições e representar os diferentes níveis de severidade, considerando as características próprias do hospedeiro e da doença (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2018; ALVES; NUNES, 2012). Além disso, os limites inferior e superior da escala devem corresponder aos valores de intensidades mínima e máxima, observados no campo.

As subdivisões da escala de preferência devem considerar a lei de acuidade visual, proposta por Weber-Fechner, em que a acuidade visual é proporcional ao logaritmo da

intensidade do estímulo. Com base nessa lei, entende-se que o olho humano tende a ler tecido doente abaixo de 50% de área lesionada e tecido sadio, acima de 50% (HORSFALL; COWLING, 1978; HORSFALL; BARRAT, 1945). As classes são representadas em porcentagem de tecido vegetal doente, com intervalos variáveis e espaçados logaritmicamente (SILVA; MICHEREFF, 2016). Todavia, pesquisas recentes contestam a lei de Weber-Fechner. Nutter Junior e Esker (2006) avaliaram a acuidade visual humana em distinguir diagramas com três valores de severidade de Ferrugem do trigo e Míldio da videira: 25%, 37% e 50%. Os resultados indicaram capacidade visual dos avaliadores em diferenciar valores de severidade considerando intervalos lineares. Para a elaboração de escalas diagramáticas, considera-se mais apropriado o uso de intervalos logarítmicos para os menores valores de severidade, e intervalos lineares para níveis superiores (SCHWANCK; DEL PONTE, 2014).

Para validar escalas diagramáticas, os dados obtidos são submetidos à análise de regressão linear simples e/ou coeficiente de correlação de concordância de Lin (MADDEN *et al.*, 2007; NUTTER JUNIOR; ESKER; COELHO NETTO, 2006). Contudo, escalas já foram publicadas sem nenhum dos métodos de validação (DEL PONTE *et al.*, 2017), sobretudo, as mais antigas, como a primeira escala diagramática elaborada para Ferrugem do trigo, proposta por Cobb, em 1892 (HORSFALL; COWLING, 1978).

A partir de 1991, a regressão linear simples passou a ser utilizada como o método de validação de escalas diagramáticas (GIGLIOTI; CANTERI, 1998; LAZAROTO *et al.*, 2012; MICHEREFF *et al.*, 2000; SANTOS *et al.*, 2017). Por esse método, as análises são realizadas entre os valores estimados e os valores reais, sem e com o auxílio da escala. A acurácia é avaliada em função dos valores do intercepto (a) e do coeficiente angular (b) da reta de regressão linear. Quanto mais próximo o intercepto estiver de 0 e o coeficiente angular de 1, maior é a acurácia. O teste t é aplicado aos coeficientes do modelo para avaliar sua significância. Já a precisão é verificada pelo coeficiente de determinação (R^2). Quanto mais próximo de 1, mais preciso (NUTTER JUNIOR; SCHULTZ, 1995). A desvantagem da análise de regressão simples em algumas situações para quantificar a acurácia ou concordância foi relatada anteriormente por Lin (1989) e Madden *et al.* (2007). Essa análise pode não identificar adequadamente o intercepto 0 e o coeficiente angular da reta 1, se houver elevada dispersão das estimativas. Quanto menor a precisão das estimativas, menor a probabilidade de rejeitar a hipótese nula (erro tipo II). Ao contrário, a hipótese nula para estimativas altamente reprodutíveis poderia ser rejeitada devido a um erro residual baixo (erro tipo I). Essa observação levou Lin (1989) a desenvolver um novo coeficiente de correlação de concordância.

Atualmente, o coeficiente de correlação de concordância de Lin (1989) é considerado

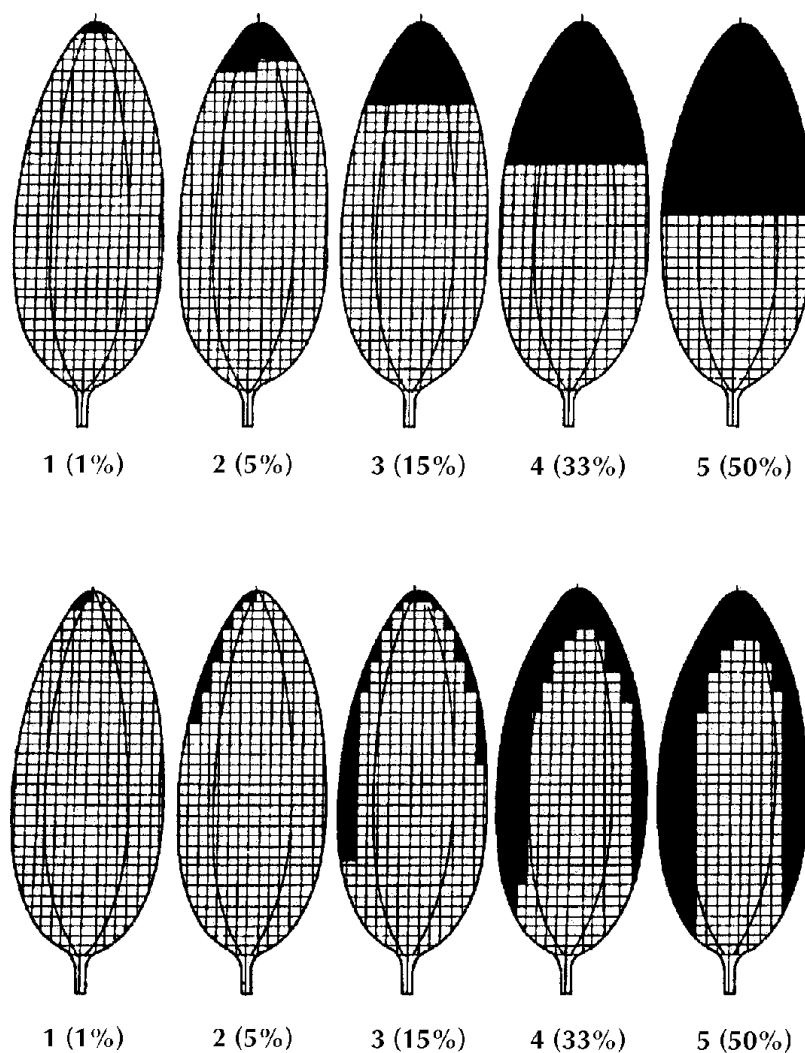
adequado para estimar a severidade de doenças em plantas, pois combina em um único índice a acurácia e precisão das estimativas e facilita a interpretação dos dados (MADDEN *et al.*, 2007). O método proposto por Lin foi empregado nos últimos 10 anos em alguns estudos (ARAUJO *et al.*, 2019; FILIPPI *et al.*, 2021; GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ *et al.*, 2014; SPOLTI *et al.*, 2011). Nesse método, ao combinar as medidas de acurácia e precisão, é calculado e avaliado o grau em que os pares das observações se deslocam em relação à linha concordante de 45° (com intercepto = 0 e inclinação = 1), ou reta 1:1 (BOCK *et al.*, 2010; LIN, 1989). A regressão linear simples e o coeficiente de correlação de concordância de Lin também foram utilizados, simultaneamente, em trabalhos recentes de desenvolvimento de escalas (BRAIDO *et al.*, 2015; CORREIA *et al.*, 2017; DOMICIANO *et al.*, 2014; DUARTE *et al.*, 2013).

3.1.2 Escalas utilizadas para avaliar a severidade da Sigatoka amarela da bananeira

Apesar da importância da Sigatoka amarela da bananeira, apenas uma escala diagramática foi desenvolvida para avaliar a severidade da doença. Foi elaborada por Stover (1971), e posteriormente, modificada por Gauhl (1994). Atualmente, é a ferramenta utilizada na avaliação da intensidade da doença no campo. Entretanto, a escala não passou por processo de validação, pois não era um critério levado em consideração pela comunidade científica da época (JAMES; JENKINS; JEMMETT, 1968; LARGE 1966). Além disso, a representação gráfica da escala não é adequada para caracterizar a doença em campo.

A escala digramática proposta por Stover foi classificada em cinco graus, onde: (0) menos de 10 manchas por folha; (1) menos de 5% de área foliar com sintomas; (2) de 5 a 15% de área foliar com sintomas; (3) de 16 a 33% de área foliar com sintomas e (4) mais de 33% de área foliar com sintomas. Já a escala modificada por Gauhl (1994), foi classificada em seis graus, onde: (1) folhas sem sintomas da doença ou até 10 manchas; (2) menos de 5% de área foliar com sintomas; (3) 6 a 15% de área foliar com sintomas; (4) 16 a 33% de área foliar com sintomas; (5) 34 a 50% de área foliar com sintomas e (6) mais de 50% de área foliar com sintomas (Figura 1).

Figura 1- Grau de severidade do ataque da Sigatoka-amarela, adaptado de Gauhl (1994)



No levantamento realizado por Del Ponte et. al. (2017) sobre escalas diagramáticas publicadas na literatura, os autores verificaram a inexistência de escalas validadas para as doenças da bananeira. Em relação à Sigatoka amarela da bananeira, levantamentos recentes em bases de dados indicam que esse cenário permanece idêntico. Dessa maneira, o objetivo desse trabalho foi elaborar e validar uma escala diagramática para a avaliação da severidade da Sigatoka amarela da bananeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Consulta de Praga. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit> . Acesso em: 25 de jun. de 2021.

ARAÚJO, E. R. RESENDE, R. S.; KREZANOSKI, C. E.; DUARTE H. S. S. A standard area diagram set for severity assessment of botrytis leaf blight of onion. **European journal of plant pathology**, v. 153, n. 1, p. 273-277, 2019.

ALVES, S. A. M.; NUNES, C. C. **Metodologia para elaboração de escalas diagramáticas para avaliação de doenças em plantas**. Comunicado Técnico 120. Bento Gonçalves: Embrapa, 2012.

ALMEIDA C. O.; SOUZA, J. S; CORDEIRO Z. J. M. Classificação botânica, origem e evolução. In: CORDEIRO, Z. J. M. (ed.). **Banana: produção e aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p.12-29.

AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A. Fenologia, patometria e quantificação de danos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M; BERGAMIM FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 5ª. ed. v.1. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 2018. p. 499-429.

BRAIDO, R.; GONÇALVES-ZULIANI, A. M.; NOCCHI, P. T. R.; BELASQUE JUNIOR, J. B.; JANEIRO, V.; BOCK, C. H.; NUNES, W. M. C. A standard area diagram set to aid estimation of the severity of Asiatic citrus canker on ripe sweet orange fruit. **European Journal of Plant Pathology**, v. 141, n. 2, p. 327-337, 2015.

BOCK, C. H.; POOLE, G. H.; PARKER, P. E.; GOTTWALD, T. R. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. **Critical Review in Plant Sciences**, Philadelphia, v.29, n. 2, p.59-107, 2010.

BOCK, C. H.; CHIANG, K. S.; DEL PONTE, E. M. Accuracy of plant specimen disease severity estimates: concepts, history, methods, ramifications and challenges for the future. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 11, n. 39, p. 1-13, 2016.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A.M.G. Nutrição, adubação e calagem. In: CORDEIRO, Z.J.M (ed.). **Banana: produção e aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p.47-59.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. (ed.). **O Cultivo da Bananeira**. Cruz das Alma - BA. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2004. 279 p.

BROWN, J. F.; KEANE, P. Assessment of disease and effects on yield. In: BROWN, J. F.; OGLE, H. J. (ed.) **Plant Pathogens and Plant Diseases**. Armidale: Australasian Plant Pathogen Society. p. 315-329, p. 315-329, 1997.

CASTELAN, F. P.; ABADIE, C.; HUBERT, O.; CHILIN-CHARLES, Y.; BELLAIRE, L.L.; CHILLET. M. Relation between the severity of Sigatoka disease and banana quality

characterized by pomological traits and fruit green life. **Crop Protection**, v.5 p. 61- 65, 2013.

CALOU, V. B. C; TEIXEIRA, S. A.; MOREIRA, L. C. J.; LIMA, C. S.; OLIVEIRA, J. B.; OLIVEIRA, M.R.R. The use of UAVs in monitoring yellow sigatoka in banana. **Byosystems engineering**, v. 193, p. 115-125, 2020.

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

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.

CORREIA, K.C.; QUEIROZ, J. V. J.; MARTINS, R. B.; NICOLI, A.; DEL PONTE, E. M.; MICHEREFF, S. J. Development and evaluation of a standard area diagram set for the severity of phomopsis leaf blight on eggplant. **European Journal of Plant Pathology**, v. 149, p. 269-276, 2017.

DEL PONTE, E. M.; PETHYBRIDGE, S. J.; BOCK, C. H.; MICHEREFF, S. J.; MACHADO, F. J.; SPOLTI, P. Standard area diagrams for aiding severity estimation: scientometrics, pathosystems, and methodological trends in the last 25 years. **Phytopathology**, v. 107, n. 10, p. 1161-1174, 2017.

DOMICIANO, G. P.; DUARTE, H. S. S.; MOREIRA, E. N.; RODRIGUES, F. A. Development and validation of a set of standard area diagrams to aid in estimation of spot blotch severity on wheat leaves. **Plant Pathology**, v. 63, p. 922–928, 2014.

DUARTE, H. S. S.; CAPUCHO, A. S.; LOPES, U. P.; ZAMBOLIM, L. Elaboração e validação de escala diagramática. In: ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C.; RODRIGUES, F. A (ed). **O Essencial da Fitopatologia: Epidemiologia de Doenças de Plantas** 1. ed. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, 2014. v. 2. 471p.

DUARTE, H. S. S.; ZAMBOLIM, L.; CAPUCHO, A.S.; NOGUEIRA JUNIOR, A. F.; ROSADO, A. W. C.; CARDOSO, C. R.; PAUL, P. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Development and validation of a set of standard area diagrams to estimate severity of potato early blight. **European Journal of Plant Pathology**, v. 137, n. 2, p. 249–257, 2013.

FAOSTAT. Food and agriculture organization of the United Nations statistics division. **Production/Crops**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/E>>. Acesso em: 10 jun. 2021.

FREITAS, A. S.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; OLIVEIRA, M. G. F.; SILVA, H. R.; ROCHA, H.S.; GALVÃO, L. R. Impact of nutritional deficiency on Yellow Sigatoka of banana. **Australasian Plant Pathology**. Toowoomba, v. 44, n. 5, p.583-590, 2015.

FREITAS, A. S.; POZZA, E. A.; ALVES, M. C.; COELHO, G.; ROCHA, H. S.; POZZA, A. A. A. Spatial distribution of Yellow Sigatoka Leaf Spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 17, p. 93-107, 2016.

FILIPPI, D.; NIENOW, A. A.; CHIOMENTO, J. L. T.; SANTOS T. T.; DORNELLES, A. G.; CALVETE, E. O.; HUZAR-NOVAKOWISKI, J. Development and validation of a set of

standard area diagrams to assess severity of gray mold in strawberry fruit. **European Journal of Plant Pathology**, v. 160, n. 2, p. 277-286, 2021.

GIGLIOTI, E. A.; CANTERI, M. G. Desenvolvimento de software e escala diagramática para seleção e treinamento de avaliadores da severidade de complexo broca-podridões em cana-deaçúcar. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, p. 359-363, 1998.

GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ, E.; MARTINS, R. B.; DEL PONTE, E. M.; MICHEREFF, S. J.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J.; ARMENGOL, J. Development and validation of a standard area diagram set to aid assessment of severity of loquat scab on fruit. **European Journal of Plant Pathology**, v. 139, p. 413-422, 2014.

HOFFMANN, R. B.; OLIVEIRA, F. H. T. D.; SOUZA, A. P. D.; GHEYI, H. R.; SOUZA JUNIOR, R. F. D. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n. 1, p. 268-275, 2010.

HORSFALL J. G.; BARRAT, R.W. An improved grading system for measuring plant disease. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 35, p. 655, 1945.

HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. Pathometry: the measurement of plant disease. **Plant disease: an advanced treatise-how disease develops in populations**, v. 2, 1978.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em:<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas> . Acesso em: 11 jun. 2021.

LOPES, U. P. Quantificação de doenças de plantas. In: ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C.; RODRIGUES, F. A. **O Essencial da Fitopatologia: Epidemiologia de Doenças de Plantas** 1. ed. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, 2014. v. 2. 471p

LAZAROTO, A.; SANTOS, I. D.; KONFLANZ, V. A.; MALAGI, G.; CAMOCHENA, R. C. Escala diagramática para avaliação de severidade da Helminthosporiose comum em milho. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, 2012.

LAMARI, L. ASSESS: Image Analysis Software for Plant Disease Quantification. **American Phytopathology**, St. Paul, MN, 2002.

LARANJEIRA, F. F. Problemas e perspectivas da avaliação de doenças como suporte ao melhoramento do maracujazeiro. In: FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F. **Maracujá – Germoplasma e melhoramento genético**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. p. 159-184.

LIN, L. I. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, v. 45, n. 1, p. 255-268, 1989.

MADDEN, L.V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. Saint Paul: APS Press, 2007. 432p.

NUTTER JUNIOR, F.W.; ESKER, P.D. The role of psychophysics in phytopathology. **European Journal Plant Pathology**, v.114, p.199-213, 2006.

NUTTER JUNIOR, F. W.; SCHULTZ, P. M. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. **Canadian Journal of plant pathology**, v. 17, n. 2, p. 174-184, 1995.

NUTTER JUNIOR, F. W.; ESKER, P. D.; COELHO NETTO, R. A. Disease assessment concepts and the advancements made in improving the accuracy and precision of plant disease data. **European Journal of Plant Pathology**, v. 115, n. 1, p. 95-103, 2006.

PASSOS, M.A N.; CRUZ, V. O.; EMEDIATO, F. L.; TEIXEIRA, C. C.; AZEVEDO, V. C. R.; BRASILEIRO, A. C. M.; Amorim, E. P.; FERREIRA, C. F.; MARTINS, N. F.; TOGAWA, R. C.; PAPPAS JUNIOR, G. J.; SILVA JUNIOR, O. B.; MILLER, R. N. G. Analysis of the leaf transcriptome of *Musa acuminata* during interaction with *Mycosphaerella musicola*: Gene assembly, annotation and marker development. **BMC Genomics**, v.14 (78), p.1-17, 2013.

PERUCH, L. A. M.; MEDEIROS, A. M.; ALBUQUERQUE JUNIOR, C. L. Biomassa cítrica e fungicidas combinados com desfolha no controle da Sigatoka amarela em banana “Prata”. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 14, n. 3, p. 234-239, 2015.

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

PLOETZ, R. C.; KEMA, G. H.; MA, L. J. Impact of diseases on export and smallholder production of banana. **Annual Review of Phytopathology**, p.269-288, 2015.

QUIRINO, Z. B. R.; TALAMINI, V.; MUNIZ, A. D. S.; SILVA JUNIOR, J. F.; LEDO, A. D. S.; OLIVIERA, F. Progresso da Sigatoka amarela na cultivar Prata-anã em Sergipe. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 10, n.10, p. 2-10, 2014.

QUIRINO, Z. B. D. R.; LÉDO, A. D. S.; TALAMINI, V.; OLIVEIRA, L. F. M.; TEIXEIRA, K. C. D. S. Resposta à Sigatoka amarela de genótipos de bananeira nos tabuleiros costeiros de Sergipe, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 209-213, 2014.

REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. Doenças da bananeira. In: CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P.; KIMATI, H. (ed.) **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. 5ª ed. v. 2. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 2016. p. 109-124.

RIOS, S. A.; DIAS, M. S. C.; CORDEIRO, Z. J. M.; SOUZA, W. M.; SILVA, J. J. C. BARBOSA, J. A. A.; PINHO, R. S.C.; ABREU S. C.; SANTOS, L. O. Sistema de pré-aviso para controle de Sigatoka amarela no norte de Minas Gerais. **Biotemas**, v. 26, n. 3, p. 109-115, set. 2013.

ROCHA H. S. Temporal progress of Yellow Sigatoka and aerobiology of *Mycosphaerella musicola* Spores. **Journal of Phytopathology**, v.160, p.277-285, 2012.

SAMUELIAN, S.; WRIGHT, C.; VAWDREY, L. L. Evaluation of chlorothalonil and paraffinic oil alone and in combinations with registered fungicides for the control of yellow Sigatoka (*Mycosphaerella musicola*) of bananas in Northern Queensland, Australia. **Crop Protection**, v. 82, p. 45-50, 2016.

SANTOS, P. H. D. D; MUSSI-DIAS, V.; FREIRE, M. D. G. M; CARVALHO, B. M; SILVEIRA, S. F. D. Diagrammatic scale of severity for postharvest black rot (*Ceratocystis paradoxa*) in coconut palm fruits. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 4, p. 269-275, 2017. SALOMÃO, L.C.C.; SIQUEIRA, D.L. **Cultivo de bananeira**. – Viçosa, MG: ed. UFV, 2015, 109 p.

SANTOS, V. P. D.; FERNANDES, P. D.; MELO, A. S. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. D. M.; BONFIM, L. V. 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.

SCHWANCK, A. A.; DEL PONTE, E. M. Accuracy and reliability of severity estimates using linear or logarithmic disease diagram sets in true colour or black and white: a study case for rice brown spot. **Journal of Phytopathology**, v. 162, n. 10, p. 670-682, 2014.

SILVA, F. J. A.; MICHEREFF, S. J. Quantificação de fitobacterioses. In: GAMA, M. A. S; NICOLI, A.; GUIMARÃES, L. M. P; LOPES, U. P; MICHEREF, S. J. (ed.) **Estado da arte em fitobacterioses tropicais**. UFRPE, Recife, p. 83-106, 2016.

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

SPOLTI, P., 2011. Improving sooty blotch and flyspeck severity estimation on apple fruit with the aid of standard area diagrams. **European Journal of Plant Pathology**. 129: 21-29, 2011.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W C ; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia Aplicada no Manejo de Doenças de Plantas**. Belo Horizonte, MG: Editora Perfil, 2004. v. 1. 532p.

VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; LIBERATO, J.R. QUANT: A software plant disease severity assessment. In: 8th international congress of plant pathology. **Anais...** New Zealand: Christchurch, 2003. v.8, p.105.

VENTURA, J. A.; HINS, R. H. Controle das doenças da bananeira. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; MONTEIRO, A. J. A.; COSTA, H. (ed.). **Controle de doenças de plantas fruteiras**. Viçosa, MG: UFV, v. 2, p. 839-938, 2002.

CAPÍTULO II

Desenvolvimento e validação de escala diagramática para avaliação da Sigatoka amarela da bananeira

**Desenvolvimento e validação de escala diagramática para avaliação da
Sigatoka amarela da bananeira**

Maria Roselane Alves Oliveira¹, Kledson Mendes dos Santos¹, Fábio Júnior Araújo¹,
Sami Jorge Michereff², Aurivan Soares de Freitas³, Henrique da Silva Silveira Duarte⁴,
Humberson Rocha Silva¹

¹Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE
52171-900, Brasil

²Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade, Universidade Federal do Cariri,
Crato, CE 63133-610, Brasil

³Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, MG 37417-150, Brasil

⁴Instituto Federal Catarinense, Araquari, SC 89.245-000, Araquari, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar uma escala diagramática para avaliar a severidade da Sigatoka amarela da bananeira. A escala diagramática foi elaborada e validada com oito níveis de severidade (0,44; 5,43; 12,80; 20,22; 40,26; 60,20; 72,83 e 91,28%). A validação da escala envolveu a participação de 14 avaliadores sem experiência com o patossistema. Realizaram-se três avaliações, com intervalos semanais. Na primeira avaliação, foram apresentadas aos avaliadores, 50 imagens de folhas sintomáticas, e os valores de severidade foram estimados sem o auxílio de escala. Nas avaliações subsequentes, os avaliadores utilizaram a escala. Os dados foram analisados por dois métodos: regressão linear simples e coeficiente de concordância de Lin. Por meio da regressão linear simples, sem a escala, os valores do intercepto de 92,86% dos avaliadores diferiram significativamente de zero. Com o uso da escala, na primeira e segunda avaliações, houve redução na porcentagem de avaliadores com valores de intercepto significativos, para 57,14% e 28,57%. Por meio do coeficiente de concordância de Lin o fator de correção do desvio foi de 0,918 e 0,991, sem e com o uso da escala, respectivamente. O coeficiente de correlação de concordância de Lin, foi de 0,857 e 0,946, sem e com o uso da escala, respectivamente. Sem a escala, a maioria dos avaliadores superestimou a severidade da doença. Já com o uso da escala, houve elevada acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade das estimativas. Portanto, recomenda-se a escala diagramática desenvolvida nesse estudo, para avaliar a Sigatoka amarela da bananeira.

Palavras-chaves: *Musa* spp., *Mycosphaerella musicola*, regressão linear simples, coeficiente de concordância de Lin.

INTRODUÇÃO

A bananeira (*Musa* spp.) é cultivada em todas as regiões brasileiras, sendo a banana uma das frutas mais consumidas e de importância socioeconômica significativa para o país. O Brasil destaca-se como o quarto maior produtor mundial dessa fruta (FAOSTAT, 2019), com produção de 6,9 milhões de toneladas, em área colhida de 461,75 mil ha⁻¹ (IBGE, 2021). Mesmo com valores expressivos de produção, há áreas com baixa produtividade, principalmente em decorrência da falta de tecnologia e do manejo inadequado de pragas e doenças. Dentre as doenças, destaca-se a Sigatoka amarela da bananeira (*Mycosphaerella musicola*), presente em todas as regiões produtoras, causando redução na produção acima de 50% (STOVER; SIMMONDS, 1987). Os sintomas da doença são caracterizados, na fase inicial, por pequenas descolorações em forma de traços de cor amarela a verde-amarelada que se alargam, formando estrias elípticas de contornos irregulares, e com o tempo evoluem para manchas ovais e escuras, com a parte central acinzentada e bordos amarelos (MEREDITH, 1970). As principais estratégias de manejo para a doença são o uso de variedades resistentes, aplicação de fungicidas e práticas culturais, como a drenagem do solo, o controle de plantas daninhas e a desfolha (PERUCH; MEDEIROS; ALBUQUERQUE JUNIOR., 2015; CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016).

Para avaliar a eficiência dessas estratégias de manejo, é necessário quantificar a doença, por meio de métodos simples e rápidos, além de acurados, precisos, repetíveis e reproduzíveis (MADDEN et al., 2007). A severidade é a estratégia mais apropriada para avaliar a intensidade de doenças foliares, incluindo a Sigatoka amarela da bananeira (CASTELAN, et al., 2013; MADDEN et al., 2007; TAVARES; BATISTA; BATISTA, 2016; VALE et al., 2004). No entanto, ela pode ser subjetiva e produzir resultados variáveis entre os avaliadores (CAMPBELL; MADDEN, 1990). Por isso, recomenda-se o uso de escalas diagramáticas, conjunto de ilustrações de sintomas de doenças ou sinais de patógenos em diferentes níveis de severidade, com a finalidade de minimizar os erros de estimativas e melhorar os parâmetros de acurácia, precisão e reprodutibilidade. A acurácia refere-se à proximidade dos valores quantificados em uma amostra em relação aos valores verdadeiros. A precisão refere-se à repetibilidade dos valores associados à amostra, com a menor variação possível entre si. A repetibilidade refere-se à variação dos valores estimados por cada avaliador, em uma mesma amostra, em tempos de avaliação diferentes, e a reprodutibilidade é a variação desses mesmos valores, estimados por

diferentes avaliadores, aos pares (CAMPBELL; MADDEN, 1990; NUTTER JUNIOR et al., 2006; MADDEN et al., 2007).

Para elaborar a escala as amostras de folhas, frutos ou plantas inteiras devem compreender a variação na distribuição, formato de lesões e severidade da doença, abrangendo desde o menor ao maior valor de severidade da doença observado no campo. Já para validar a escala diagramática, os métodos mais utilizados são a regressão linear simples (BARBOSA et al., 2006; GOMES et al., 2004; RODRIGUES et al., 2002) e o coeficiente de correlação de concordância de Lin (GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ et al., 2014; SACHET et al., 2017; SCHWANCK; DEL PONTE, 2014). Alguns autores julgam a validação de escalas diagramáticas por regressão linear simples, inapropriada, pois essa análise pode não identificar adequadamente o intercepto 0 e o coeficiente angular da reta 1, se houver elevada dispersão das estimativas. Quanto menor a precisão das estimativas, menor a probabilidade de rejeitar a hipótese nula (erro tipo II). Ao contrário, a hipótese nula para estimativas altamente reprodutíveis poderia ser rejeitada devido a um erro residual baixo (erro tipo I). Atualmente, o método do coeficiente de correlação de concordância de Lin é recomendado para esta finalidade, pois unifica em um único índice a acurácia e a precisão das estimativas. Entretanto, ambos os métodos podem ser utilizados simultaneamente no processo de validação (BRAIDO et al., 2015; CORREIA et al., 2017; DOLINSKI et al., 2017). Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar uma escala diagramática para avaliar a severidade da Sigatoka amarela da bananeira.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento da escala diagramática

Para elaborar a escala diagramática, foram obtidas imagens de 50 folhas de bananeira apresentando sintomas típicos de Sigatoka amarela. O material foi coletado de plantio comercial no município de São Vicente Férrer, Pernambuco, Brasil. A face adaxial da folha foi fotografada com câmera digital Nikon D3200 na altura de 1,5 m. Posteriormente, determinou-se a área foliar doente considerando-se a área necrótica e clorótica, e a área total de cada folha, com o auxílio do software ASSESS versão 2.0 (LAMARI, 2008). Para constituir o diagrama, foram utilizadas imagens reais das folhas, apresentando oito níveis de severidade, com base na combinação de incrementos

logarítmicos e lineares (DEL PONTE et al., 2017; SCHWANCK; DEL PONTE, 2014).

Validação da escala diagramática

Para validar a escala diagramática, realizaram-se três avaliações, com intervalos semanais. A primeira avaliação foi realizada sem o uso da escala, e as demais, com o seu uso. Foram projetadas 50 imagens de folhas de bananeira com Sigatoka amarela para os 14 avaliadores sem experiência na quantificação da doença, inseridas aleatoriamente em slides individuais do Microsoft PowerPoint®, com tempo programado de 20 s por imagem.

Análises de dados

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas para determinar a contribuição da escala em relação à acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade, por meio de regressão linear simples e coeficiente de correlação de concordância de Lin (LIN, 1989). Para o método de regressão linear simples, a acurácia e a precisão foram determinadas avaliando-se a relação entre a severidade real (variável independente) e a severidade estimada (variável dependente). A acurácia de cada avaliador foi estabelecida com o teste t aplicado ao intercepto da regressão linear (a) para averiguar a hipótese $H_0: a = 0$ ($p < 0,05$) e coeficiente angular da reta (b) para verificar a hipótese $H_0: b = 1$ ($p < 0,05$). As estimativas com valores de “ a ” e “ b ”, diferindo significativamente de 0 e 1, respectivamente, indicam super ou subestimação da severidade real. A precisão de cada avaliador foi determinada por coeficiente de determinação (R^2) da regressão linear e erro absoluto (severidade estimada menos a severidade real). As análises de regressão foram realizadas com o auxílio do programa Microsoft Excel 2007.

Para avaliar a acurácia e precisão por meio do coeficiente de correlação de concordância de Lin (ρ_c) (LIN, 1989), foram considerados os dados da avaliação sem escala e da primeira avaliação com a escala. Nessa abordagem, deve-se calcular e avaliar o grau em que os pares das observações deslocam-se em relação à linha de concordância (45°). Essa informação foi obtida por meio da equação: $\rho_c = r \times C_b$, onde r é o coeficiente de correlação de Pearson entre a severidade estimada (Y) e a severidade real (X), que mede a precisão ou a dispersão de pontos em torno da linha de melhor ajuste. C_b é um fator de correção do desvio que mede a distância entre a linha ajustada da regressão e a

linha concordante de 45°, sendo, portanto, uma medida de acurácia. Esse parâmetro é expresso por $C_b = 2/[(v + 1/v + u^2)]$, onde $v = \sigma_y/\sigma_x$, e σ_y e σ_x são os desvios padrão de Y e X, respectivamente; e $u = (\mu_y - \mu_x)/\sqrt{(\sigma_y \cdot \sigma_x)}$, onde μ_y e μ_x são os valores médios de Y e X, respectivamente. O termo v mede a diferença na inclinação entre a linha ajustada e a linha de concordância (viés de escala). O termo u é uma medida da mudança de localização que reflete as diferenças de altura entre a linha ajustada e a linha de concordância (viés de localização). Em um acordo perfeito entre as estimativas e os valores reais, os pontos se encontram na linha de concordância e $\mu_y = \mu_x$, $\sigma_y = \sigma_x$, $r = 1$, $v = 1$, $u = 0$, $C_b = 1$ e $\rho_c = 1$ (BOCK et al., 2010, NITA et al., 2003). A repetibilidade das estimativas do mesmo avaliador, foi determinada por meio da regressão linear simples da segunda avaliação em relação à primeira, com o auxílio da escala. A reprodutibilidade das estimativas entre avaliadores foi determinada por dois métodos. Primeiro, utilizando o coeficiente de determinação (R^2) das análises de regressão linear entre as severidades estimadas por diferentes avaliadores combinados em pares (NUTTER JUNIOR; SCHULTZ, 1995). Segundo, usando a correlação intracluster (ou intraclass) (ρ) para todos os avaliadores combinados, conforme descrito por Nita et al. (2003) e Shoukri e Pause (1999). O ρ foi obtido por meio de estimativas dos componentes de variância, utilizando um esquema fatorial com dois fatores (avaliadores e amostras), sendo a variável resposta a severidade estimada por cada avaliador. O ρ foi determinado por meio da equação $\rho = \sigma^2_{amostra}/(\sigma^2_{amostra} + \sigma^2_{avaliador} + \sigma^2_{erro})$, em que $\sigma^2_{amostra}$, $\sigma^2_{avaliador}$ e σ^2_{erro} são as variâncias da amostra, do avaliador e do erro, respectivamente (DUARTE et., 2014). Quanto mais próximo de 1 for o valor de ρ , maior é a reprodutibilidade dos avaliadores (BELASQUE et al., 2005; LEITE et al., 2002; YADAV et. al. 2013).

As diferenças entre as médias (com escala menos sem escala) foram calculadas para as estatísticas de Lin (r , C_b , v , u e ρ_c) (BARDSLEY; NGUGI 2013; YADAV et al., 2013). Além disso, foi usado o teste de equivalência para calcular o intervalo de confiança ($\gamma=95\%$) da diferença entre médias para cada variável por *bootstrap* utilizando o método percentil (com um teste de equivalência, a hipótese nula (H_0) é a não equivalência, o oposto de H_0) (YADAV et al., 2013). As análises foram baseadas em 10.000 amostras de *bootstrap* balanceadas. Se os ICs incluísem zero, não houve diferença significativa ($p<0,05$). Todas as análises estatísticas foram calculadas com auxílio do software estatístico R (R Core Team, 2021). A função *epi.ccc* do pacote *epiR* (STEVENSON, 2012) foi usada para obter as estatísticas do coeficiente de correlação de

concordância de Lin. A função interna `boot.sample` R foi usada para o teste de equivalência. O ρ foi calculado com a função `icc` do pacote `irr` R (GAMER, 2012).

RESULTADOS

A escala diagramática para quantificar a severidade da Sigatoka amarela da bananeira compreendeu os valores mínimos e máximos comumente observados em campo. Dessa forma, a escala foi elaborada com oito níveis de severidade: 0,44; 5,43; 12,80; 20,22; 40,26; 60,20; 72,83 e 91,28% de área foliar lesionada (Figura 1).

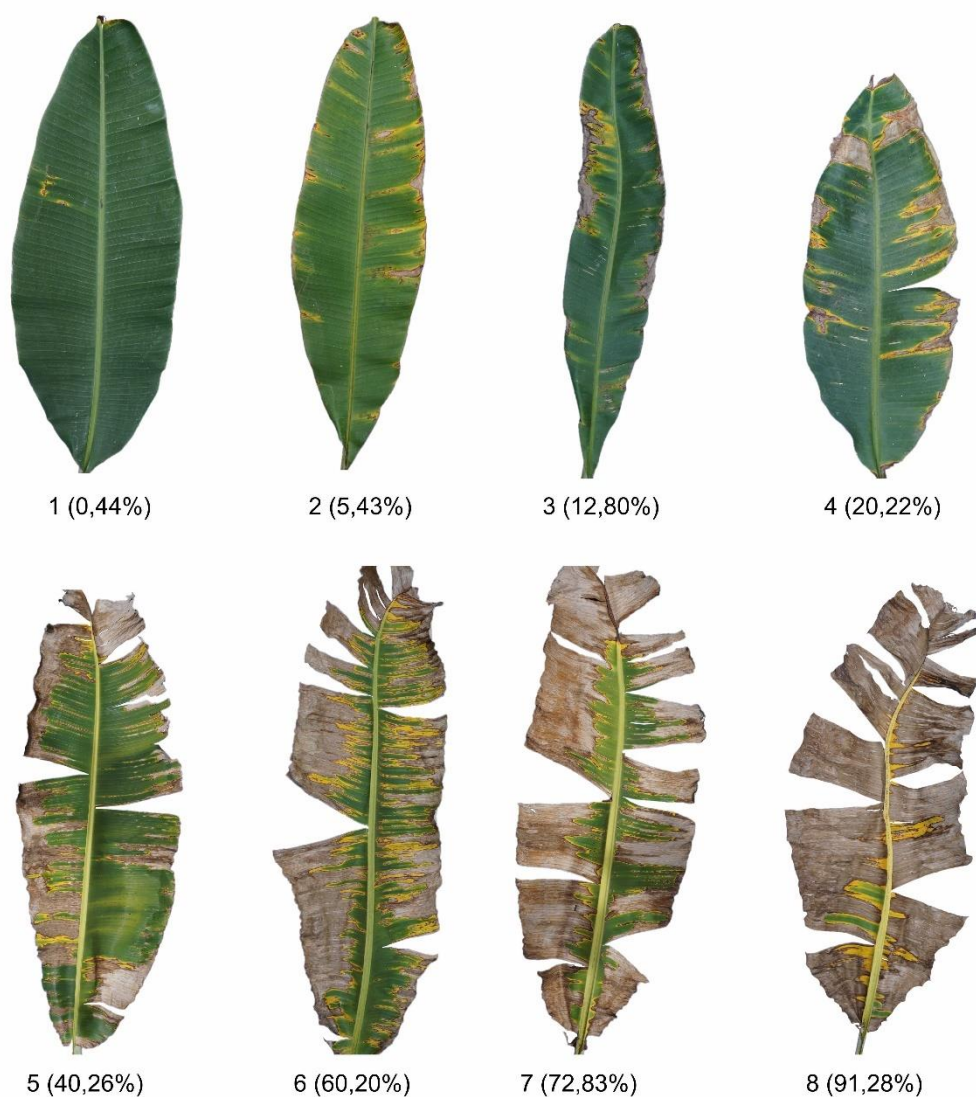


Figura 1. Escala diagramática para avaliar a severidade da Sigatoka amarela (*Mycosphaerella musicola*) em folhas de bananeira. Os números de 1 a 8 representam as notas para cada nível de severidade da escala. Os valores de severidade (dentro dos parênteses) referem-se à porcentagem de área foliar com sintomas da doença, abrangendo área necrótica e clorótica.

Validação da escala diagramática usando regressão linear simples

Houve tendência em superestimar os valores de severidade da doença, sem o auxílio da escala. Os valores do intercepto da equação de regressão para 92,86% dos avaliadores (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L e M), diferiram significativamente de zero ($p < 0,05$), com média de 10,95. Com o uso da escala, na primeira e segunda avaliações, houve redução na porcentagem de avaliadores com valores de intercepto significativos, para 57,14% e 28,57%, sendo as médias, 3,25 e 2,02, respectivamente (Tabela 1). Com o uso da escala diagramática na primeira e segunda avaliações, os avaliadores apresentaram, de forma geral, leve tendência em subestimar a doença nos níveis mais elevados de severidade (Figura 1). Consequentemente, houve maior ocorrência de valores de coeficiente angular diferindo significativamente de 1 ($p < 0,05$), com redução na inclinação da reta de regressão, sendo a média sem escala igual a 0,97, e com escala, de 0,89 e 0,92, na primeira e segunda avaliações, respectivamente (Tabela 1). Apesar disso, a escala proporcionou aumento de acurácia, com redução de erros sistemáticos, principalmente para valores de severidade mais baixos, que comumente são superestimados sem essa ferramenta (Figura 2).

Tabela 1. Coeficientes da equação ajustada ($y = ax + b$) e coeficiente de determinação (R^2) entre a severidade real e a estimada, sem o uso da escala e com o uso da escala na primeira e segunda avaliação.

Avaliador	Sem Escala			Com Escala					
				1ª Avaliação			2ª Avaliação		
	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2
A	11,20*	0,91	0,86	1,53	0,82*	0,89	0,91	0,84*	0,89
B	11,32*	1	0,90	3,48*	0,95	0,94	2,9	0,93	0,93
C	27,68*	0,80*	0,69	4,75*	0,88*	0,91	0,84	0,99	0,95
D	25,13*	0,95	0,76	2,85	0,83*	0,88	1,09	0,93	0,91
E	13,14*	0,99	0,9	6,73*	0,87*	0,91	5,50*	0,91*	0,93
F	5,88*	0,97	0,91	0,18	0,99	0,93	1,05	0,97	0,94
G	3,30*	0,99	0,95	5,17*	0,83*	0,89	2,16	0,89*	0,95
H	10,13*	0,77*	0,9	5,37*	0,89*	0,94	5,06*	0,88*	0,92
I	13,80*	0,94	0,84	-2,37	0,93	0,94	-1,22	0,90*	0,93
J	8,56*	0,98	0,92	4,04*	0,80*	0,87	4,21*	0,82*	0,91
K	7,67*	1	0,92	3,94*	0,92	0,91	1,27	0,96	0,96
L	10,64*	0,99	0,8	6,19*	0,88*	0,88	3,90*	0,88*	0,92
M	8,13*	1,05	0,92	0,41	0,93*	0,95	-0,58	0,97	0,96
N	-3,26	1,16*	0,91	3,22	0,94	0,89	1,2	0,94	0,97
Média	10,95	0,97	0,87	3,25	0,89	0,91	2,02	0,92	0,93

*Asterisco indica que a hipótese nula ($a=0$ ou $b=1$) foi rejeitada pelo teste t ($p < 0,05$).

A precisão foi verificada por meio do coeficiente de determinação (R^2), com média de 0,87, sem escala, e 0,91 e 0,93, na primeira e segunda avaliações, com escala, respectivamente (Tabela 1). É importante frisar a redução na dispersão dos erros absolutos nas avaliações com a escala. Os valores de mínimo e máximo dos erros absolutos para a avaliação sem escala, variaram de -0,3 a 50,69, indicando heterogeneidade elevada. Com o uso da escala, os erros absolutos tiveram sua amplitude reduzida, com valores variando de -0,01 a 30,69 na primeira avaliação, e de 0,01 a -26,76 segunda avaliação (Figura 2). A porcentagem de valores com erros absolutos na faixa de 0 a 5% foi de 31,57%, sem a escala, e de 55,57% e 61,57%, na primeira e segunda avaliações com escala, respectivamente. Considerando os erros absolutos na faixa de 0 a 10%, 55,71% dos valores apresentaram essa amplitude, sem a escala, enquanto com o auxílio da escala, a porcentagem aumentou para 79,14% e 84,43% dos valores, na primeira e segunda avaliações, respectivamente (Tabela 2).

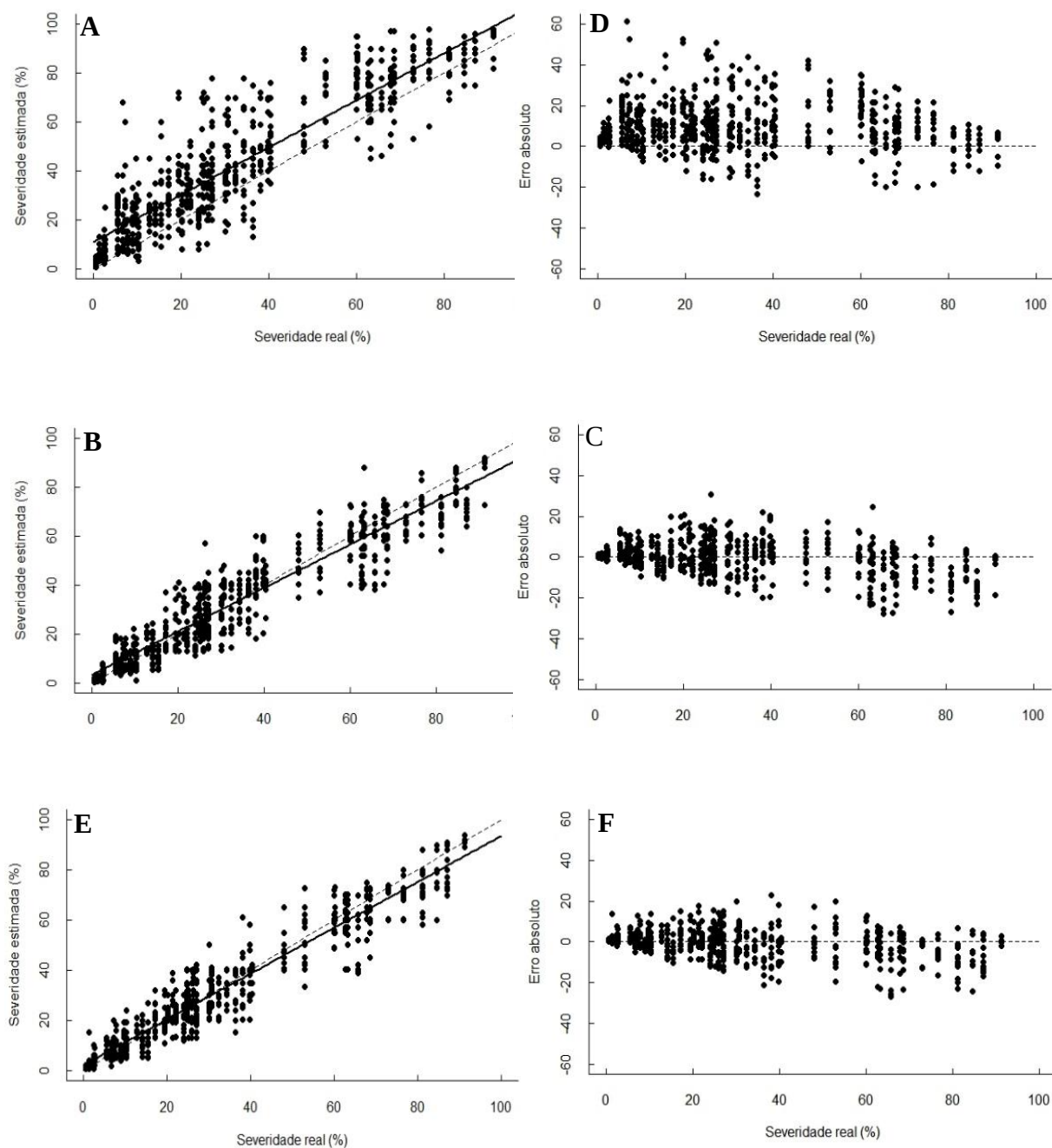


Figura 2. Gráficos de regressão entre severidade estimada e real e gráficos de erros absolutos (severidade estimada menos severidade real) para as estimativas de Sigatoka amarela, realizadas sem (A e D) e com o auxílio da diagramática (B, C, E e F).

Tabela 2. Porcentagem de valores de erro absoluto na faixa de variação de 0 a 5%, de 0 a 10% e acima de 10%, na avaliação sem o uso da escala e com o uso da escala na primeira e segunda avaliação.

Erro absoluto	Sem escala	Com escala	
		1ª Avaliação	2ª Avaliação
0-5	31,57	55,57	61,57
0-10	55,71	79,14	84,43
>10	44,29	20,86	15,57

Validação da escala diagramática usando o coeficiente de correlação de concordância de Lin (ρ_c)

Todas as estatísticas de Lin (r , C_b , v , u e ρ_c) foram melhoradas significativamente com o auxílio da escala diagramática, exceto o viés de escala (v), que passou de 1,037 para 0,932, sem e com o auxílio da escala, respectivamente, distanciando-se ligeiramente de 1 (Tabela 3). O viés de localização (u) foi de 0,370 e -0,022 sem e com o uso da escala, respectivamente. O fator de correção do desvio (C_b) foi mais próximo de 1 com emprego da escala. A acurácia (C_b) foi de 0,918 e 0,991 sem e com emprego da escala, respectivamente. Além disso, o uso da escala auxiliou os avaliadores a estimar com precisão a severidade da doença. Sem o uso da escala, o coeficiente de correlação de Pearson (r) foi de 0,931 e com o uso da escala o r aumentou para 0,954. A acurácia e a precisão por meio do coeficiente de correlação de concordância de Lin, sem o auxílio da escala foi de 0,857, e com a escala melhorou significativamente para 0,946.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação de concordância de Lin para 14 avaliadores sem e com o uso da escala (primeira avaliação) para estimar a severidade da Sigatoka amarela da bananeira.

Estatísticas de Lin	Médias ^a		Diferença entre médias ^b	Intervalo de confiança da diferença entre médias ($\gamma=95\%$) ^c
	Sem escala	Com escala		
Viés de inclinação (v) ^d	1,037 (0,090)	0,932 (0,048)	0,105 (0,026)	-0,153 _ -0,053
Viés de localização (u) ^e	0,370 (0,238)	-0,022 (0,099)	0,392 (0,066)	-0,526 _ -0,270
Fator de correção do desvio (C_b) ^f	0,918 (0,082)	0,991 (0,008)	0,074 (0,021)	0,036 _ 0,119
Coeficiente de correlação de Pearson (r) ^g	0,931 (0,041)	0,954 (0,015)	0,023 (0,011)	0,0027 _ 0,047
Coeficiente de correlação de concordância de Lin (ρ_c) ^h	0,857 (0,106)	0,946 (0,019)	0,089 (0,028)	0,040 _ 0,149

^a Os valores do desvio padrão estão entre parênteses.

^b Média da diferença entre cada avaliação. Os valores do erro padrão estão entre parênteses (valores calculados por bootstrap).

^c Foram utilizadas 10.000 amostras de bootstrap para obter os intervalos de confiança. Se o intervalo de confiança incluir o número 0 a diferença não é significativa ($p<0,05$).

^d Viés de inclinação (v , 1= sem desvios em relação a linha de concordância).

^e Viés de deslocamento (u , 0= sem desvios em relação a linha de concordância).

^f Fator de correção (C_b) mede em que medida a linha de melhor ajuste se desvia de 45°.

^g Coeficiente de correlação de Pearson (r).

^h Coeficiente de correlação de concordância de Lin. Combina as medidas de precisão (r) e acurácia (C_b) para medir a concordância.

A repetibilidade das estimativas foi avaliada para as duas avaliações com a escala, com R^2 de 89%. Entre as duas avaliações, somente dois avaliadores (C e G) apresentaram valores de intercepto significativamente diferentes de zero e dois avaliadores (C e D) apresentaram valores de coeficiente angular da reta significativamente diferentes de 1. Assim, as estimativas dos dois parâmetros foi adequada para 85,71% dos dados (Tabela 4).

Tabela 4. Repetibilidade das estimativas da severidade da Sigatoka amarela da bananeira. Intercepto (a), coeficiente angular da reta (b) e coeficiente de determinação (R^2) de equações de regressão linear simples relacionando estimativas da severidade da doença por um mesmo avaliador, com o auxílio da escala diagramática.

Avaliador	a	b	R^2
A	2,36	0,91	0,88
B	2,34	0,96	0,91
C	5,80*	0,83*	0,85
D	3,95	0,84*	0,83
E	2,82	0,93	0,90
F	- 0,24	1,00	0,95
G	3,51*	0,93	0,92
H	2,26	0,95	0,91
I	0,26	0,99	0,92
J	1,18	0,94	0,88
K	3,71	0,92	0,90
L	4,22	0,95	0,86
M	2,03	0,92	0,93
N	3,76	0,94	0,86
Média	2,71	0,93	0,89

*Asterisco indica que a hipótese nula ($a=0$ ou $b=1$) foi rejeitada pelo teste t ($p<0,05$).

A reprodutibilidade das estimativas foi analisada pelo coeficiente de determinação (R^2) entre valores estimados por todas as combinações em pares dos avaliadores. Sem o uso da escala na primeira avaliação, os valores observados variaram de 0,60 a 0,94 (média 0,82). Com o uso da escala, a variação foi de 0,79 a 0,94 (média 0,87) na primeira avaliação e de 0,79 a 0,95 na segunda avaliação (média 0,89) (Tabela 5 e Figuras 3, 4 e 5). Por sua vez, o coeficiente de correlação intraclassa (ρ) apresentou melhoria, sendo o seu valor de 0,854 (IC = 0,785 - 0,907) sem o uso da escala, e de 0,925 (IC = 0,892 - 0,951) e 0,936 (IC = 0,909 - 0,959), com o uso da escala na primeira e segunda avaliação, respectivamente. (Tabela 5).

Tabela 5. Reprodutibilidade das estimativas de severidade de Sigatoka amarela da bananeira por 14 avaliadores em 50 folhas de bananeira sem e com o uso da escala (primeira avaliação e segunda avaliação). A reprodutibilidade entre avaliadores é medida por meio do coeficiente de determinação (R^2) e do coeficiente de correlação intraclasse (ρ).

Avaliação	Coeficiente de determinação entre avaliadores (R^2)	Coeficiente de correlação intraclasse (ρ) (95% IC)
Sem escala	0,819 (0,600 - 0,936) ^a	0,854 (0,785 - 0,907) ^b
Primeira avaliação com escala	0,873 (0,786 - 0,935)	0,925 (0,892 - 0,951)
Segunda avaliação com escala	0,889 (0,790 - 0,949)	0,936 (0,909 - 0,959)

^aMédia do coeficiente de determinação estimados a partir de comparações de pares de avaliações por todos os avaliadores, com valores mínimo e máximo entre parênteses.

^bValores de coeficiente de correlação intraclasse (ρ), com valores de intervalo de confiança do parâmetro ρ apresentados entre parênteses. Os intervalos de confiança (ICs) foram baseados em 10.000 amostras de bootstrap.

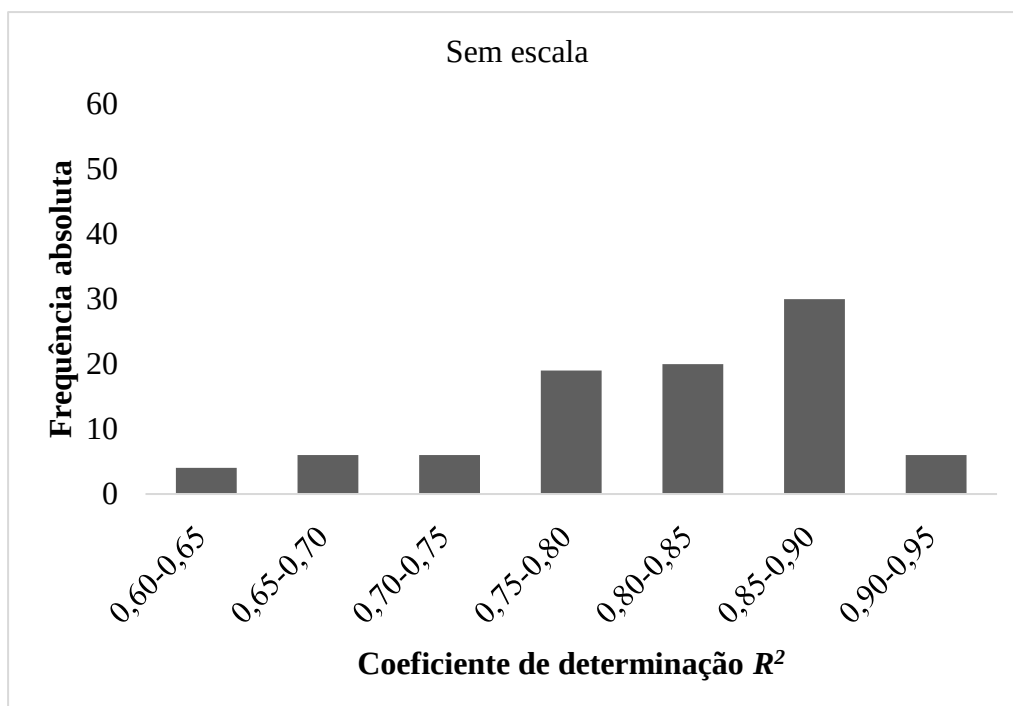


Figura 3. Coeficientes de determinação (R^2) de equações de regressão linear para avaliar a reprodutibilidade das estimativas de Sigatoka amarela da bananeira entre avaliadores sem a escala diagramática.

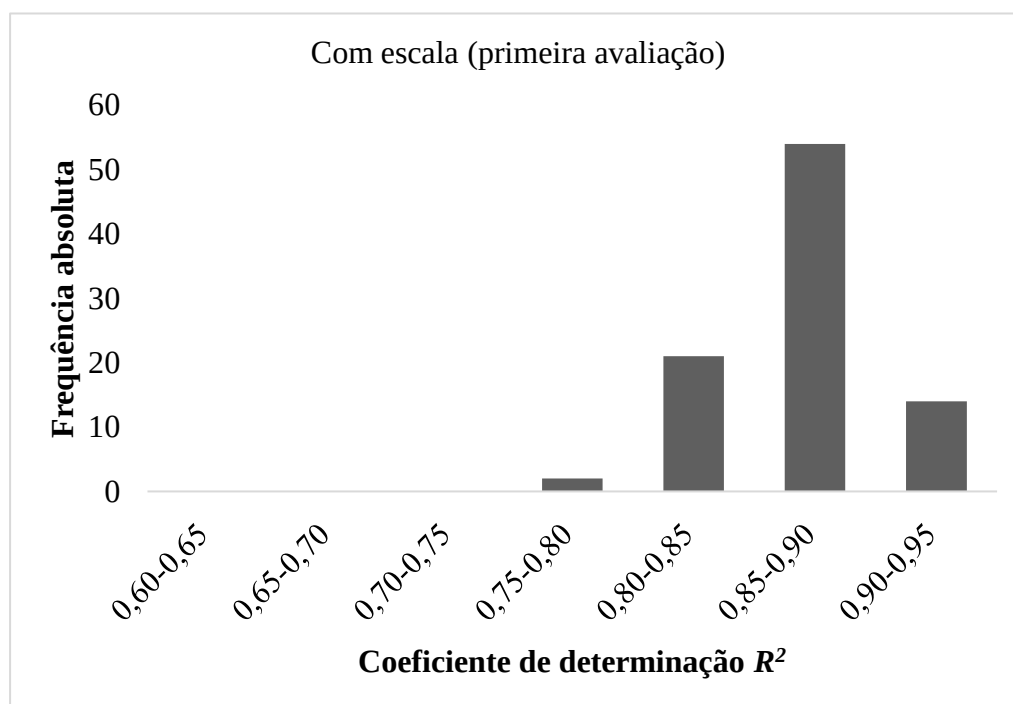


Figura 4. Coeficientes de determinação (R^2) de equações de regressão linear para avaliar a reprodutibilidade das estimativas de Sigatoka amarela da bananeira entre avaliadores com auxílio da escala diagramática (primeira avaliação).

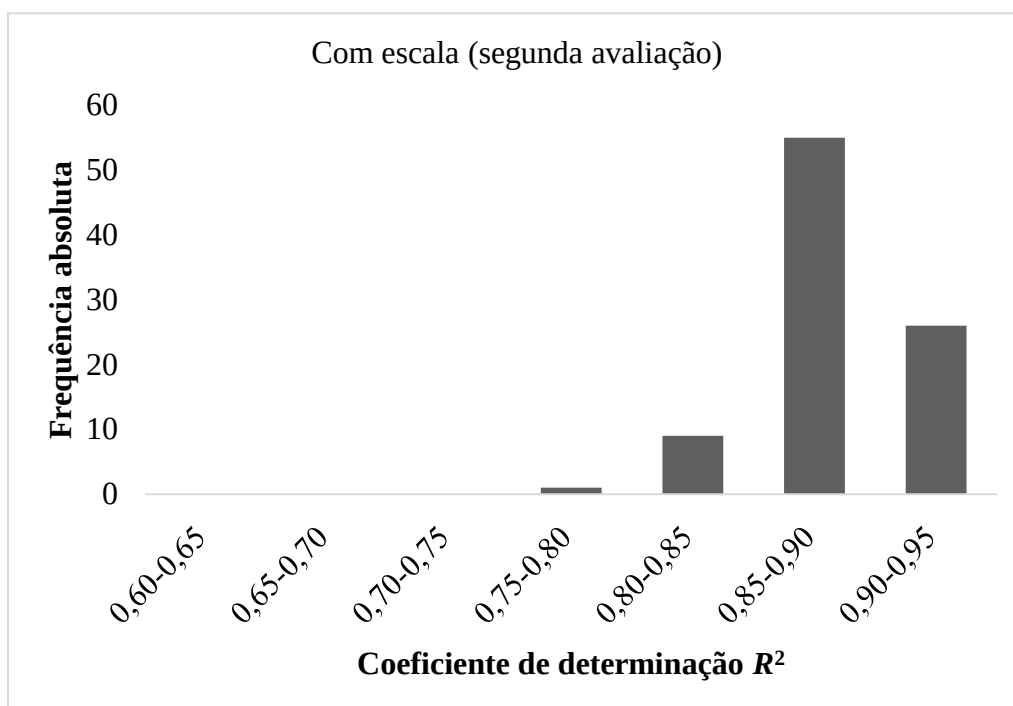


Figura 5. Coeficientes de determinação (R^2) de equações de regressão linear para avaliar a reprodutibilidade das estimativas de Sigatoka amarela da bananeira entre avaliadores com auxílio da escala diagramática (segunda avaliação).

DISCUSSÃO

Neste estudo, foi elaborada e validada uma escala diagramática para avaliar a severidade da Sigatoka amarela da bananeira. A escala foi elaborada com imagens reais de folhas da cultura. Com a difusão de câmeras digitais de alta resolução, muitos pesquisadores têm optado construir as escalas diagramáticas com imagens reais de folhas sintomáticas (HALFELD-VIEIRA; NECHET; 2006; MALAGI et al., 2011; SALGADO et al., 2009; SACHS et al., 2011). A maioria das escalas relatadas na literatura científica não utilizam imagens reais para ilustrar os níveis de severidade. Belan et al. (2020) desenvolveram uma escala diagramática com imagens reais para estimar a severidade da ferrugem do cafeeiro em *Coffea canephora*, e compararam-na com uma anterior, em cores verde e amarelo. Com o uso da escala em imagens reais de folhas, os avaliadores apresentaram melhores níveis de acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade nas estimativas.

A escala confeccionada neste trabalho abrange oito níveis de severidade, com incrementos logarítmicos e lineares, e severidade variando de 0,44 a 91,28%. Os níveis logarítmicos baseiam-se na validade da lei de Weber-Fechner, contestados em estudos de

Bock et al. (2009) e Nutter Junior e Esker (2006). É recomendado elaborar escalas híbridas, com intervalos logarítmicos e lineares, nos níveis mais baixos e mais elevados de severidade da doença, respectivamente (DEL PONTE et al., 2017; SCHWANCK; DEL PONTE, 2014)

O método de regressão linear simples foi utilizado em diversos estudos para medir acurácia e precisão na fitopatometria. Entretanto, pode ocorrer de o intercepto 0 (a) e o coeficiente angular da reta 1 (b) levar a conclusões equivocadas. Se os dados estimados estiverem muito dispersos, como resultado os valores de R^2 serão baixos. Portanto, quanto menor a precisão das estimativas, menor a probabilidade de rejeitar a hipótese nula (H_0 : intercepto (a) = 0; inclinação (b) = 1). Por outro lado, se o avaliador apresentar maior precisão, o quadrado médio do erro absoluto e o erro padrão serão menores, o t calculado será maior e, conseqüentemente, haverá maior probabilidade de rejeitar a hipótese nula (BOCK et al., 2010; LIN, 1989; MADDEN et al., 2007; NITA et al., 2003). Com o intuito de superar essa limitação, o coeficiente de correlação de concordância de Lin passou a ser utilizado em estudos visando validar escalas. Esse método pode verificar a concordância entre dois pares de medidas, de uma mesma amostra e em tempos diferentes. Além disso, a interpretação é mais simples para analisar a acurácia e a precisão em um único coeficiente, ao contrário da regressão linear simples, em que os coeficientes são analisados separadamente (MADDEN et al., 2007).

Os diagramas melhoraram a acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade das estimativas de severidade da doença por meio dos avaliadores sem experiência prévia com o patossistema e comprovaram a utilidade da escala diagramática. Sem o uso da escala a tendência dos avaliadores na validação foi superestimar a severidade da doença, sistematicamente. Essa mesma tendência foi observada em trabalhos publicados na literatura científica (CAPUCHO et al., 2010; DIAZ; BASSANEZI; BERGAMIN FILHO, 2001; LENZ et al., 2010; NEWTON E HACKETT, 1994). Quando os sintomas caracterizam-se por pequenas lesões em maior número, os avaliadores tendem a superestimar a doença em níveis baixos de severidade (BOCK et al., 2010; SCHWANCK; DEL PONTE, 2014). Em contrapartida, lesões maiores em menor número tendem a ser subestimadas (GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ et al., 2014; SPOLTI et al., 2011). Isso justifica os resultados encontrados nessa pesquisa para os maiores valores de severidade da doença. Além disso, fatores relacionados ao avaliador como cansaço, fadiga e humor também afetam a qualidade das estimativas (BOCK et al., 2016; NUTTER JUNIOR; SCHULTZ, 1995). Com relação aos erros absolutos, houve redução dos valores de

estimativas com o auxílio da escala diagramática. A maioria dos erros absolutos foi inferior a 10% e 5%, respectivamente, com o uso da escala. Os valores inferiores a 5% e 10% são considerados excelentes e bons, respectivamente (NUTTER JUNIOR; WORAWITLIKIT 1989; NUTTER JUNIOR; SCHULTZ, 1995). A repetibilidade para maioria dos avaliadores, com o auxílio da escala diagramática, não apresentou variação entre as estimativas. Sendo assim, a escala contribuiu para os avaliadores familiarizarem-se com a doença, melhorando a acurácia e a precisão das estimativas. A reprodutibilidade foi determinada por meio dos valores de R^2 (NUTTER JUNIOR; SCHULTZ, 1995) obtidos de regressões lineares e do coeficiente de correlação intraclasse (ρ) obtido por meio de estimativas dos componentes de variância. As estimativas melhoraram com o uso da escala, indicando alta precisão. O aumento da reprodutibilidade comprova a eficácia da escala diagramática para uso por diferentes avaliadores (BOCK et al., 2010). Esses resultados corroboram aos constatados na validação de escalas diagramáticas para outros patossistemas (CAPUCHO et. al., 2010; DUARTE et. al., 2013 LIMA et. al., 2011; MICHEREFF et. al., 2009).

A validação da escala por meio da regressão linear simples e do coeficiente de correlação de concordância de Lin apresentou resultados semelhantes sobre o desempenho dos avaliadores. Apesar disso, especialistas têm desaconselhado a validação de escalas diagramáticas por meio de regressão linear simples, sendo seu uso de caráter complementar. O coeficiente de correlação de Lin é indicado para validação de escalas diagramáticas (DEL PONTE et al., 2017). Portanto, recomenda-se a escala diagramática desenvolvida nesse estudo, para avaliar a Sigatoka amarela da bananeira, pois houve melhoria nos valores de acurácia, precisão e reprodutibilidade, além de repetibilidade elevada.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, e à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo suporte científico e tecnológico.

REFERÊNCIAS

- Barbosa MAG, Michereff SJ, Mora-aguilera G (2006) Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da severidade da Ferrugem branca do crisântemo. *Summa Phytopathol* 32: 57-62
- Bardsley SJ, Ngugi HK (2013) Reliability and accuracy of visual methods used to quantify severity of foliar bacterial spot symptoms on peach and nectarine. *Plant Pathology* 62: 460-74
- Belan LL, Matta Rafael A, Gomes CAG, Alves FR, Jesus Junior WC, Moraes WB (2020) Standard area diagram with color photographs to estimate the severity of coffee leaf rust in *Coffea canephora*. *Crop Protection* 130:105077
- Belasque Junior J, Bassanezi RB, Spósito MB, Ribeiro LM, Jesus Junior WCD, Amorim L (2005) Escalas diagramáticas para avaliação da severidade do Cancro cítrico. *Fitopatol Bras* 30 (4): 387-393
- Braido R, Gonçalves-Zuliani AM, Nocchi PT, Belasque Junior J, Janeiro V, Bock CH, Nunes, WM (2015) A standard area diagram set to aid estimation of the severity of Asiatic citrus canker on ripe sweet orange fruit. *Eur J Plant Pathol* 141 (2) 327-337
- Bock CH, Gottwald TR, Parker PE, Cook AZ, Ferrandino F, Parnell S, Van den Bosch, F (2009) The Horsfall-Barratt scale and severity estimates of citrus canker. *Eur J Plant Pathol* 125 (23-38)
- Bock CH, Poole GH, Parker PE, Gottwald TR (2010) Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *CRC Crit Rev Plant Sci* 29: (2) 59-107
- Capucho AS, Zambolim L, Duarte HSS, Vaz GRO (2011) Development and validation of a standard area diagram set to estimate severity of leaf rust in *Coffea Arabica* and *C. canephora*. *Plant Pathology* 60: 1144-1150
- CapuchoAS, L. Zambolim, Duarte HSS, Parreira DF, Ferreira PA, Lanza FE, Costa RV, Casela CR, Cota LV (2010) Influence of leaf position that correspond to whole plant severity and diagrammatic scale for white spot of corn. *Crop Protection* 29:1015-1020
- Castelan FP, Abadie C, Hubert O, Chilin-Charles Y, Bellaire LDL, Chillet M (2013) Relation between the severity of Sigatoka disease and banana quality characterized by pomological traits and fruit green life. *Crop Protection* 5: 61- 65
- Campbell CD, Madden, LV (1990) Introduction to plant disease epidemiology. John Willey, New York
- Correia KC, Queiroz JVJ, Martins RB, Nicoli A, Del Ponte EM, Michereff SJ (2017)

Development and evaluation of a standard area diagram set for the severity of phomopsis leaf blight on eggplant. *Eur J Plant Pathol* 149:269-276

Dolinski MA, Duarte HSS, SILVA JB, De Mio LLM (2017) Development and validation of a standard area diagram set for assessment of peach rust. *Eur J Plant Pathol* 148 (4): 817-824

Del Ponte EM, Pethybridge SJ, Bock CH, Michereff SJ, Machado FJ, Spolti P (2017) Standard area diagrams for aiding severity estimation: scientometrics, pathosystems, and methodological trends in the last 25 years. *Phytopathology* 107 (10) 1161-1174

Diaz CG, Bassanezi RB, Bergamin Filho A (2001) Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em feijoeiro. *Summa Phytopathol* 27(7): 35-39

Duarte HSS, Capucho AS, Lopes UP, Zambolim L (2014) Elaboração e validação de escala diagramática. In: Zambolim, L.; Jesus Junior, W. C.; Rodrigues, F. A. O Essencial da Fitopatologia: Epidemiologia de Doenças de Plantas 1ª ed. Departamento de Fitopatologia, Viçosa, Departamento de Fitopatologia, pp 471

Duarte HSS, Zambolim L, Capucho AS, Nogueira Junior AF, Rosado AWC, Cardoso CR, Paul PA, Mizubuti ESG (2013) Development and validation of a set of standard area diagrams to estimate severity of potato early blight. *Eur J Plant Pathol* 137(2): 249-257

FAOSTAT. Food and agriculture organization of the United Nations statistics division (2021) Production/Crops. <http://faostat3.fao.org/home/E>. Acesso em 10 junho 2021

Filippi D, Nienow AA, Chiomento JLT, Santos Trentin T, Dornelles AG, Calvete EO, Huzar-Novakowski J (2021) Development and validation of a set of standard area diagrams to assess severity of gray mold in strawberry fruit. *European. Eur J Plant Pathol* 160 (2):277-286

Gamer M, Lemon, J, Gamer MM, Robinson A, Kendall's W (2012) irr: Various Coefficients of Interrater Reliability and Agreement. R Package Version 0.84. Hamburg

Gauhl F (1994) Epidemiology and ecology of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on plantain and banana (*Musa* spp) in Costa Rica, Central América. INIBAP, Montpellier

González-Domínguez E, Martins RB, Del Ponte EM, Michereff SJ, García-Jiménez J, Armengol J (2014) Development and validation of a standard area diagram set to aid assessment of severity of loquat scab on fruit. *Eur J Plant Pathol* 139: 413-422

Gomes LIS, Douhan GW, Bibiano LB, Maffia LA, Mizubuti ES (2013) *Mycosphaerella musicola* identified as the only pathogen of the Sigatoka disease complex present in Minas Gerais State, Brazil. *Plant Dis* 97(12) 1537-1543

Halfeld-vieira BA, Nechet KL (2006) Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da mancha-de-cercospora em melancia. *Fitopatol Bras* 31 (1): 46-50,

2006

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (2021). <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>. Acesso em 11 junho 2021

Lamari L Assess: Image Analysis Software for Plant Disease Quantification (2002). American Phytopathology, St. Paul, MN

Leite RMVBC, Amorim L (2002) Elaboração e validação de escala diagramática para mancha de *Alternaria* em girassol. *Summa Phytopathol* 28 (1):14-19

Lenz G, Balardin RS, Corte GD, Marques LN, Debona D (2010) Escala diagramática para a avaliação de severidade de Mancha-parda em arroz. *Ciênc Rural* 40:752-758.

Lima GSA, Assunção IP, Martins RB, Santos HV, Michereff SJ (2011) Development and validation of a standard area diagram set for assessment of *Alternaria* spot on the cladodes of the prickly pear cactus. *Eur J Plant Pathol*, 93: 691-695

Lin LI (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45(1): 255-268

Madden LV, Hughes G, Frank VDB (2007) The study of plant disease epidemics. APS Press, Saint Paul

Malagi G, Santos ID, Camochena RC, Moccellin R (2011) Elaboração e validação da escala diagramática para avaliação da Mancha branca do milho. *Rev Ciênc Agron* 42:797-804

Michereff SJ, Noronha MA, Lima GS, Albert ÍC, Melo EA, Gusmão LO (2009) Diagrammatic scale to assess downy mildew severity in melon. *Hortic. Bras* 27(1):76-79

Meredith, DS (1970) Banana leaf spot disease (sigatoka) caused by *Mycosphaerella musicola* Leach. *J Phytopathol* 11:147

Newton AC, hackett CA (1994) Subjective components of mildew assessment on spring barley. *Eur J Plant Pathol* 100: 395-412

Nita M, Ellis MA, Madden, L. V (2003) Reliability and accuracy of visual estimation of Phomopsis leaf blight of strawberry. *Phytopathology* 93:995-1005

Nutter Junior FW, Worawitlikit O (1989) Disease. Pro: a computer program for evaluating and improving a person ability to assess disease proportion. *Phytopathology*, v. 79, p. 1135,1989.

Nutter Junior FW, Schultz PM (1995) Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. *Can. J. Plant Sci.* 17 (2):174-184

Nutter Junior FW, Esker PD (2006) The role of psychophysics in phytopathology. *Eur J*

Plant Pathol 114:199-213

Peruch LAM, Medeiros AM, Albuquerque Junior CL (2015) Biomassa cítrica e fungicidas combinados com desfolha no controle da Sigatoka amarela em banana “Prata”. Rev. Ciênc. Agrovet 14 (3):234-239

R. CORE TEAM. R (2021) A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2021.<http://www.r-project.org/>. Acesso em 12 junho 2021.

Rodrigues JCV, Nogueira NL, Machado MA (2002) Elaboração e validação de escala diagramática para Leprose dos citros. Summa Phytopathol 28:192-196

Sachs PJD, Neves CSVJ, Canteri MG, Sachs LG (2011) Escala diagramática para avaliação da severidade da Mancha branca em milho. Summa Phytopathol 37: 202-204

Salgado M, Pozza EA, Lima LMD, Pereira RT, Pfenning, LH (2009) Escala diagramática para avaliação da severidade da Mancha de Phoma do cafeeiro. Trop Plant Pathol, 34: 422-427

Sachet MR, Citadin I, Danner MA, Guerrezi MT, Pertille RH (2017) Disease Plan - a spreadsheet application for training people to assess disease severity and to assist with standard area diagram development. Cienc Rural 47(6): e20160924

Schwanck AA, Del ponte EM (2014) Accuracy and reliability of severity estimates using linear or logarithmic disease diagram sets in true colour or black and white: a study case for rice brown spot. J Phytopathol 162 (10) 670-682

Spolti P (2011) Improving sooty blotch and flyspeck severity estimation on apple fruit with the aid of standard area diagrams. Eur J Plant Pathol 129: 21-29

Stevenson M (2012) Epir: An R Package for the Analysis of Epidemiological Data. R package version 0.9-43, Berlin

ShoukrI MM, Pause CA (1999) Statistical methods for health sciences. CRC press

Stover RH, Simmonds NW (1987) Bananas. Longman Scientific & Technical New York

Stover RH (1971) A proposed international scale for estimating intensity of Banana leaf spot (*Mycosphaerella musicola* Leach). Trop. Agric. 48 (3):185-196

Tavares SDH, Batista D, Batista R (2016) Determinação da intensidade da Sigatoka amarela, flutuação e controle do Moleque da bananeira da cultura da banana em São Vicente Férrer. In Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. São Luís, Fruteiras nativas e sustentabilidade: anais. São Luís: Sociedade Brasileira de Fruticultura

Vale FXR, Jesus Junior WC, Zambolim L (ed.) (2013) Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Editora Perfil, Belo Horizonte

Yadav NVS, Vos SM, Bock CH, Wood BW (2013) Development and validation of standard area diagrams to aid assessment of pecan scab symptoms on fruit. *Plant Pathol* 62(2) 325-335

CAPÍTULO III

Conclusões gerais

CONCLUSÕES GERAIS

1. A escala diagramática desenvolvida para avaliar a Sigatoka amarela da bananeira proporciona maior acurácia, precisão e reprodutibilidade para avaliar a doença, em relação à estimativas visuais sem escala.
2. Houve repetibilidade elevada nas avaliações com o uso da escala diagramática.
3. Há concordância entre os resultados da regressão linear simples e da análise de correlação de concordância de Lin na determinação de acurácia, precisão e reprodutibilidade, para os dados do presente estudo.

ANEXO

ANEXO A – Equação de conversão de Notas para Severidade da Sigatoka amarela da Bananeira

Equação de conversão
$=SE(F3=0;0;SE(F3=0,5;0,22;SE(F3=0,5;0,22;SE(F3=1;0,44;SE(F3=1,5;2,935;SE(F3=2;5,43;SE(F3=2,5;9,115;SE(F3=3;12,8;SE(F3=3,5;16,51;SE(F3=4;20,22;SE(F3=4,5;30,24;SE(F3=5;40,26;SE(F3=5,5;50,23;SE(F3=6;60,2;SE(F3=6,5;66,515;SE(F3=7;72,83;SE(F3=7,5;82,055;SE(F3=8;91,28))))))))))))))$