

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

VINICIUS TADEU FRANCESCHI

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UMA NOVA ESCALA
DIAGRAMÁTICA PARA ESTIMAR SEVERIDADE DE FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA

DISSERTAÇÃO

DOIS VIZINHOS
2017

VINICIUS TADEU FRANCESCHI

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UMA NOVA ESCALA
DIAGRAMÁTICA PARA ESTIMAR SEVERIDADE DE FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Miguel Mazaro

DOIS VIZINHOS
2017

F815d Franceschi, Vinicius Tadeu.

Desenvolvimento e validação de uma nova escala diagramática para estimar severidade de ferrugem asiática da soja / Vinicius Tadeu Franceschi – Dois Vizinhos: [s.n], 2017.
43f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Miguel Mazaro.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Dois Vizinhos, 2017.
Bibliografia p.37-43

1. Ferrugem da soja (Doença) 2. Cultura da soja. 3. Controle de doenças. I. Mazaro, Sérgio Miguel, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos. III. Título

CDD:633.3497



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 012

Desenvolvimento e validação de uma nova escala diagramática para estimar a severidade da ferrugem asiática da soja

Vinícius Tadeu Franceschi

Dissertação apresentada às quatorze horas do dia vinte e sete de setembro de dois mil e dezessete, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGROECOSSISTEMAS, Linha de Pesquisa – Manejo e Conservação de Agroecossistemas, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (Área de Concentração: Agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Banca examinadora:

Dr. Sérgio Miguel Mazaró
UTFPR-DV

Dra. Maristela dos Santos Rey
UTFPR-DV

Dr. Henrique da Silva Silveira Duarte
UFPR

Prof. Dr. Pedro Valério Dutra de Moraes
Coordenador do PPGSIS

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.

A minha família pelo apoio e confiança,
essenciais para meu sucesso.

A minha amada namorada Gabriela Nalin
pelo seu apoio, paciência e compreensão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos pela oportunidade concedida.

Ao meu orientador Dr. Sérgio Miguel Mazaro, pois mais que um orientador, foi um grande amigo nesta caminhada. Pessoa a qual tenho uma imensa gratidão, admiração e respeito.

Ao professor Dr. Henrique Silva Silveira Duarte pela grande amizade e ensinamentos.

A pesquisadora da EMBRAPA Dra. Cláudia Vieira Godoy pelo apoio em diversas etapas desta pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

FRANCESCHI, Vinicius Tadeu. **Desenvolvimento e validação de uma nova escala diagramática para estimar severidade de ferrugem asiática da soja.** 2017. 44 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

A Ferrugem Asiática da Soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* é a doença mais importante da cultura da soja. Objetivou-se neste trabalho desenvolver uma nova escala diagramática para avaliar severidade de FAS. A escala proposta foi constituída por imagens reais e coloridas e possui 10 níveis de severidade distintos, distribuídos com um padrão linear (0.2; 3; 5; 10; 25; 40; 55; 70 e 84%). Para a avaliação da nova escala foram utilizados 40 avaliadores sem experiência na quantificação de doenças e posteriormente foram divididos em dois grupos com 20 avaliadores cada. A validação consistiu de duas etapas. Na primeira, os avaliadores dos dois grupos estimaram a severidade de 50 folhas com diferentes níveis de severidade sem o uso de escalas diagramáticas. Na segunda, utilizando as mesmas 50 folhas, um grupo estimou os valores de severidades usando a escala publicada por Godoy et al. (2006) e outro grupo fez as estimativas utilizando a escala proposta neste estudo. A análise de correlação concordante de Lins foi usada para verificar a acurácia e precisão das estimativas. Quando foi utilizada a escala publicada, apenas os valores de v e u foram melhores. No entanto, quando a escala proposta foi usada, houve melhoria nos valores de v , C_b , r e ρ_c . Isto mostra que a escala proposta proporcionou estimativas de severidade mais acuradas e precisas. A reprodutibilidade das estimativas foi verificada utilizando o coeficiente de correlação intra-classe (ρ) e coeficiente de determinação (R^2). Verificou-se que com e sem o uso da escala publicada os valores de ρ e R^2 não diferiram e com o uso da escala proposta houve ganho em reprodutibilidade. A escala proposta neste estudo aumentou a acurácia, a precisão e a reprodutibilidade das avaliações, sendo uma ferramenta de grande utilidade para avaliar severidade de FAS.

Palavras-chave: *Glycine max*; Fitopatometria; *Phakopsora pachyrhizi*

ABSTRACT

FRANCESCHI, Vinicius Tadeu. **Development and validation of a new standard area diagram set to estimate severity of soybean rust.** 2017. 44 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2017.

Asian Soybean Rust (ASR), caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi* is the most important disease of soybean crop. The objective of this study was to develop a new Standard Area Diagrams Set (SADs) to evaluate ASR severity. The proposed SADs was composed of real and colored images and has 10 distinct levels of severity, distributed with a linear distribution (0.2, 3, 5, 10, 25, 40, 55, 70 and 84%). For the validation of the new SADs, 40 raters with no experience in the quantification of diseases were used and later were divided into two groups with 20 raters each. The validation consisted of two steps. In the first, the raters of the two groups estimated the severity of 50 leaves with different levels of severity without the use of SADs. In the second, using the same 50 leaves, one group estimated the severity values using the SADs published (Godoy et al. 2006) and another group made the estimates using the SADs proposed in this study. Lin's concordance correlation analysis was used to verify the accuracy and precision of the estimates. When the published SADs was used, only scale bias (v) and location bias (u) values were improved. However, when the proposed SADs was used, the values of scale bias (v), coefficient of bias (Cb), correlation coefficient (r) and Lin's concordance correlation coefficient (ρ_c) were improved. This shows that the proposed SADs provided more accurate and precise severity estimates. The reliability of the estimates was verified using the intra-class correlation coefficient (ρ) and mean inter-rater coefficient of determination (R^2). It was verified that with and without the use of published SADs the values of ρ and R^2 did not differ and with the use of the proposed SADs there was gain in reliability. The SADs proposed in this study improved the accuracy, precision and reliability of the evaluations.

Key words: *Glycine max*; phytopathometry; *Phakopsora pachyrhizi*

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Escala diagramática para estimar a severidade da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) em folhas de soja. Os números representam o percentual (%) de área foliar mostrando os sintomas da doença.....26
- FIGURA 2 - Relação entre a severidade real e estimada da ferrugem asiática da soja em folhas de soja sem (a) e com (b) o uso de uma escala diagramática para 50 folhas avaliadas por 20 avaliadores. A linha pontilhada é a linha de concordância, que representa o perfeito acordo entre severidade real e estimada. Erro absoluto das estimativas sem escala diagramática (c) e com escala diagramática (d) para as 50 folhas. Baixos erros absolutos indicam que a gravidade estimada foi mais precisa.....27
- FIGURA 3 - Viés de inclinação (v) (a - b), Viés de deslocamento (u) (c - d), Coeficiente de correlação (r) (e - f), Fator de correção (C_b) (g - h) e CCCL (ρ_c) (i - j) de estimativas de ferrugem asiática da soja em folhas de soja por 20 avaliadores sem (círculo branco) ou com (círculo preto) o uso da escala diagramática publicada e proposta30
- FIGURA 4 - Reprodutibilidade entre 20 avaliadores, determinada pelo coeficiente de determinação (R^2) sem e com o uso da escala diagramática publicada e proposta como auxílio para avaliar a severidade de ferrugem asiática da soja em 50 imagens de folhas de soja..... 32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Efeito do uso da escala diagramática publicada e proposta como um auxílio de avaliação sobre o viés, acurácia, precisão e concordância de avaliações de severidade da ferrugem asiática da soja em 50 folhas de soja estimadas por 20 avaliadores.29

TABELA 2 - Reprodutibilidade das estimativas de severidade de ferrugem asiática da soja por 20 avaliadores em 50 folhas de soja sem e com o uso da escala diagramática publicada e proposta. A reprodutibilidade entre avaliadores é medida pelo coeficiente de correlação intra-classe (ρ) e pelo coeficiente de determinação (R^2).31

LISTA DE SÍMBOLOS

v	Viés de inclinação
u	Viés de deslocamento
C_b	Fator de correção
r	Coefficiente de correlação
p_c	Coefficiente de correlação concordante de Lin

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 A CULTURA DA SOJA	16
2.2 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....	17
2.3 FITOPATOMETRIA.....	19
2.3.1 ESCALAS DIAGRAMÁTICAS	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 DESENVOLVIMENTO DA ESCALA DIAGRAMÁTICA	24
3.2 VALIDAÇÃO DA ESCALA DIAGRAMÁTICA	24
4. RESULTADOS.....	26
4.1 ESCALA PUBLICADA	26
4.2 ESCALA PROPOSTA	29
5. DISCUSSÃO.....	34
6. CONCLUSÃO	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A soja destaca-se em âmbito internacional como a principal oleaginosa cultivada, alcançando no ano de 2016 uma produção de mais de 300 milhões de toneladas, sendo projetado um incremento em mais de 30 milhões para a safra de 2017/2018, com destaque para a produção dos Estados Unidos e do Brasil (FAO, 2017). Embora os números de produção impressionem, existem diversos fatores limitantes a produção de soja no mundo, dentre eles estão as doenças que afetam a cultura, sendo uma das mais importantes a ferrugem-asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd.

A ferrugem-asiática foi descrita pela primeira vez no Japão em 1902 (HENNING, 1903). No continente sul americano, foi identificada pela primeira vez na safra 2000/2001 no Paraguai (MOREL PAIVA, 2001) e no Brasil, no estado do Paraná (YORINORI, 2004). Os sintomas da doença são caracterizados por pequenas lesões na folha, com coloração marrom-escuro que correspondem às urédias na fase abaxial da folha. Com o rompimento das urédias, ocorre a liberação dos uredósporos. Plantas com alta severidade da doença apresentam desfolha precoce, comprometendo o enchimento de vagens e a formação dos grãos (YANG et al., 1991).

Molhamento foliar acima de 6 horas somado a temperaturas ótimas (entre 18°C e 26°C) favorecem a infecção do fungo (MELCHING et al., 1989). As epidemias de ferrugem-asiática são favorecidas por precipitações bem distribuídas ao longo da safra (DEL PONTE et al., 2006).

As principais estratégias de manejo para a doença no Brasil são a eliminação de plantas de soja voluntárias e a ausência de semeaduras na entressafra por meio do vazio sanitário; a utilização de cultivares com genes de resistência e de cultivares de ciclo precoce; a semeadura no início do período recomendado; e o uso de fungicidas no aparecimento das lesões ou preventivamente (GODOY, 2009).

Para avaliar melhores medidas de controle, é necessário a quantificação da doença. A severidade, porcentagem de tecido foliar infectado, é a variável fitopatométrica mais comumente utilizada para quantificar doenças foliares. No entanto, essa avaliação é subjetiva, pois varia de acordo com a capacidade e experiência do avaliador, sendo necessário o uso de critérios padronizados (CAMPBELL; MADDEN, 1990; DUARTE et al., 2013). Para reduzir a subjetividade das avaliações, as escalas diagramáticas surgem como alternativa. Trata-se de um conjunto de imagens de plantas ou partes de uma planta com área padrão que representam

os intervalos diferentes de severidade de uma doença (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996).

As escalas diagramáticas devem ser de fácil utilização, resultando em avaliações rápidas, acuradas, precisas, reproduzíveis, ter aplicação em diversas condições e os níveis de severidade devem contemplar os diversos estádios de desenvolvimento da doença (BERGER, 1980). A acurácia corresponde à proximidade dos valores estimados em comparação com os valores reais (NUTTER JR; SCHULTZ, 1995). A precisão se refere a um método repetitivo, ou seja, que apresenta baixa variação na estimativa da quantidade de doença (CAMPBELL; MADDEN, 1990). A reprodutibilidade é relacionada a variação dos valores estimados pelos avaliadores quando comparados aos pares (MADDEN et al., 2007)

Diferentes escalas foram propostas para avaliação de ferrugem na soja (BROMFIELD, 1984; GODOY et al., 2006). A escala mais utilizada elaborada por Godoy et al. (2006), possui seis níveis de severidade monocromáticos definidos pela lei de acuidade visual de Weber-Fechner, seguindo incrementos logarítmicos, modelo proposto por Horsfall e Barrat (1945). O método de definição de intervalos de severidade proposto por Horsfall e Barrat (1945), nunca foi comprovado e tem sido criticado recentemente, pois a relação entre a severidade real de uma doença e a severidade estimada pelos avaliadores tende a ser linear e não logarítmica (NITA et al., 2003; NUTTER; ESKER, 2006; BOCK et al., 2010). A escala diagramática para ferrugem da soja já publicada está presente há mais de 10 anos no universo da fitopatometria e pode ser aperfeiçoada, considerando critérios técnicos, como o aumento do número de intervalos, com incrementos lineares para proporcionar uma melhor estimativa e utilização de imagens reais coloridas de folhas infectadas.

O objetivo do presente estudo foi propor uma nova escala para ferrugem-asiática, com diagramas em coloração real e com maior número de intervalos de severidade, seguindo um padrão linear, comparando a validação feita por meio do coeficiente de correlação concordante de Lin (LIN, 1989) com a escala diagramática publicada (GODOY et al., 2006).

1.1 OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi propor uma nova escala para ferrugem-asiática, com diagramas em coloração real e com maior número de intervalos de severidade, seguindo um padrão linear, comparando a validação feita por meio do coeficiente de correlação concordante de Lin (LIN, 1989) com a escala diagramática publicada (GODOY et al., 2006).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal oleaginosa produzida no mundo. Sua origem é de certo modo obscura e existem referências bibliográficas que registram o uso desta leguminosa como alimento do povo chinês há mais de 5.000 anos. No entanto a mais antiga referência consta no herbário PEN TS' AO KANG MU, como parte da obra “Matéria Médica” do imperador Shen Nung, em 2838 A. C. (BONATO; BONATO, 1987). A recomendação mais antiga sobre seus métodos de plantio e armazenamento remonta o ano de 2207 A.C. dando indícios de que seja uma das espécies mais antigas cultivadas (MORSE, 1950).

A primeira referência no continente americano foi no estado da Pensilvânia nos Estados Unidos no ano de 1804, embora tenha despertado um maior interesse dos americanos a partir do ano de 1880 (PIPER; MORSE, 1923) e no Brasil, o primeiro relato ocorreu no ano de 1882 no estado da Bahia (D'UTRA, 1882). A expansão da soja no Brasil é explicada pelas excelentes condições, resultando em uma fácil adaptação. Na realidade, diversos fatores contribuíram para sua produção, como a fácil adaptação das variedades, a sua utilização em sucessão ao trigo, podendo-se utilizar a mesma área de plantio, condições favoráveis de mercado, necessidade por óleo vegetal comestível em substituição a gordura animal, etc. (BONATO; BONATO, 1987).

A partir de 1970, a produção de soja nacional foi altamente influenciada pela cotação do grão no mercado internacional e os programas de melhoramento implantados possibilitaram a expansão da cultura em regiões de latitudes baixas, com incorporação de genes que lhe permitiam um período juvenil longo (KIIHL; GARCIA, 1989). O setor de máquinas e implementos agrícolas avançou expressivamente na década de 90, modernizando as operações de cultivo e somado a adoção de biotecnologia com sementes transgênicas de soja resistente ao herbicida Roundup Ready (RR) da Monsanto, foi crucial para a grande crescente na produção (VENCATO et al., 2010).

A soja RR foi a primeira planta transgênica a ser aprovada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) para alimentação humana e animal. A liberação ocorreu no ano de 1998, mas sua produção comercial só foi liberada no ano de 2006, pois ainda no ano de sua primeira liberação houve bloqueio por falta de estudos sobre seus impactos ambientais. Desta forma, o crescimento da cultura desta leguminosa no Brasil está

associado diretamente a avanços científicos, que disponibilizam tecnologias na produção e na criação de cultivares adaptáveis a diversos climas e regiões, fornecendo soluções para pragas, possibilitando o manejo de doenças e o estabelecimento de métodos de colheita que sejam funcionais e que evitem a perda de grãos (FREITAS, 2011).

Nos dias atuais, o Brasil figura como o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos Estados Unidos da América. A produção mundial do grão em 2016 foi de mais de 300 milhões de toneladas, com uma projeção de aumento em mais de 30 milhões de toneladas para a safra de 2017/2018 (FAO, 2017). No Brasil, a estimativa de produção para a safra 2017/2018 é de 108,5 milhões de toneladas (ABIOVE, 2017).

O sucesso na cultura da soja está intimamente relacionado às doenças que afetam a cultura e seus métodos de controle. Das mais de 40 doenças que afetam a cultura, algumas foram responsáveis por grandes perdas, como a mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*) que surgiu na década de 80 e foi a primeira doença a causar perdas significativas na plantação. Nos anos 90 apareceram o Cancro-da-haste (*Diaporthe phaseolorum f. sp. meridionalis*), o nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*) e o Oídio (*Erysiphe difusa*), também responsáveis por um considerável déficit no processo produtivo (PICININI; FERNANDES, 1998).

Atualmente, dentre as doenças que mais causam preocupação e perdas na cultura da soja, está a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), relatada pela primeira vez no ano de 2001 no Brasil, no estado do Paraná. (YORINORI, 2004).

2.2 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

A ferrugem asiática originou-se e foi descrita pela primeira vez no Japão em 1902 (HENNING, 1903). Em 1914 surgiu com caráter epidêmico em vários países do sudoeste da Ásia e depois na Austrália (BROMFIELD; HARTWIG, 1980). No continente Americano, foi descrito pela primeira vez no Paraguai (MOREL PAIVA, 2001), onde em áreas não protegidas e em cultivares mais suscetíveis ocorreram danos de até 70% e no Brasil, no estado do Paraná (YORINORI, 2004).

O fungo *P. pachyrhizi*, é um parasita obrigatório (biotrófico), que ataca o tecido vegetal pela formação de um haustório, um micélio intercelular. O processo de infecção depende principalmente do tempo de água livre disponível na folha, sendo necessário no mínimo seis horas de molhamento foliar, além disso, temperaturas entre 18 ° C e 26,5 ° C, umidade relativa

do ar entre 75% e 85% e ambientes com prolongados tempo de orvalho, favorecem o processo de infecção (MELCHING et al., 1989).

A ferrugem asiática pode ser considerada como a doença que tem maior potencialidade de causar danos à cultura da soja, isso devido a sua agressividade e facilidade de dispersão (ANDRADE; ANDRADE, 2002). Atualmente no Brasil, praticamente todas as regiões produtoras vem sendo diagnosticadas com infecções do fungo *P. pachyhizi*, cuja severidade da doença esta intimamente relacionada às condições climáticas da região e principalmente ligada ao molhamento foliar, como pluviosidade e orvalho (UGALDE, 2005).

Os sintomas causados são pequenos pontos na folha, com coloração mais escura que o tecido foliar sadio da planta, ocorrendo a formação de urédias. Com o progresso da doença as urédias adquirem coloração castanha e com seu rompimento em minúsculos póros, libera uredosporos, estes, facilmente transportados pelo vento (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Em seu estágio final de infecção, a ferrugem asiática é caracterizada pelo amarelecimento das folhas, formando um halo clorótico com conseqüente desfolha (REIS et al., 2006). Os sintomas da ferrugem podem ocorrer em qualquer estágio fenológico da cultura (GODOY, et al., 2009).

Em condições ambientais favoráveis para a doença, aos cinco dias após inoculação surgem as primeiras lesões cloróticas, dois a quatro dias após ocorre o aparecimento das primeiras urédias, e entre nove e dez dias inicia-se a liberação de urediniosporos (uredosporos) dentro das urédias, sendo que este evento pode ocorrer por até três semanas (UGALDE, 2005).

A ferrugem asiática da soja é uma doença que ataca as folhas, nesse sentido diminui a atividade fotossintética ocasionada pela morte dos tecidos infectados, seguindo de desfolha precoce na cultura (McNEW, 1960). Esses danos causam redução consideráveis no rendimento, devido à deficiência no enchimento de grão (YANG et al., 1991), além disso, ocorre redução no teor de óleo, bem como danos relativos á redução do número de vagens, grão cheios, peso de grãos, o que indiscutivelmente vai acarretar em redução de produtividade (REIS; BRESOLIN, 2004).

Os danos estimados ocasionados pela ferrugem na safra 2001/2002 foram de 569 mil toneladas, o equivalente a US\$ 125,5 milhões. Na safra seguinte (2002/2003), as perdas atingiram US\$ 1,3 bilhões, sendo que deste valor, 592 milhões de dólares foram gastos com controle químico. No ano seguinte (2003/2004) os valores só aumentaram e os gastos com controle químico foram estimados em 860 milhões de dólares. Os prejuízos totais estimados foram avaliados em US\$ 2,286 bilhões (YORINORI; LAZZAROTTO, 2004).

Desde a safra de 2003/2004 as perdas causadas pela ferrugem até o ano de 2013, chegam à casa dos 25 bilhões de dólares, neste montante estão associados gastos com controle químico e perdas diretas de grãos (CNA, 2013).

Para um controle eficiente da doença deve se empregar um conjunto de práticas visando diminuir a pressão do patógeno sobre a cultura e conseqüentemente diminuir os danos causados pela doença (KIMATI, 1978). O conjunto de práticas deve começar desde o início da implantação da cultura, com a escolha de cultivares resistentes, realizar semeadura no início da época recomendada, utilizar cultivares precoces, respeitar o vazio sanitário e ainda a utilização de fungicidas, que devem ser aplicados preventivamente ou nos primeiros sintomas da doença (GODOY, et al., 2009).

A quantificação da severidade de doenças é importante para entender o progresso de epidemias e sua relação com o clima e com medidas de controle e também para validar modelos de previsão e aplicação de manejo integrado (SPOSITO et al., 2004).

2.3 FITOPATOMETRIA

O papel da quantificação de doenças em plantas é tão importante quanto sua diagnose, pois é essencial mensurar os danos causados por um patógeno quando este afeta determinada cultura, para que assim as medidas de controle ou estudos epidemiológicos tornem-se mais eficazes (KRANZ, 1998; AMORIM, 1995). O termo fitopatometria é utilizado para definir estudos que envolvem a quantificação de doenças na fitopatologia (phyto = planta, phatos = patógeno e metron = medida) (LARGE, 1953).

Um fator define uma boa quantificação de doenças a campo é quando se tem a possibilidade de expressar a quantidade de danos causados por um patógeno em números, estes que devem apresentar medidas acuradas, precisas, com reprodutibilidade e repetibilidade (VALE et al., 2004).

O termo acurácia significa o quão perto o valor estimado está do valor real (VALE et al., 2004). A precisão refere-se a semelhança que os valores estimados têm entre si (CAMBELL; MADDEN, 1990). A reprodutibilidade é feita com a combinação dos resultados dos avaliadores aos pares e a repetibilidade é a mensuração da variabilidade dos valores estimados pelos avaliadores em tempos diferentes de avaliação (BOCK et al., 2010).

A quantificação de doença em plantas é descrita pelo termo “intensidade de doença” (NUTTER et al., 1991) e pode ser dividido em três subcategorias: incidência, prevalência e severidade. Embora sejam termos utilizados em situações semelhantes na mensuração do

ataque de um determinado patógeno sobre seus hospedeiros, possuem diferenças significativas quando são empregados (NUTTER et al., 2006).

A incidência refere-se a quantidade de plantas doentes em determinada amostragem, sendo classificadas em “sadias e doentes”. A prevalência é determinada de acordo com as áreas geográficas afetadas pela doença e a severidade refere-se a quantificação do tecido doente em relação ao tecido total, em geral é expressa por percentual e exige uma avaliação minuciosa e geralmente subjetiva (NUTTER et al., 1991).

A complexidade em mensurar a severidade de uma doença requer métodos adequados e validados, para que assim os erros sejam diminuídos, pois métodos duvidosos e não comprovados podem resultar em erros de avaliação (BOCK et al., 2010).

Padronizar um valor real para a severidade de doença em uma planta é fundamental para a validação de um método de quantificação (MADDEN et al., 2007), mesmo que tais valores sejam obtidos através de um avaliador (O'BREIN; VAN BRUGGEN, 1992).

Existem maneiras de diminuir os erros sobre os valores reais de doença. Um dos métodos é fazer impressões de folhas doentes, recortar as partes saudáveis e doentes e pesar separadamente (SHERWOOD et al., 1983; NITA et al., 2003), muito embora tenha mostrado eficiência, esse processo pode ser dificultado quando a doença em questão atinge vários pontos da folha. Outro método bastante usual e preciso é o processamento de imagens através de programa de computador, padronizando as colorações sadias e doentes presentes na folha (VALE et al., 2002). A alta precisão destes métodos impacta no tempo de avaliação, que tende a ser bastante longo, diminuindo assim a praticidade das avaliações, não os caracterizando como métodos de fácil usabilidade a campo.

Existem diversos fatores de erro que podem levar a erros em uma avaliação de severidade de doenças, entre eles destacam-se os fatores relacionados a doença e relacionados ao avaliador. Os fatores relacionados a doenças abrangem o número e tamanho de lesão, onde lesões menores dispersas na folha podem favorecer uma possível superestimativa, a complexidade dos sintomas e a padronização dos valores reais de severidade. Entre os fatores relacionados ao avaliador se encaixam a habilidade do avaliador na quantificação de doenças, o tempo que o avaliador leva para avaliar, os vícios de preferência por determinados números e o possível daltonismo, que pode resultar em dificuldades na hora de distinguir o tecido saudável e o tecido sadio (BOCK et al., 2010).

As principais ferramentas que auxiliam na mensuração de danos causados por patógenos em plantas são as escalas, que podem ser classificadas em descritivas, ordinais e diagramáticas.

Escalas descritivas são escalas bastante limitadas que dividem a doença em termos como leve, moderada ou grave. As estimativas de severidade de doença por escalas descritivas são em geral as mais subjetivas (CHESTER, 1950; NUTTER; ESKER, 2006). Escalas ordinais são feitas por intervalos de doença de acordo com uma classificação numérica e uma breve descrição (1= pouca doença, 5 = doença em nível intermediário e 9 = muita doença) (NEWELL; TYSDAL, 1945), a subjetividade também se faz muito presente neste tipo de escala, embora ainda sejam úteis para quantificar doenças relacionadas a vírus, onde existe certa dificuldade para mensurar os danos quantitativamente (MADDEN et al., 2007). Por fim, as escalas diagramáticas, que são representações gráficas de plantas ou órgãos de plantas atacados por algum tipo de patógeno, geralmente com a doença expressa por percentual (BOCK et al., 2010).

2.3.1 ESCALAS DIAGRAMÁTICAS

Atualmente a escala diagramática é o principal método para quantificar doenças em plantas, principalmente por favorecer praticidade e reduzir a subjetividade das avaliações (BOCK et al., 2010). Estas escalas são ferramentas poderosas para estudos epidemiológicos e cruciais no controle de doenças. Uma boa escala deve ter uma usabilidade fácil e simplificada nas mais variadas condições, além de fornecer resultados acurados, precisos e com alta reprodutibilidade (BERGER, 1980).

Quando um patossistema não possuir uma escala diagramática correspondente, esta deve ser elaborada e validada. A primeira escala diagramática desenvolvida foi para avaliar severidade de ferrugem no trigo (COBB, 1882) e foi modificada ao longo do tempo para obter resultados mais precisos (MELCHERS; PARKER, 1922; PETERSON et al., 1948).

A partir do surgimento das escalas diagramáticas para a avaliação de severidade de doenças em plantas, métodos para aprimorar esse tipo de avaliação foram sendo observados. Horsfall e Barratt (1945) propuseram uma escala com intervalos logarítmicos, de acordo com a lei de acuidade visual de Weber-Fechner, onde a acuidade visual é proporcional ao logaritmo da instensidade do estímulo. O ponto central desta lei é que o avaliador é mais acurado quando quantifica valores extremos de severidade, concentrando seus erros nos níveis intermediários da escala (MAFFIA et al., 2007).

A lei de Weber-Fechner utilizada para justificar os intervalos logarítmicos em uma escala na verdade trata-se de duas leis: A lei de Weber e a lei de Fechner (BOCK et al., 2010). Weber propôs a existência de uma diferença mínima entre dois estímulos, que, traduzido em termos fitopatológicos, é a diferença mínima de coloração, estímulo, luminosidade, etc., para

um avaliador detectar níveis diferentes de severidade de uma doença. A partir da lei de Weber, Fechner demonstrou que estas diferenças podem ser representadas por uma função logarítmica (NUTTER; ESKER, 2006).

Nita et al. (2003), comprovaram a inexistência de uma relação logarítmica entre severidade real e severidade estimada pelos avaliadores. Estes resultados levam a um questionamento sobre a lei de Fechner na fitopatometria, não corroborando com a afirmação de que os intervalos logarítmicos em escalas diagramáticas sejam a melhor opção para estudos envolvendo quantificação de doenças. Além deste, vários estudos demonstram relação linear e não logarítmica na percepção de estímulos (SHERWOOD et al., 1983; FORBES; KORVA, 1994; NUTTER; ESKER, 2006; BOCK et al., 2008)

Mesmo com estudos que evidenciam uma tendência linear para intervalos de severidade, muitos estudos ainda continuam a se basear na lei de Weber-Fechner na construção de escalas diagramáticas (GODOY et al., 2006; ANGELOTTI et al., 2008; PEDROSO et al., 2011; LIMA et al., 2013).

Embora existam controvérsias sobre a eficiência dos métodos propostos por Horsfall e Barratt (1945), as escalas amparadas por este estudo continuam sendo aceitas para estudos fitopatométricos, contanto que resultem em medidas acuradas, precisas e reproduzíveis. Estes fatos evidenciam a existência de dois métodos na confecção de escalas diagramáticas, um tido como tradicional e um método moderno (DUARTE et al., 2013).

O método tradicional é constituído por níveis de severidade baseados em uma função logarítmica, validado por avaliadores inexperientes, experientes ou ambos, sendo comprovado estatisticamente através de regressão linear, que por sua vez teve suas desvantagens discutidas na fitopatometria (NITA et al., 2003; MADDEN et al., 2007; BOCK et al., 2010), pois existe a possibilidade da regressão linear não detectar a saída do intercepto 0 e da inclinação 1, conforme a dispersão dos dados, rejeitando a hipótese mesmo com um erro muito baixo.

O método moderno conta com níveis de severidade distribuídos em um padrão linear, com um maior número de intervalos nos níveis de baixa severidade (0,5, 1, 3, 5%), pois é comum que ocorra uma superestimativa dos valores em severidades baixas (SHERWOOD et al., 1983). A estatística neste método é feita por meio do coeficiente de correlação concordante de Lin (ρ_c) (LIN, 1989), tida como superior a regressão linear na fitopatometria (MADDEN et al., 2007; BOCK et al., 2010), pois combina medidas de acurácia e precisão na mesma análise. A fórmula do ρ_c é $\rho_c = C_b \cdot r$, onde C_b é uma medida de acurácia e mede o deslocamento da linha ajustada a linha concordante e r uma medida de precisão, que faz a correlação entre severidade real e severidade estimada, sendo assim, para uma avaliação

perfeita, o avaliador precisa manter suas estimativas sobre a linha concordante, significando $r = 1$, $C_b = 1$, e, desta forma, $\rho_c = 1$ (NITA et al., 2003; BOCK et al., 2010).

Del Ponte et al. (2017) destacou alguns pontos importantes na confecção de escalas diagramáticas, montando um manual de boas práticas. A importância de uma boa estimativa da severidade real da doença é inquestionável e esta deve ser feita a partir de um software de análise de imagens com alta precisão. O número de diagramas não deve ser menor que seis ou maior que dez, embora ainda esteja muito relativo ao comportamento da doença. A validação deve ser feita com ao menos 50 imagens de folhas com percentuais de severidade de doença aleatórios, mas que abranjam todos os intervalos da escala a ser validada, por no mínimo 15 avaliadores.

A análise de regressão não é recomendada para estudos fitopatométricos, embora possa servir como um componente complementar em comparação com a literatura anterior. As análises de concordância conferem uma melhor opção para este tipo de estudo (DEL PONTE et al., 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESENVOLVIMENTO DA ESCALA DIAGRAMÁTICA

Para o desenvolvimento da escala diagramática, folhas de soja infectadas com ferrugem com diferentes severidades foram coletadas dos campos experimentais da Embrapa Soja, no município de Londrina, PR. Para contemplar todos os níveis de severidade, plantas de soja de uma cultivar suscetível foram semeadas em vasos e colocadas em casa de vegetação com alta umidade na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos (25°41'37" S e 53°06'07" W) e inoculadas via pulverização com uma suspensão de esporos de *P. pachyrhizi*, contendo 10^5 esporos mL⁻¹, no estágio R1.

A partir de 20 dias após a inoculação, as folhas começaram a ser coletadas regularmente, para assegurar uma gama variada de severidade, totalizando ao final da coleta 200 folhas, as quais foram escaneadas por meio de um scanner Hewlett Packard, (Modelo 2130, São Paulo, Brasil) com resolução de 300 dpi. A estimativa de área foliar doente foi feita com o auxílio do programa QUANT (VALE et al., 2003).

A severidade de cada folha estimada com o uso do programa foi considerada como a severidade real da doença e utilizada como referência nas avaliações para validação da escala. Folhas reais com severidades seguindo um padrão linear foram escolhidas para constituir os diagramas, com ajustes feitos pelo programa de edição de imagens PhotoImpression® (ArcSoft) (Figura 1).

3.2 VALIDAÇÃO DA ESCALA DIAGRAMÁTICA

A validação da escala diagramática foi realizada em duas etapas distintas, onde primeiramente, 40 avaliadores sem experiência em quantificar doenças de plantas avaliaram 50 imagens de folhas de soja com diferentes níveis de severidade sem utilizar a escala como ferramenta. As imagens foram projetadas em slides do MS PowerPoint, com tempo programado de 40s por imagem. Após 15 minutos, os avaliadores tiveram que avaliar o mesmo conjunto de folhas, mas em ordem diferente. Nesta etapa, 20 avaliadores receberam a escala diagramática para ferrugem publicada (GODOY et al., 2006) e os outros 20 receberam a nova escala diagramática proposta (Figura 1). A acurácia e precisão das estimativas dos avaliadores foi determinada pelo coeficiente de correlação concordante de Lin (CCCL, ρ_c) (LIN, 1989).

O CCCL combina as medidas de precisão para avaliar a relação dos dados com a linha de concordância. É definido por $\rho_c = r \times C_b$, onde C_b mede o desvio sobre a linha de concordância, sendo uma medida de acurácia. O r é o coeficiente de correlação entre a severidade estimada e a real sendo, portanto, uma medida de precisão. O C_b é expresso por $C_b = 2/[(v + 1/v + u^2)]$, com $v = \sigma_y / \sigma_x$, onde σ é o desvio-padrão de y (severidade estimada) e x (severidade real) e u é o valor médio (μ) de y menos o valor médio de x , dividido pela raiz quadrada do desvio padrão de y (σ_y) multiplicado pelo desvio-padrão de x (σ_x), ou seja $u = (\mu_y - \mu_x) / \sqrt{(\sigma_y \cdot \sigma_x)}$. O v é a diferença de escala entre y e x , sendo definido pela diferença na inclinação da linha ajustada com a linha concordante. Os valores que indicam uma avaliação perfeita, onde a severidade estimada concorda com a real, são: $\mu_y = \mu_x$, $\sigma_y = \sigma_x$, $r = 1$, $v = 1$, $u = 0$, $C_b = 1$ e $\rho_c = 1$ (BOCK et al., 2010).

A reprodutibilidade entre os avaliadores foi determinada utilizando o coeficiente de determinação das análises de regressão linear (R^2) de cada par de avaliadores e o coeficiente de correlação intra-classe (ρ) para todas as combinações entre avaliadores (SHOUKRI; PAUSE, 1999, NITA et al., 2003). Também foi determinado o erro absoluto, que é a severidade estimada menos a severidade real.

Todas as análises descritas foram feitas por meio da plataforma R (R Core Team, 2016). O Epi.cc, do pacote epiR foi utilizado para calcular as estatísticas LCCC (STEVENSON, 2012). A função built-in boot.sample R foi utilizada para calcular a equivalência e o ICC, ρ foi calculado com o auxílio do pacote irr R (GRAMER et al., 2012).

4. RESULTADOS

A escala diagramática proposta neste estudo é composta de 10 níveis de severidade, seguindo um padrão de intervalos linear que vai de 0,2 a 84% (Figura 1). Todos os avaliadores tiveram uma relação linear entre a severidade real e a estimada (Figuras 2a, b, e, f).

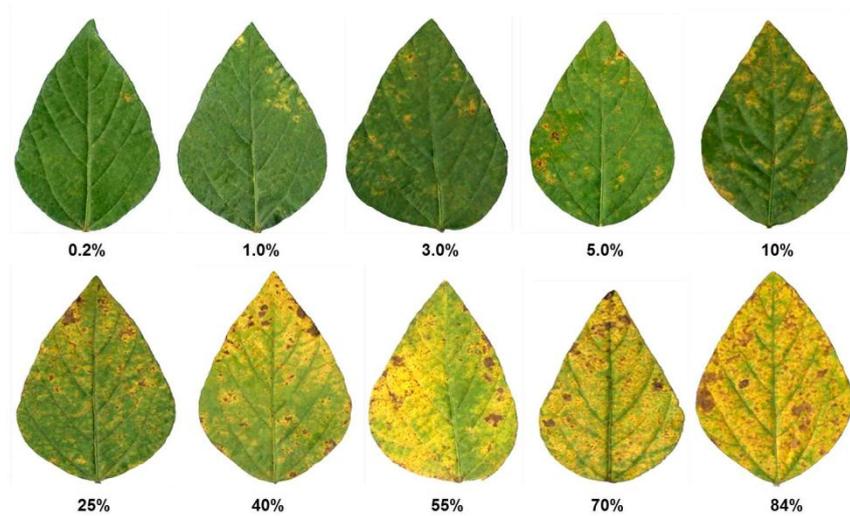


Figura 1 - Escala diagramática para estimar a severidade da ferrugem-asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) em folhas de soja. Os números representam o percentual (%) de área foliar mostrando os sintomas da doença, abrangendo área clorótica e necrótica.

4.1 ESCALA PUBLICADA

Apenas dois parâmetros estatísticos (v e u) tiveram alterações significativas quando os avaliadores utilizaram a escala como auxílio para estimar a severidade da ferrugem.

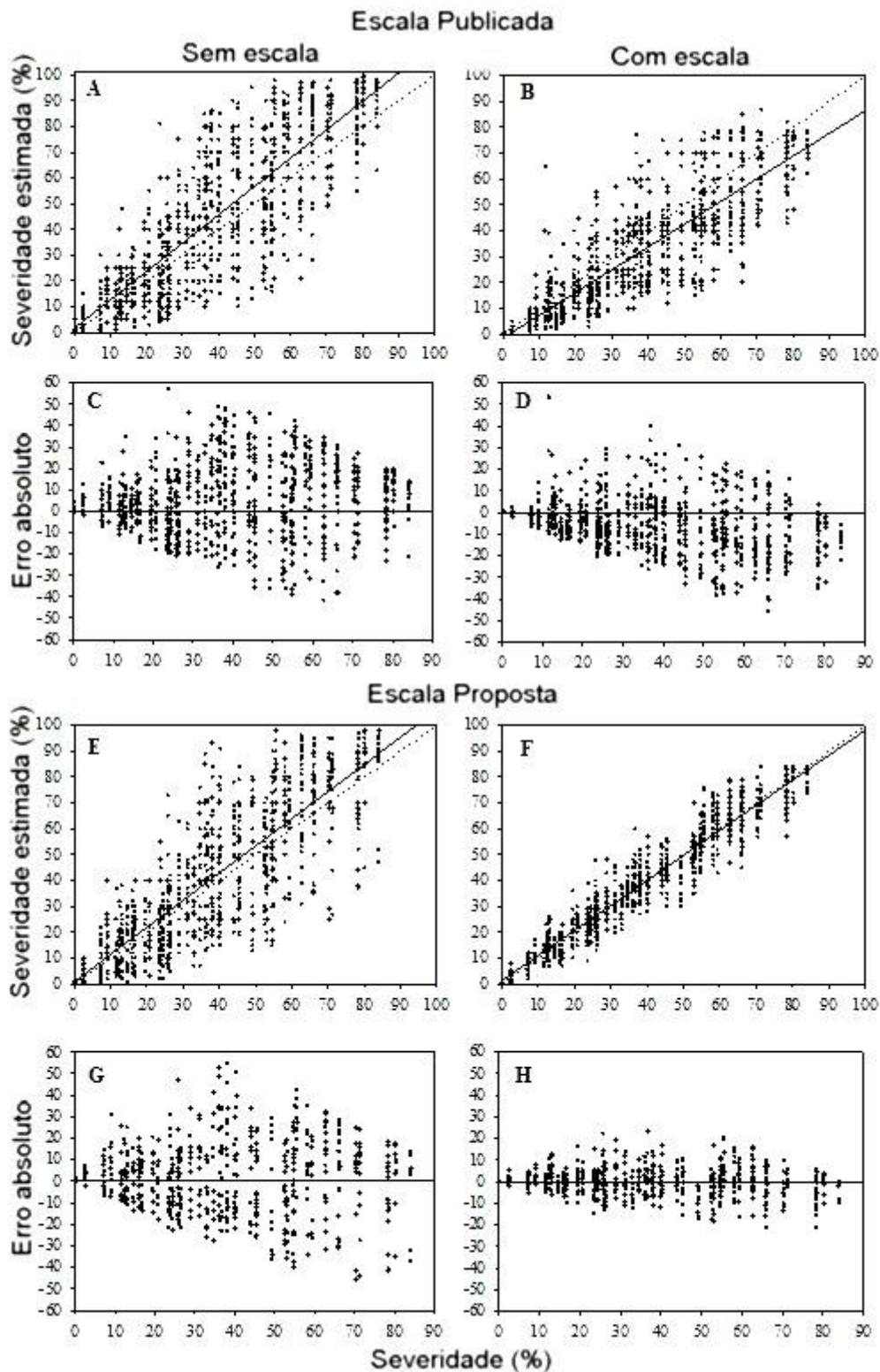


Figura 2 - Relação entre a severidade real e estimada da ferrugem-asiática da soja em folhas de soja sem (a) e com (b) o uso de uma escala diagramática para 50 folhas avaliadas por 20 avaliadores. A linha pontilhada é a linha de concordância, que representa o perfeito acordo entre severidade real e estimada. Erro absoluto das estimativas sem escala diagramática (c) e com escala diagramática (d) para as 50 folhas.

Para 65% dos avaliadores houve um aumento nos valores do parâmetro ρ_c com o auxílio da escala diagramática. Quando a escala não foi empregada o ρ_c variou de 0,677 a 0,923, com uma média de 0,801 e com o uso da escala o ρ_c variou de 0,704 a 0,898, com média de 0,828. No parâmetro C_b , 70% dos avaliadores apresentaram valores mais próximos de 1 com o uso da escala diagramática, com médias de 0,895 sem o uso da escala e 0,919 com o uso da escala (Tabela 1; Figura 3). Sem o uso da escala diagramática o valor de u variou de -0,758 a -0,03, com média 0,209 e com o seu uso variou de -0,727 a -0,00005 e teve media de -0,285. No parâmetro v , observou-se que sem o uso da escala diagramática a variação foi de 1,05 a 1,47 (média de 1,231) e com o uso da escala, de 1,01 a 1,19 (média de 0,974) (Tabela 1; Figura 3).

Apenas 45% dos avaliadores tiveram valores mais próximos de 1 para o coeficiente de correlação com o uso da escala diagramática, variando de 0,842 a 0,942 sem a escala, e com o auxílio da escala, variando de 0,847 a 0,942. Os avaliadores apresentaram erros absolutos maiores quando não utilizaram a escala diagramática, com erros ficando entre 60% e -50%, já com o uso da escala publicada o erro foi menor, embora ainda tenha sido alto, com a maioria dos erros se concentrando na faixa de $\pm 40\%$ (Figuras 2c e d).

Outro indicador utilizado foi a reprodutibilidade dos avaliadores. O coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de correlação intra-classe (ρ) não demonstraram diferenças significativas quando os avaliadores utilizaram a escala publicada para estimar a severidade da ferrugem nas folhas (Tabela 2). Sem a utilização da escala, 73,68% das comparações tinham um $R^2 < 0,80$ e quando a escala foi empregada, observou-se um aumento para 86,84% (Figura 4a). O parâmetro ρ sem a escala foi de 0,749 e com a escala foi de 0,762 (Tabela 2). Não foi observada melhoria nos índices, indicando que o uso da escala diagramática publicada não proporcionou reprodutibilidade entre os avaliadores.

Tabela 1 - Efeito do uso da escala diagramática publicada e proposta como um auxílio de avaliação sobre o viés, acurácia, precisão e concordância de avaliações de severidade da ferrugem-asiática da soja em 50 folhas de soja estimadas por 20 avaliadores.

CCCL	Escala publicada		Diferença entre médias ^a	Intervalo de Confiança 95% ^b
	Sem escala	Com escala		
Inclinação (v) ^c	1,231 (0,139)	0,974 (0,107)	-0,256 (0,038)	-0,3321; -0,1807*
Deslocamento (u) ^d	0,209 (0,400)	-0,285 (0,305)	-0,495 (0,110)	-0,7014; -0,2721*
Fator de correção (C_b) ^e	0,895 (0,076)	0,919 (0,058)	0,024 (0,020)	-0,0166; 0,0655
Coef. de correlação (r) ^f	0,894 (0,037)	0,900 (0,027)	0,006 (0,010)	-0,0128; 0,0278
CCCL (ρ_c) ^g	0,801 (0,084)	0,828 (0,054)	0,027 (0,021)	-0,0155; 0,0707
CCCL	Escala proposta		Diferença entre médias	Intervalo de Confiança 95%
	Sem escala	Com escala		
Inclinação (v)	1,186 (0,175)	0,995 (0,039)	-0,185 (0,039)	-0,2519; -0,1017*
Deslocamento (u)	0,097 (0,400)	0,004 (0,076)	-0,093 (0,088)	-0,2567; 0,0893
Fator de correção (C_b)	0,912 (0,092)	0,998 (0,005)	0,083 (0,020)	0,0509; 0,1270*
Coef. de correlação (r)	0,882 (0,063)	0,967 (0,029)	0,084 (0,014)	0,0597; 0,1154*
CCCL (ρ_c)	0,804 (0,092)	0,964 (0,016)	0,159 (0,020)	0,1230; 0,2018*

^a Média da diferença entre cada avaliação

^b Foram utilizadas 10000 amostras de bootstrap para obter os intervalos de confiança. Se o intervalo de confiança incluir o número 0 a diferença não é significativa ($\alpha=0,05$)

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

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

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

^f Coeficiente de correlação (r).

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

4.2 ESCALA PROPOSTA

Os parâmetros ρ_c , C_b , v e r foram significativamente melhorados quando os avaliadores utilizaram a escala diagramática como auxílio, demonstrando que houve melhoria nas avaliações. O parâmetro u não apresentou diferença estatística significativa (Tabela 1; Figura 3).

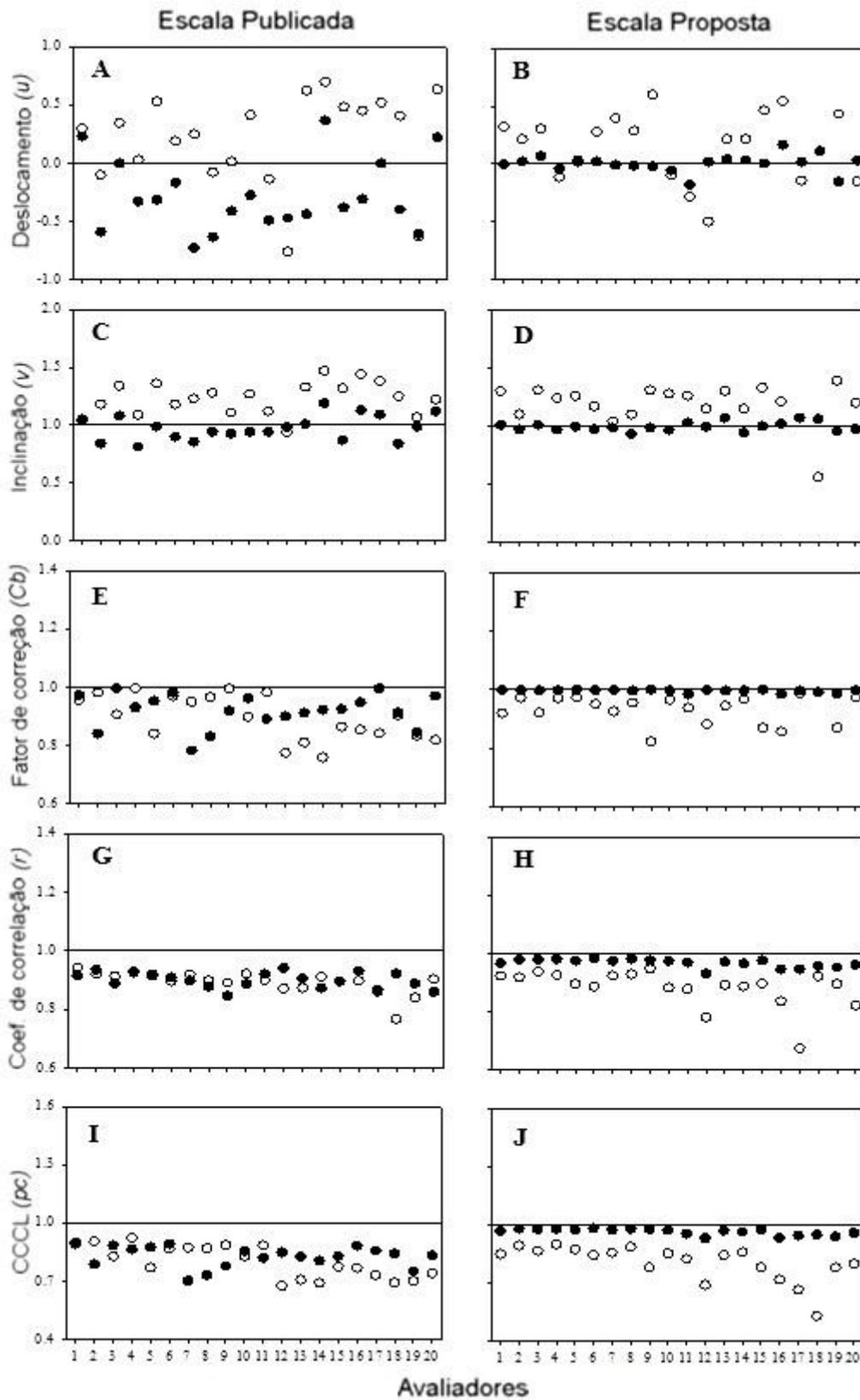


Figura 3 – Viés de inclinação (v) (a - b), Viés de deslocamento (u) (c - d), Coeficiente de correlação (r) (e - f), Fator de correção (C_b) (g - h) e CCCL (ρ_c) (i - j) de estimativas de ferrugem-asiática da soja em folhas de soja por 20 avaliadores sem (círculo branco) ou com (círculo preto) o uso da escala diagramática publicada e proposta.

Para 100% dos avaliadores houve melhora no parâmetro ρ_c com o auxílio da escala proposta. Sem o uso da escala o ρ_c variou de 0,53 a 0,9, com média de 0,804, e com o uso da escala variou de 0,931 a 0,983, com média 0,964. Na análise do parâmetro C_b todos os avaliadores apresentaram valores melhores com o uso da escala, ficando com média de 0,996 e de 0,912 sem o uso da escala diagramática (Tabela 1; Figura 3).

Não foi observada diferença estatística significativa nos valores de u . Os valores de u sem o uso da escala variaram de -0,496 a 0,598 com média 0,097 e com o uso da escala proposta, de -0,178 a 0,165, média 0,004. O parâmetro v melhorou para 100% dos avaliadores e variou de 0,563 a 1,39, com média 1,18 sem o uso da escala. Com o uso da escala os valores ficaram entre 0,933 e 1,07, com média 0,995 (Tabela 1; Figura 3).

Tabela 2 - Reprodutibilidade das estimativas de severidade de ferrugem-asiática da soja por 20 avaliadores em 50 folhas de soja sem e com o uso da escala diagramática publicada e proposta. A reprodutibilidade entre avaliadores é medida pelo coeficiente de correlação intra-classe (ρ) e pelo coeficiente de determinação (R^2).

Estatística	Escala publicada	
	Sem escala	Com escala
Coef. de correlação intra-classe, ρ (95 % IC)	0,749 (0,65 – 0,833)	0,762 (0,673- 0,84)
Coef. de determinação entre avaliadores (R^2) ^a	0,719 (0,352 – 0,889)	0,711 (0,517 – 0,867)
Diferença entre médias (95 % IC) ^b	-0,008 (-0,0269/0,0113)	
Estatística	Escala proposta	
	Sem escala	Com escala
Coef. de correlação intra-classe, ρ (95 % IC)	0,739 (0,644 – 0,823)	0,942 (0,918 – 0,962)
Coef. de determinação entre avaliadores (R^2)	0,693 (0,315 – 0,901)	0,899 (0,794 – 0,964)
Diferença entre medias (95 % IC)	0,206 (0,1893/0,2243)*	

^aMédia do coeficiente de determinação estimados a partir de comparações par a par de avaliações por todos os avaliadores.

^bForam utilizadas 10000 amostras de bootstrap para obter os intervalos de confiança. Se o intervalo de confiança incluir o número 0 a diferença não é significativa ($\alpha=0,05$)

No parâmetro r , observou-se melhora nas avaliações em 100% dos avaliadores quando a escala diagramática foi usada. Os valores de r sem a escala ficaram entre 0,674 e 0,947, com média de 0,882, já os valores com auxílio da escala ficaram entre 0,930 e 0,983, com média 0,967 (Tabela 1; Figura 3). Em relação aos erros absolutos constatou-se erros menores quando

os avaliadores tiveram o auxílio da escala diagramática. Sem a escala, os erros absolutos ficaram entre 60% e -40% e com a escala proposta, a maioria dos avaliadores concentraram seus erros na faixa dos $\pm 20\%$ (figuras 2g e h).

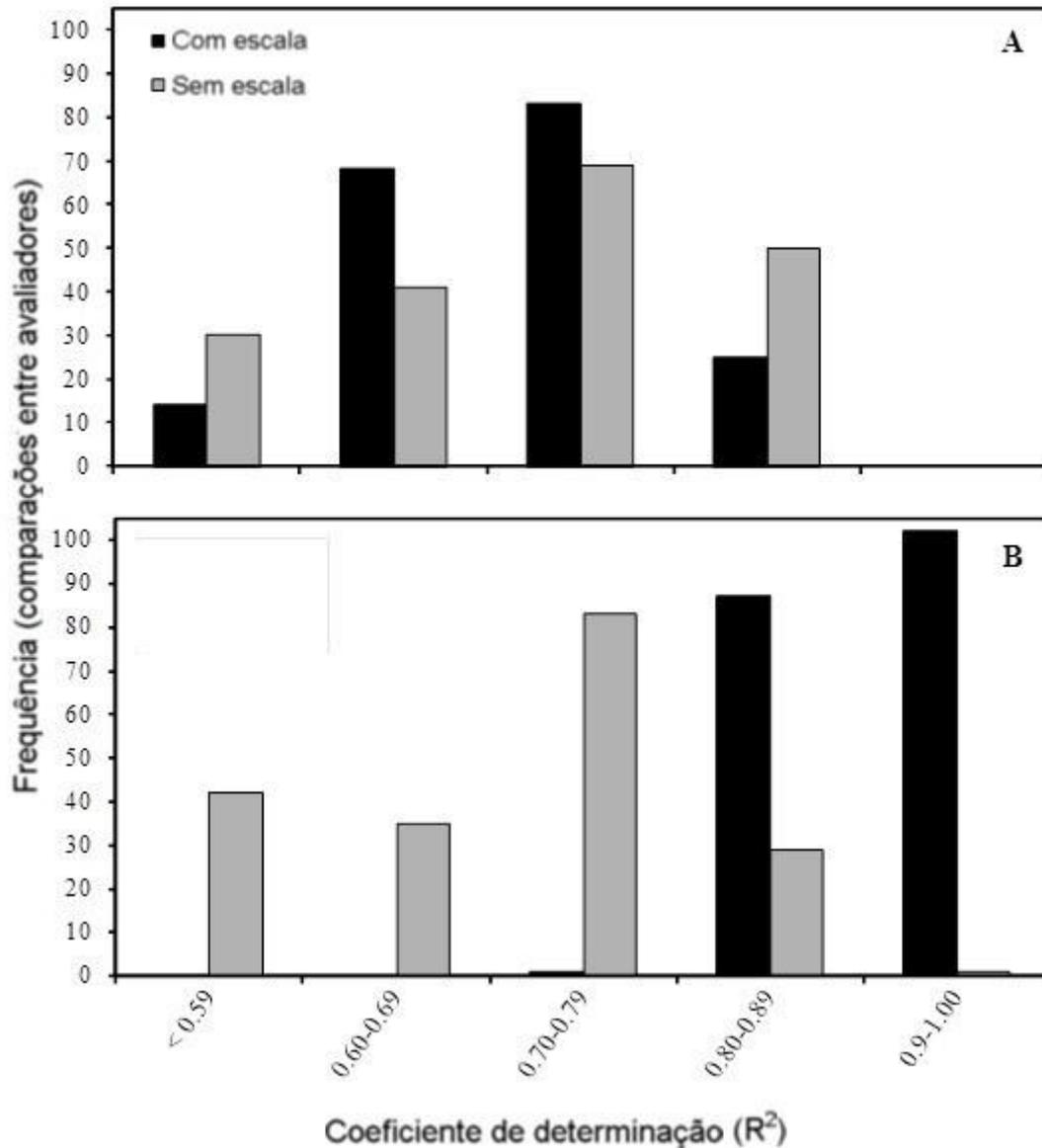


Figura 4 – Reprodutibilidade entre 20 avaliadores, determinada pelo coeficiente de determinação (R^2) sem e com o uso da escala diagramática publicada (a) e proposta (b) como auxílio para avaliar a severidade da ferrugem-asiática da soja em 50 Imagens de folhas de soja

Os parâmetros estatísticos baseados no coeficiente de determinação (R^2) e no coeficiente de correlação intra-classe (ρ) foram significativamente melhorados quando os avaliadores utilizaram a escala diagramática proposta para estimar a severidade (Tabela 2). Sem a utilização da escala, 84,21% das comparações tinham um $R^2 < 0,80$, mas quando a

escala foi utilizada como auxílio, apenas 0,52% das comparações tiveram um $R^2 < 0,80$ (figura 4b).

O parâmetro ρ foi maior quando a escala diagramática proposta foi utilizada, ficando em 0,739 sem a escala e 0,942 com a escala, indicando que o uso da escala diagramática proposta proporcionou maior reprodutibilidade entre avaliadores (Tabela 2).

5. DISCUSSÃO

Quantificar doenças em plantas é de extrema importância na tomada de decisões em casos onde a severidade da doença está relacionada com a perda de rendimento e produtividade (BOCK et al., 2010). As escalas diagramáticas são atualmente a ferramenta mais importante para auxiliar na estimativa da severidade de doenças em plantas, com o objetivo de aumentar a acurácia, a precisão e a reprodutibilidade (NUTTER et al., 1993).

Embora já existam escalas diagramáticas para avaliar severidade da ferrugem-asiática como a proposta por Godoy et al. (2006), a escala proposta neste estudo, além de conter mais níveis de severidade e contar com imagens reais, foi elaborada seguindo um padrão linear em seus intervalos, de acordo com escalas desenvolvidas recentemente (DOMICIANO et al., 2013; DUARTE et al., 2013; RIOS et al., 2013; DEBONA et al., 2015; LAGE et al., 2015), uma vez que um padrão linear nos intervalos de escalas diagramáticas tende a apresentar erros absolutos mais baixos nas avaliações (SCHWANCK; DEL PONTE, 2014). O uso de intervalos que seguem um padrão logarítmico vem sendo criticado atualmente (NUTTER; ESKER, 2006; BOCK et al., 2010).

A escala diagramática proposta conta com 10 níveis de severidade distribuídos linearmente e compreende intervalos que vão de 0,2 a 84% de severidade (figura 1). O percentual máximo da escala diagramática foi baseado na severidade máxima da doença encontrada. Entende-se que percentuais maiores (>84%) não serão encontrados a campo, pois a evolução da doença culmina na queda da folha. O número de diagramas utilizados neste estudo foi considerado adequado. Números semelhantes de diagramas podem ser encontrados em estudos recentes (SPOLTI et al., 2011; DUARTE et al., 2013; YADAV et al., 2013; PRICE et al., 2016; DOLINSKI et al., 2017). Um número menor de diagramas pode dificultar e interferir nas avaliações, tornando-as mais subjetivas (YADAV et al., 2013). A distribuição dos níveis em uma maior quantidade de diagramas pode diminuir a praticidade, levando um tempo maior para a conclusão das avaliações (CORRÊA et al., 2009, YADAV et al., 2013; BOCK et al., 2016). A opção por avaliadores inexperientes se deu pelo fato de que avaliadores experientes não apresentam maiores benefícios com o uso de escalas diagramáticas quando comparados com avaliadores inexperientes (BOCK et al., 2010; BARDSLEY; NGUGI, 2013; KLOSOWSKI et al., 2013; YADAV et al., 2013).

A escala diagramática proposta neste estudo é composta por diagramas coloridos. Alguns estudos comprovam que um conjunto de diagramas coloridos proporciona maior

precisão e acurácia em comparação com as avaliações feitas utilizando o mesmo conjunto em preto e branco (ANGELOTTI et al., 2008; BUFFARA et al., 2014).

A regressão linear, apesar de ter sido usada em diversos estudos para testar acurácia e precisão na fitopatometria (GODOY et al., 2006; ANGELOTTI et al., 2008; MICHEREFF et al., 2009), apresenta alguns problemas e pode levar a conclusões enganosas em determinadas situações (BOCK et al., 2010; MADDEN et al., 2007). Isso ocorre porque a regressão linear pode não detectar a saída do intercepto 0 e da inclinação 1 se os dados forem muito dispersos, podendo ocorrer rejeição da hipótese mesmo com um erro irrelevante (LIN, 1989; MADDEN et al., 2007). Neste sentido o coeficiente de correlação concordante de Lin está sendo uma alternativa melhor para estudos fitopatométricos, pois combina medidas de precisão e acurácia e facilita a interpretação dos dados (NITA et al., 2003).

Nas avaliações deste estudo com o uso da escala diagramática publicada, houve uma tendência a subestimação da severidade da doença, com 85% dos avaliadores apresentando valores de u negativos, fato confirmado também pela maioria dos erros absolutos dos avaliadores serem negativos (Figuras 2d e 3c), concordando com outros estudos envolvendo diferentes patossistemas (DUARTE et al., 2013; GONZALEZ DOMINGUEZ et al., 2014; DEBONA et al., 2015; DOLINSKI et al., 2017). Quando houve a utilização da escala diagramática proposta, os avaliadores apresentaram uma superestimativa dos valores (Figuras 2h e 3d) e para 60% deles os valores de u foram positivos, concordando com a afirmação de que avaliadores inexperientes possuem uma propensão a superestimar a severidade de uma doença principalmente quando se tratam de lesões pequenas que atingem vários pontos da folha (BOCK et al., 2010). Outros estudos obtiveram resultados semelhantes (CAPUCHO et al., 2010; LENZ et al., 2010; RIOS et al., 2013; YADAV et al., 2013; DOMICIANO et al., 2013). Um treinamento baseado em programas de computador é recomendado para diminuir estes erros (NUTTER; SCHULTZ, 1995).

A reprodutibilidade entre avaliadores, feita de acordo com o coeficiente de determinação R^2 e com o coeficiente de correlação intra-classe, melhorou quando a escala proposta foi utilizada. Os ganhos em reprodutibilidade demonstram que a escala diagramática proposta pode ser utilizada por diferentes avaliadores em diferentes situações sem que haja perdas significativas no processo de avaliação (BOCK et al., 2010).

No presente estudo a acurácia e a precisão dos avaliadores foram significativamente melhoradas com o uso da escala diagramática proposta para ferrugem-asiática, apresentando melhoria em todos os parâmetros do Coeficiente de Correlação de Lin. O parâmetro u já apresentava valores próximos do ideal nas avaliações sem o uso da escala, portanto o fato de

não existir diferença estatística significativa não impacta sobre a qualidade da escala proposta, configurando um valor ideal, assim como os outros parâmetros que apresentaram diferença estatística significativa. Com o uso da escala diagramática publicada não foram observados ganhos em acurácia, precisão e reprodutibilidade utilizando essa avaliação.

6. CONCLUSÃO

A escala diagramática proposta neste estudo aumentou a acurácia, a precisão e a reprodutibilidade das avaliações, sendo uma importante ferramenta para avaliar severidade de ferrugem-asiática da soja em estudos epidemiológicos, na determinação de medidas de controle e em qualquer outra situação que necessite medidas precisas de quantificação da doença em questão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOVE. Associação brasileira das indústrias de óleos vegetais, 2017. <http://abiove.org.br>
Acesso em 10 Outubro 2017
- AMORIM, L. Avaliação de doenças. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda. v.1. p. 645-671, 1995.
- ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. D. A. Ferrugem asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira. **Embrapa Agropecuária Oeste-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2002.
- ANGELOTTI, F.; SCAPIN, C. R.; AND TESSMANN, D. J.; VIDA, J. B.; OLIVEIRA, R. R.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of grapevine rust. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 6, p. 439-443, 2008.
- BARDSLEY, S. J.; NGUGI, H. K. Reliability and accuracy of visual methods to quantify severity of foliar bacterial spot symptoms on peach and nectarine. **Plant Pathology**, v. 62, n. 2, p. 460-474, 2013.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. São Paulo. **Editora Ceres**, 1996.
- BERGER, R.D. Measuring disease intensity. In: Teng, P.S. & Krupa, S.V. (Eds.) Crop loss assessment. St. Paul. University of Minnesota. pp.28-31. 1980.
- BOCK, C. H.; HOTCHKISS, M. W.; WOOD, B. W. Assessing disease severity: accuracy and reliability of rater estimates in relation to number of diagrams in a standard area diagram set. **Plant Pathology**, v. 65, n. 2, p. 261-272, 2016.
- BOCK, C. H.; POOLE, G.; PARKER, P. E.; GOTTWALD, T. R. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 29, n. 2, p. 59-107, 2010.
- BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. A soja no Brasil: história e estatística. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 1987.
- BROMFIELD, K. R.; HARTWIG, E. E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, v. 20, n. 2, p. 254-255, 1980.
- BROMFIELD, K. R. Soybean Rust. Monograph No. 11. American Phytopathological Society, St. Paul, MN., 1984
- BUFFARA, C. R. S.; ANGELOTTI, F.; VIEIRA, R. A.; BOGO, A.; TESSMANN, D. J.; BEM, B. P. Elaboration and validation of a diagrammatic scale to assess downy mildew severity in grapevine. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1384-1391, 2014.

- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. John Wiley & Sons., 1990.
- CAPUCHO, A. S.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; PARREIRA, D. F.; FERREIRA, P. A.; LANZA, F. E.; COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; COTA, L. V. Influence of leaf position that correspond to whole plant severity and diagrammatic scale for white spot of corn. **Crop Protection**, v. 29, n. 9, p. 1015-1020, 2010.
- CHESTER, K. S. Plant disease losses: their appraisal and interpretation. **Plant disease losses: their appraisal and interpretation.**, n. 193, 1950.
- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Ferrugem asiática já causou prejuízos de US\$ 25 bilhões lavouras de soja no país**. [S.l.] Disponível em <<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/ferrugem-asiatica-causou-prejuizos-bilhoes-lavouras-soja-pais-29990>>. Acesso em: 25 mar. 2016
- CORRÊA, F. M.; BUENO FILHO, J. S. S.; CARMO, M. G. F. Comparison of three diagrammatic keys for the quantification of late blight in tomato leaves. **Plant Pathology**, v. 58, n. 6, p. 1128-1133, 2009.
- CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C.; LARANJEIRA, F. F.; LOPES, P. V. L.; ANDRADE, N. S.; LEDO, C. A. S. Perdas causadas pela ferrugem-asiática em cultivares de soja semeadas em diferentes épocas, no Oeste da Bahia. **Tropical Plant Pathology, Brasília**, v. 37, n. 4, p. 255-265, 2012.
- DE JONG, S. M.; VAN DER MEER, F. D. (Ed.). **Remote sensing image analysis: including the spatial domain**. Springer Science & Business Media, 2007.
- DEBONA, D.; NASCIMENTO, K. J. T.; REZENDE, D.; RIOS, J. A.; BERNARDELO, A. M. A.; SILVA, L. C.; RODRIGUES, F. A. A set of standard area diagrams to assess severity of frogeye leaf spot on soybean. **European journal of plant pathology**, v. 142, n. 3, p. 603-614, 2015.
- DEL PONTE, E. M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X. B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v. 96, n. 7, p. 797-803, 2006.
- DEL PONTE, E.; PETHYBRIDGE, S. J.; BOCK, C.; 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**, n. ja, 2017.
- DOLINSKI, M. A.; DUARTE, H. S. S.; DA SILVA, J. B.; MAY DE MIO, L. L. Development and validation of a standard area diagram set for assessment of peach rust. **European Journal of Plant Pathology**, p. 1-8, 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, n. 4, 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 JÚNIOR, W. C., RODRIGUES, F. A., **O essencial da fitopatologia: Epidemiologia de doenças de plantas**. Viçosa – MG, 79-99. 2014.
- 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.
- D'UTRA, G. Soja. *Jornal do Agricultor*, Rio de Janeiro, v7, p.185-188, 1882.
- FAO - Food and Agriculture Organization. 2017. [http:// faostat.fao.org](http://faostat.fao.org). Acesso em 22 Junho 2017
- FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.
- GODOY, C. V.; FLAUSINO, A. M.; SANTOS, L. C. M.; DEL PONTE, E. E. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology, Brasília. Vol. 34, n. 1 (jan./fev. 2009), p. 56-61**, 2009.
- GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; ROESE, A. D.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FEKSA, H. R.; GRIGOLLI, J. F. J.; NUNES JÚNIOR, J.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, L. H. C. P.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; MADALOSSO, M.; ITO, M. F. Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2012/13: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2013.
- GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.
- GONZÁLEZ-DOMÍNGUEZ, E.; MARTINS, R. B.; DEL PONTE, E. M.; MICHEREFF, S. M.; 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, n. 2, p. 419-428, 2014.

- GRAMER, M.; LEMON, J.; FELLOWS, I. Various coefficients of interrater reliability and agreement. R Package Version 0.84. 2012.
- HENNINGS, V. P. A few new Japanese Uredinaceae. *Hedwigia* v.42 p. 107-108. 1903.
- HORSFALL, J. G.; BARRATT R. W. N. An improved grading system for measuring plant diseases. **Phytopathology**, v. 35, p. 655, 1945.
- JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C. Manejo integrado de doenças na cultura da soja. **Uberlândia: UFU**, 2004.
- KIIHL, R. A. S.; GARCIA, A. The use of long juvenile trait in breeding soybean cultivars. In: **World Soybean Research Conference**. 1989.
- KIMATI, H. Princípios gerais de controle de plantas. **Manual de fitopatologia. São Paulo: Ceres**, v. 1, p. 289-296, 1978.
- KLOSOWSKI, A. C.; RUARO, L.; BESPALHOK FILHO, J. C.; MAY DE MIO, L. L. Proposta e validação de escala para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, p. 166-171, 2013.
- KRANZ, J. Measuring plant disease. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. (Ed.) *Experimental techniques in plant disease epidemiology*, Springer: Heidelberg, p. 35-50, 1988.
- LAGE, D. A. C.; MAROUELLI, W. A.; DUARTE, H. S. S.; CAFE-FILHO, A. C. Standard area diagrams for assessment of powdery mildew severity on tomato leaves and leaflets. **Crop Protection**, v. 67, p. 26-34, 2015.
- LARGE, E. C. Some recent developments in fungus disease survey work in England and Wales. **Annals of Applied Biology**, v. 40, n. 3, p. 594-599, 1953.
- LENZ, A.; BALARDIN, R. S.; CORTE, G. D.; MARQUES, L. N.; DEBONA, D. Escala diagramática para avaliação de severidade de mancha-parda em arroz. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 752-758, 2010.
- LIMA, H. E.; DE LIMA NECHET, K.; VIEIRA B. A. H.; DE OLIVEIRA, J. R.; DUARTE, H. S. S.; QUEIROZ, E. S.; OLIVEIRA, F. L. Elaboração e validação de escalas diagramáticas para avaliação da severidade da mancha-bacteriana do feijão-caupi em cultivares com trifólios morfológicamente distintos. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, 2013.
- LIN, L. I. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45, 255–268, 1989.
- LOPES, U. P.; DUARTE, H. S. S.; CAPUCHO, A. S.; ZAMBOLIM, L. Quantificação de doenças de plantas. In: ZAMBOLIM, L., JESUS JÚNIOR, W. C., RODRIGUES, F. A. **O essencial da fitopatologia: Epidemiologia de doenças de plantas**. Viçosa – MG, 49-79. 2014.

- MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. American Phytopathological Society (APS Press), 2007.
- MCNEW, G. L. The nature, origin, and evolution of parasitism. **Plant pathology: an advanced treatise**, v. 2, p. 19-69, 1960.
- MELCHING, J. S. et al. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v. 73, n. 2, p. 117-122, 1989.
- MICHEREFF, S. M.; NORONHA, M. D. A.; LIMA, G.; ALBERT, Í. C.; MELO, E. A.; GUSMÃO, L. O. Diagrammatic scale to assess downy mildew severity in melon. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 76-79, 2009.
- MOREL PAIVA, W. Roya de la soja. **Itapúa: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola: Centro de Investigación Agrícola**, 2001.
- MORSE, D. J. History of soybean production. **Soybean and soybean products**, p. 3-59, 1950.
- NEWELL, L. C.; TYSDAL, H. M. Numbering and note-taking systems for use in the improvement of forage crops. **Journal of the American Society of Agronomy**, 1945.
- NITA, M.; ELLIS, M. A.; MADDEN, L. V. Reliability and accuracy of visual estimation of Phomopsis leaf blight of strawberry. **Phytopathology**, v. 93, n. 8, p. 995-1005, 2003.
- NUTTER JR, F. W. Remote sensing and image analysis for crop loss assessment. **Crop loss assessment in rice**, International Rice Research Institute, Manila, The Philippines. p. 93-105, 1990.
- NUTTER JR, F. W.; Gleason, M. L.; Jenco, J. H.; Christinas, N. C. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. **Phytopathology**, v. 83, n. 8, p. 806-812, 1993.
- NUTTER JR, 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 JR, F. W.; TENG, P. S.; SHOKES, F. M. Disease assessment terms and concepts. **Plant Disease**, 1991.
- NUTTER, F. W.; ESKER, P. D. The role of psychophysics in phytopathology: The Weber-Fechner law revisited. **European Journal of Plant Pathology**, v. 114, n. 2, p. 199-213, 2006.
- O'BRIEN, R. D.; VAN BRUGGEN, A. H. C. Accuracy, precision, and correlation to yield loss of disease severity scales for corky root of lettuce. **Phytopathology**, v. 82, n. 1, p. 91-96, 1992.

- PEDROSO, C.; LAGE, D. A. C.; HENZ, G. P.; CAFÉ-FILHO, A. C. Development and validation of a diagrammatic scale for estimation of anthracnose on sweet pepper fruits for epidemiological studies. **Journal of Plant Pathology**, p. 219-225, 2011.
- PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. Doenças de soja: diagnose, epidemiologia e controle. Passo Fundo: EMBRAPA, CNPT, 1998. 91p. **EMBRAPA. CNPT. Documentos**, v. 42.
- PIPER, C. V.; MORSE, W. J. The soybean. 329 pp. **New York: McCraw-Hill Book CO**, 1923.
- PRICE, T.; PURVIS, M.; PRUITT, H. A quantifiable disease severity rating scale for frogeye leaf spot of soybean. **Plant health progress**, v. 17, n. 1, p. 27, 2016.
- R. CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2014. R Foundation for Statistical Computing. 2016.
- REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R.; CARMONA, M. Doenças da soja I: Ferrugem asiática. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2006.
- REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. Ferrugem da soja: revisão e aspectos técnicos. **Doenças na Cultura da Soja. Passo Fundo, RS, BR. Aldeia Norte**, p. 55-70, 2004.
- REIS, E. M.; CASA, R. T.; MICHEL, C. Ocorrência de epidemia da ferrugem da soja no Rio Grande do Sul na safra 2001/2002. **Fitopatologia brasileira**, v. 27, n. supl S, p. 198, 2002.
- RIOS, J. A.; DEBONA, D.; DUARTE, H. S. S.; RODRIGUES, F. A. Development and validation of a standard area diagram set to assess blast severity on wheat leaves. **European journal of plant pathology**, v. 136, n. 3, p. 603-611, 2013.
- 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.
- SEEM, R. C. Disease incidence and severity relationships. **Annual Review of Phytopathology**, v. 22, n. 1, p. 133-150, 1984.
- SHERWOOD, R. T.; BERG, C. C.; HOOVER, M. R.; ZEIDERS, K. E. Illusions in visual assessment of Stagonospora leaf spot of orchardgrass. **Phytopathology**, v. 73, n. 2, p. 173-177, 1983.
- SHOUKRI, M. M.; PAUSE, C. A. Statistical analysis of reliability measurements. **Statistical Methods for Health Sciences**, p. 20-28, 1999.
- SINCLAIR, J.B. & HARTMAN, G.L. **Soybean diseases**. In: Hartman, G.L., Sinclair, J.B. & Rupe, J.C. (Eds.) Compendium of soybean diseases. 4 ed. St. Paul. American Phytopathological Society. P. 3-4, 1999.

- SPOLTI, P.; SCHNEIDER, L.; SANHUEZA, R. M. V.; BATZER, J. C.; GLEASON, M. L.; DEL PONTE, E. M.. Improving sooty blotch and flyspeck severity estimation on apple fruit with the aid of standard area diagrams. **European Journal of Plant Pathology**, v. 129, n. 1, p. 21-29, 2011.
- SPOSITO, M. B.; AMORIM, L.; BELASQUE JUNIOR, J.; BASSANEZI, R. B.; AQUINO, R. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da severidade da mancha preta em frutos cítricos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 81-85, 2004.
- STEVENSON, M.; NUNES, T.; SANCHEZ, J.; THORNTON, R.; REICZIGEL, J.; ROBISON-COX, J.; SEBASTIANI, P. epiR: An R package for the analysis of epidemiological data. **R package version 0.9–43**, 2012.
- UGALDE, M. G. Controle de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow) na cultura da soja. **Controle de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow) na cultura da soja**, Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 79p. 2005.
- VALE, F. X. R.; JESUS JR., W. C.; LIBERATO, J. R.; SOUZA, C. A. Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro. In: VALE, F. X. R., JESUS JR., W. C.; ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**, p. 91-126. 2004.
- VALE, F. X. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; LIBERATO, JR. QUANT. A software for plant disease severity assessment. Abstract. In: **8 th International Congress of Plant Pathology, Christchurch New Zealand**. p. 105. 2003.
- VENCATO, A. Z.; KIST, B. B.; SANTOS, C.; CARVALHO, C.; SILVEIRA, D.; REETZ, E. R.; BELING, R. R.; CORRÊA, S. **Anuário Brasileiro da Soja 2010**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz. 144p. 2010.
- YADAV N.V.; VOS S.M.; BOCK C.H.; WOOD B.W. Development and validation of standard area diagrams to aid assessment of pecan scab symptoms on fruit. **Plant Pathology**, v. 62, n. 2, p. 325-335, 2013.
- YANG X. B.; TSCHANZAT A. T.; DOWLER W. M.; WANG T. C. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybean infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Phytopathology** ed. 81 p. 1420-1426. 1991.
- YI, Q.; WANG, P. P.; HE, Y. Reliability analysis for continuous measurements: equivalence test for agreement. **Statistics in Medicine**, v. 27, n. 15, p. 2816-2825, 2008.
- YORINORI, J. T.; LAZZAROTTO, J. J. Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e na América do Sul. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2004.