



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FERRUGEM DA FOLHA DE TRIGO (*Puccinia triticina* ERIKSS.) TAXA DE FORMAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS LESÕES

PAULO CÉSAR PIRES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Fitopatologia.

Passo Fundo, julho de 2007

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FERRUGEM DA FOLHA DE TRIGO (*Puccinia triticina* ERIKSS.) TAXA DE FORMAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS LESÕES

PAULO CÉSAR PIRES

Orientador: Prof. Dr. José Maurício Cunha Fernandes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Fitopatologia.

Passo Fundo, julho de 2007

**À MARINA
MINHA FILHA
MAIOR REALIZAÇÃO
E ESTÍMULO**

AGRADECIMENTOS

A Deus que é pai de todos nós.

Ao Dr. José Maurício Cunha Fernandes por acreditar em mim e na minha capacidade, orientação, dedicação, ensinamentos e estímulo profissional, durante a realização desta pesquisa. Sua amizade e exemplo de conduta profissional sempre estarão presentes servindo como norteadores na minha vida.

Ao Dr. Willington Pavan, professor e colega que me deu força a iniciar um curso de mestrado em agronomia, sua vontade, sua persistência e superação, serviu como estímulo para conclusão do curso.

Ao Dr. Valter Boller, professor da disciplina de Tecnologia em Aplicação de Defensivos Agrícola, por seu apoio e confiança na minha capacidade de trabalho na disciplina.

A minha mãe Tereza Elira Pires, minha irmã Eliane Fátima Bícigo, aos meus irmãos Leandro Pires e Edegar Ferreira Pires Junior, que acreditaram em mim, com os contratemplos, dificuldades e ficaram ao meu lado, e principalmente ao meu pai, Edegar Ferreira Pires, que faleceu em agosto de 2006, que nos faz tanta falta, mas nós sabemos que ele está num lugar bem melhor do aqui, e que um dia nós estaremos todos juntos.

Aos produtores Otelson Engel e José Nésio Dias de Meira, que cederam suas áreas de lavoura de trigo para a execução desta pesquisa.

À biblioteca da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e ao Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Embrapa Trigo), Passo Fundo, RS, pela disponibilidade de recursos humanos e físicos que possibilitaram a execução da pesquisa.

À Coordenação, à Comissão e aos professores e amigos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo pelas contribuições e sugestões no aperfeiçoamento do texto, bem como ensinamentos e amizades alcançadas durante todo o curso.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	6
LISTAS DE FIGURAS.....	8
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	8

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Etiologia da ferrugem da folha de trigo	8
2.2 Distribuição.....	11
2.3 Interação Patógeno-Hospedeiro	13
2.3.1 <i>Fonte de inóculo</i>	13
2.3.2 <i>Disseminação</i>	14
2.3.3 <i>Penetração</i>	20
2.4 Ciclo de vida da ferrugem da folha de trigo	21
2.5 Ambiente da seleção	25
2.6 Resistência à ferrugem	25
2.7 Virulência	26
2.8 Sintomatologia.....	26
2.9 Epidemiologia.....	28
2.10 Dano	28
2.11 Controle	29

CAPÍTULO II

TAXA DA DENSIDADE DE LESÕES DA FERRUGEM DA FOLHA	33
RESUMO.....	33
ABSTRACT.....	33
1 INTRODUÇÃO.....	33
2 MATERIAL E MÉTODOS	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40

CAPÍTULO III

PADRÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA FERRUGEM DA FOLHA DO TRIGO NO LIMBO FOLIAR	48
RESUMO.....	48
ABSTRACT.....	49
1 INTRODUÇÃO	50
2 MATERIAL E MÉTODOS	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	734

LISTA DE TABELAS

Tabela	CAPÍTULO I	Página
1	Reação, tipos de infecções e sintomas de <i>Puccinia triticina</i> na primeira folha de plântulas de trigo (Roelfs <i>et al.</i> 1992). Embrapa Trigo, Passo Fundo 2006.....	27
CAPÍTULO II		
1	Quantidade de lesões de ferrugem da folha do trigo e número de folhas amostradas.....	42
2	Parâmetros encontrados para o modelo logístico $y=a/1+exp(b-r^{tempo})$ em dois grupos de folhas da cultivar BRS Louro.....	44
CAPÍTULO III		
1	Estatísticas descritivas para o número de lesões.....	58
2	Parâmetros estimados para o modelo.....	60

LISTAS DE FIGURAS

Figura	CAPÍTULO I	Página
1	Representação esquemática dos efeitos de vento em dispersão dos esporos da ferrugem do cereal. Setas sólidas: efeitos positivos na dispersão; setas no sentido de colisão: efeitos negativos na dispersão [Adaptado de Sache (2000)].....	16
2	Representação esquemática dos efeitos da chuva em dispersão dos esporos da ferrugem no cereal. Setas sólidas: efeitos positivos da dispersão; setas com direção de colisão: efeitos negativos da dispersão [Adaptado de Sache (2000)].....	17
3	Representação esquemática do ciclo de vida da ferrugem da folha de trigo (<i>Puccinia triticina</i>), que mostra hospedeiros primários e secundários [Adaptado de Mark <i>et al.</i> (2003)].....	21
4	Ilustração de Uredínia de <i>Puccinia triticina</i> na folha de trigo. [Adaptado de Curtis, (2002)].....	24
5	Sintomas e tipos de infecção de <i>Puccinia triticina</i> em plântulas de trigo. Tipos de infecção de 0 a 2: avirulência (resistência). 3 e 4: virulência (suscetibilidade). Foto Dr. James Kolmer, USDA-ARS. Dept. Plant	

	Pathology. St. Paul, MN, USA.....	27
--	-----------------------------------	----

CAPÍTULO II

1	Ilustrações de sintomas de <i>Puccinia triticina</i> Erikss, cultivar de trigo BRS Louro. Foto tirada da área demonstrativa no momento das avaliações, 2006.....	37
2	Folhas da planta de trigo do cultivar BRS Louro em quatro avaliações, ano de 2006.....	38
3	Tela do software ImageP com uma folha de trigo BRS Louro, com marcação das lesões da ferrugem da folha (<i>Puccinia triticina</i> Erikss), em quadrantes.....	39
4	Dados diários de temperatura, umidade relativa e precipitações observados na estação meteorológica de Passo Fundo, RS (2006).....	41
5	Densidade média de lesões por cm ⁻² de ferrugem da folha observados nas folhas bandeira, intermediária e inferior da cultivar de trigo Louro em Almirante Tamandaré do Sul, RS, 2006.....	43
6	Relação do número de lesões de <i>Puccinia triticina</i> na distribuição na folha de trigo em 4 avaliações com intervalo de 5 dias, folha bandeira (FB) e folha bandeira -1 (FB-1). Os círculos representam a média de 50 observações e a linha contínua dos dados ajustados ao modelo logístico.....	45

CAPÍTULO III

1	Distribuição da posição das lesões de ferrugem da folha do trigo nas folhas bandeira (1) e abaixo da bandeira (2) na primeira e segunda amostragem, representada em um polígono retangular de dimensões (50x200 mm). O número de total de pontos (lesões) e a intensidade média são também apresentadas para cada amostragem.....	61
2	Distribuição da posição das lesões de ferrugem da folha do trigo nas folhas bandeira (1) e abaixo da bandeira (2) na terceira e quarta amostragem, representada em um polígono retangular de dimensões (50x200 mm). O número total de pontos (lesões) e a intensidade média são também apresentado para cada amostragem.....	62
3	Histograma representando a freqüência da distribuição do número de lesões de ferrugem da folha em folhas mediana de trigo. A linha contínua representa a freqüência estimada pelo modelo da distribuição de Poisson ajustado aos dados observados.....	63

- 4 Histograma representando a frequência da distribuição do número de lesões de ferrugem da folha em folhas mediana de trigo. A linha contínua representa a frequência estimada pelo modelo da distribuição de Binomial Negativa ajustada aos dados observados..... **64**
- 5 Histograma representando a frequência da distribuição do número de lesões de ferrugem da folha em folhas bandeira de trigo. A linha contínua representa a frequência estimada pelo modelo da distribuição de Poisson ajustado aos dados observados..... **65**
- 6 Histograma representando a frequência da distribuição do número de lesões de ferrugem da folha em folhas bandeira de trigo. A linha contínua representa a frequência estimada pelo modelo da distribuição de Binomial Negativa ajustada aos dados observados..... **66**
- 7 A linha pontilhada (theo) representa um modelo espacial, processo de Poisson, como padrão aleatório das ocorrências. Ajustada a distribuição empírica da posição das lesões de ferrugem da folha do trigo nas folhas bandeira (1) e abaixo da bandeira (2) na primeira e segunda amostragem. Os dados observados representados pela linha sólida (km) foram ajustados utilizando a função de

- distribuição empírica de distância entre vizinhos próximos..... **67**
- 8** A linha pontilhada (theo) representa um modelo espacial, processo de Poisson, como padrão aleatório das ocorrências. Ajustada a distribuição empírica da posição das lesões de ferrugem da folha do trigo nas folhas bandeira (1) e abaixo da bandeira (2) na terceira e quarta amostragem. Os dados observados representados pela linha sólida (km) foram ajustados utilizando a função de distribuição empírica de distância entre vizinhos próximos..... **68**
- 9** A- Densidade de lesões de ferrugem da folha do trigo na folha bandeira (1) e folha abaixo da bandeira (2) aleatoriamente selecionadas da amostragem realizada em 2 de outubro; B- Representação dos dados observados na folha bandeira (1) e a área estimada pelo modelo para o aparecimento das lesões; C- Representação dos dados observados na folha abaixo da bandeira (2) e a área estimada pelo modelo para o aparecimento das lesões. Os pontos escuros representam o exato local onde foi observada a lesão..... **69**

FERRUGEM DA FOLHA DE TRIGO: DENSIDADE E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE LESÕES

PAULO CÉSAR PIRES¹, JOSÉ MAURÍCIO CUNHA FERNANDES² e MARCIO NICOLAU³.

RESUMO - A ferrugem da folha de trigo é uma das doenças mais importantes na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L. em Thell) a nível mundial. O agente causal da ferrugem da folha do trigo é o fungo *Puccinia triticina* Erikss, da família *Pucciniaceae*. Os principais sintomas da doença são evidenciadas nas folhas, aparecendo normalmente na superfície superior da folha, mas com epidemias severas as infecções podem ocorrer na bainha. A uredínia marrom e geralmente na forma circular. No Brasil, sob condições ambientais favoráveis, os prejuízos ocasionados são significativos para a maioria das cultivares de trigo cultivados no país. A resistência genética associada ao uso de produtos químicos é a melhor estratégia de controle. Os objetivos deste trabalho foram: 1) determinar a distribuição da frequência do número de lesões de ferrugem da folha em folhas de trigo; 2) comparar o ajuste dos dados a modelos de distribuição de frequência; 3) examinar o padrão da distribuição espacial das lesões de ferrugem da folha em folhas individuais; 4)

¹Mestrando do Programa Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) FAMV/UPF, Área de concentração em Fitopatologia. paulo@wavetec.com.br.

²Orientador, Dr. Pesquisador da Embrapa Trigo. mauricio@cnpt.embrapa.br

³Colaborador, Estatístico da Embrapa Trigo, nicolau@cnpt.embrapa.br

modelar distribuição das lesões da ferrugem da folha na lâmina foliar do trigo. Justifica-se o presente trabalho considerando-se os danos elevados, a rápida perda da resistência genética dos cultivares de trigo e o uso de fungicidas para conservar as folhas saudáveis. Por isso, neste procurou-se conhecer o curso do aparecimento e da distribuição das lesões de ferrugem da folha, de modo a contribuir para o melhor entendimento do patossistema. Foi demarcada uma parcela de 225 metros quadrados em lavoura comercial de cinco hectares do trigo BRS loro para a coleta de amostras de folhas de trigo. A partir das primeiras lesões de ferrugem da folha foram realizadas quatro amostragens no colmo principal da planta de trigo. Para cada uma das amostras foi feita uma imagem digital. Um software, especialmente desenvolvido, foi usado para auxiliar na contagem e localização das lesões diretamente da imagem. A quantificação do número e localização de lesões foram feitas em cada uma das folhas amostradas. O conjunto de dados representando o progresso da epidemia foi ajustado a um modelo Logístico. Os resultados mostraram que os valores encontrados para a taxa relativa do aparecimento de lesões foi de 0,38 e 0,37 dia⁻¹ na folha bandeira e na folha imediatamente abaixo. O padrão de distribuição das lesões foi examinado de forma exploratória comparando a distribuição de frequência de lesões com as distribuições teóricas de Poisson e Binomial Negativa. A análise exploratória dos dados de processo pontuais também foi examinada comparando-se uma função empírica da distância entre os vizinhos com a distribuição teórica uniforme de Poisson. Os resultados indicam que as localizações das lesões de ferrugem da folha do trigo seguem um padrão aleatório no início da epidemia e passa a agregado à

medida que a epidemia avança no tempo. Finalmente, um modelo paramétrico foi ajustado aos dados para representar a área de densidade das lesões. A importância destes resultados é discutida nesta tese.

Palavras-chave: *Triticum*, *Puccinia*, modelo de epidemias, taxa de progresso.

WHEAT LEAF RUST: DENSITY AND LESION SPATIAL DISTRIBUTION

PAULO CÉSAR PIRES¹, JOSÉ MAURÍCIO CUNHA
FERNANDES² e MARCIO NICOLAU³.

ABSTRACT - Leaf rust of wheat (*Triticum aestivum* L. Thell) is the one of the most important diseases affecting this crop world-wide. The causal agent of wheat leaf rust is the fungus *Puccinia triticina* Erikss, which belongs to the *Pucciniaceae* family. The main disease symptoms, are normally shown in the upper leaf surface, but under severe epidemics they can be observed in the leaf sheaths. The uredium is brown in color and generally in the circular form. In Brazil,

¹Mestrando do Programa Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) FAMV/UPF, Área de concentração em Fitopatologia. paulo@wavetec.com.br.

²Orientador, Dr. Pesquisador da Embrapa Trigo. maurício@cnpt.embrapa.br

³Colaborador, Estatístico da Embrapa Trigo, nicolau@cnpt.embrapa.br

under favorable ambient conditions, the disease causes significant damage for the majority of cultivars under cultivation in the country. Genetic resistance and the use of chemicals are the most common control practices under way. The objectives of this work are: 1) to determine the frequency distribution of leaf rust lesions within wheat leaves; 2) to fit distribution models to the observed data; 3) to examine the standard point pattern for the lesion locations within a leaf; 4) to model the density area for leaf rust lesions in a single wheat leaf. The present work was justified considering economic importance of wheat leaf rust as result of frequent genetic resistance break down and the heavy dependence on fungicide use to disease control. Therefore, this study should contribute to add epidemiological knowledge by examining the increment on lesion density as well the distribution pattern for lesion location. A sampling area of 225 square meters, in commercial farming of five hectares of wheat BRS loro, was used for collecting wheat leaf samples. From leaf rust onset four samples were carried out in the field. A total of fifty main tiller were collected every time. The leaves were detached from the main tiller and a digital image was made for each sampled leaf. A software, especially developed, was used to assist counting and pointing the exact location of leaf rust lesions directly from the image. The quantification of the number of lesions was made in each one of the leaves. The data set representing the epidemic progress was adjusted to a Logistic model. The results showed that the values found for lesion rate density were of 0,38 and 0,37 day^{-1} in the flag leaf and the leaf immediately below, respectively. The results indicate that leaf rust lesions localization followed a random pattern at the beginning of the epidemic shifting to

an aggregate pattern as the epidemic advances in time. Finally, a parametric model representing the density area for rust lesions was adjusted to the data from randomly chosen leaves from the sample. The importance of these findings is discussed in this thesis.

Key words: *Triticum*, *Puccinia*, *disease models*, leaf rust rate.

CAPÍTULO I

FERRUGEM DA FOLHA DE TRIGO

1 INTRODUÇÃO

O gênero do fungo *Puccinia* contém mais de 4.000 espécies. *Puccinia triticina* Erikss., agente causal de ferrugem de folha de trigo, anteriormente referida como *Puccinia recondita* Roberge ex Desmaz. f. sp. tritici. Pouco é conhecido sobre a biologia molecular deste grupo, e as ferramentas para função do gene não têm, contudo sido estabelecidas. Sua disseminação ocorre em todo o mundo e, ao contrário das outras ferrugens desse cereal, ocorre todos os anos no Brasil, causando graves prejuízos, pois, normalmente, as condições climáticas das regiões produtoras favorecem o aparecimento e o rápido desenvolvimento da doença. No Brasil, há pouca informação disponível sobre a genética da resistência ao organismo causal da ferrugem da folha do trigo, embora seja satisfatório o nível de conhecimento sobre a virulência da população patogênica.

A Embrapa Trigo prepara anualmente, desde 1988, uma coleção de genótipos de trigo para avaliação e coleta de ferrugens, a qual é enviada aos colaboradores de instituições de pesquisa situadas em várias regiões do Brasil e de outros países da América do Sul, (CHAVES *et al.* 2006).

Segundo Chaves & Barcellos (2006), duas novas combinações de virulência foram identificadas, as quais

correspondem, respectivamente, aos códigos SPJ-RS e MFT-CT/MFT-HT, de acordo com o sistema norte-americano de nomenclatura. Após estas, outras raças novas foram descritas – seis, conforme a classificação brasileira. De acordo com o sistema norte-americano, a diferenciação é maior. O gene *Lr19* ainda continua efetivo para resistência a todas as raças no Brasil, assim como as combinações de genes (*Lr3+Lr9*), (*Lr9+Lr16*), (*Lr9+Lr3ka*), (*Lr9+Lr21*), (*Lr16 + Lr24*). A virulência *Lr 19* foi detectada na Argentina.

Nos Estados Unidos em 2000, foram identificados 54 fenótipos de virulência de *Puccinia triticina*. MBDS e MCDS virulentos ao gene de resistência *Lr17* entre outros, comuns nos Estados Unidos, foram identificados nas grandes Planícies e regiões do Vale Ohio. O fenótipo de virulência MCRK, virulento a *Lr26* e a outros em ordem de frequência, e foi identificado principalmente no Sudeste, Vale de Ohio, e regiões Nordeste. Na área do norte das grandes Planícies, fenótipos com virulência a *Lr16* aumentaram em frequência em 1998 e 1999 (LONG *et al.* 2000).

Em 2003, entre 52 fenótipos de virulência de *Puccinia triticina*, foi identificado, MBDS com virulência ao gene de resistência *Lr17* era o fenótipo mais comum nos Estados Unidos. MBDS ocorrerão no Sudeste, Grandes Planícies, no Vale de Ohio e na Califórnia. Fenótipo de virulência THBJ virulento ao genes *Lr16* e *Lr26* era o segundo mais freqüente, e foi detectado na grande região de Planícies Central Sulista e do Norte. Fenótipo MCDS, virulento aos genes *Lr17* e *Lr26* era o terceiro em importância de ocorrência, nas

mesmas regiões referidas para MBDS. O uso de cultivares de trigo, com genes de resistência infectadas, selecionou fenótipos com virulência aos genes *Lr9*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr24*, e *Lr26*. A população de *P. triticina* nos Estados Unidos é altamente diversa para fenótipos de virulência, que continuarão apresentando um desafio para o desenvolvimento de cultivares de trigo com resistência durável efetiva (KOLMER *et al.* 2006).

As doenças do trigo, causadas principalmente pelos fungos, participam destacando como responsáveis na diminuição da produção em quase todos os ambientes favoráveis para cultivo de trigo. O sucesso há longo prazo de produzir resistência à doença é influenciado pelos seguintes fatores: a virulência do patógeno e da diversidade da virulência na população; disponibilidade, diversidade e tipo de resistência genética; e metodologia e ambiente da seleção para à resistência (RAJARAM & SINGH, 1996).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Etiologia da ferrugem da folha de trigo

A ferrugem do trigo pertence a gênero *Puccinia*, família *Pucciniaceae*, ordem *Uredinales* da classe *Basidiomycetos*. O fungo causador da ferrugem é um patógeno de planta altamente especializado, com gamas de hospedeiros de folhas estreitas. Nos primeiros registros, a ferrugem da folha de trigo não é distinta da ferrugem do colmo do trigo, denominada *Puccinia graminis*. Porém,

segundo Candolle (1815) a ferrugem da folha de trigo era causada por um fungo distinto chamado *Uredo rubigovera*. O patógeno sofreu várias mudanças no nome até que Cummins *et al.* (1956) sugeriu que o nome poderia ser *Puccinia recôndita*, que foi a nomenclatura geralmente usada, principalmente por Mains e Jacson (1926), por muitos anos, em partes da Ásia e Europa Ocidental. De acordo com estudos morfológicos por Savile (1984), morfológicos e genéticos por Anikster *et al.* (1997), *Puccinia reconcita* não é a ferrugem da folha de trigo e sim *Puccinia triticina*.

Momentaneamente, os nomes científicos oficiais aplicados aos fungos devem estar de acordo com as regras da nomenclatura botânica. Estas especificam que quando uma espécie nova é nomeada, um tipo de espécime está designado, e com poucas exceções, o nome novo da espécie é associado para sempre com esse tipo de espécime. Esta regra dá prioridade e significa que o mesmo nome não pode ser dado legitimamente a uma espécie de fungo diferente em algum tempo atrás. O tipo de espécime para *Puccinia reconcita* que causa a ferrugem da folha do centeio. Mesmo que o nome *Puccinia reconcita*, tenha sido aplicado mais tarde à ferrugem da folha do trigo, a ferrugem da folha do centeio tem a prioridade. Primeiramente, *P. triticina* e *P. reconcita* produzem seus estágios axial em plantas de diferentes hospedeiros. A alternância de hospedeiros para *P. triticina*, incluem os gêneros *Thalictrum*, *Isopyrum* e *Clematis*, da família Ranunculaceae. A alternância dos hospedeiros para *P. reconcita* inclui os gêneros *Anchusa*, *Echium* e *Lycopsis*, da família Boraginaceae. As tentativas extensivas de fertilidade do picnia da *P. triticina* com picniosporos de *P. recôndita*, e vice versa, falharam completamente,

indicando que *P. triticina* e *P. recondita* não podem ser hibridizados, mesmo sob condições ideais no laboratório. Em segundo, os teliósporos de *P. triticina* são significativamente menores do que os de *P. recondita*. Por exemplo, nas comparações que envolveram 34 coleções de *P. triticina* de dez países e 32 coleções de *P. recondita* de quatro países, a largura média dos teliósporos de cada coleção de *P. triticina* foi menos do que a largura média e a menor encontrada para algumas das coleções de *P. recondita*. A área transversal seccional média para teliósporos de *P. recondita* foi 37% maior do que a área transversal seccional média para teliósporos de *P. triticina*. Em terceiro lugar, o genoma de *P. triticina* tem menos DNA do que o genoma de *P. recondita*. Uma complicação técnica. Nem toda a ferrugem da folha no trigo é necessariamente *P. triticina* (ANIKSTER *et. al* 1997).

O estudo extenso de Anikster *et al.* (1997) de caráter morfológico, e gamas de hospedeiros alternados e intermediários de culturas, dentro e entre várias populações mostrou que *P. triticina* e *P. recondita* são organismos diferentes. *Puccinia recondita*, *Puccinia* f. sp. *secalis* e *P. triticiduri* são mais semelhantes e compartilham alguma habilidade para atacar as mesmas espécies de hospedeiros alternados.

“Um estudo foi executado na Universidade de Wageningen, nos Países Baixos, em cultivar suscetível ‘Thatcher’ e o cultivar parcialmente resistente ‘Akabozu’. O isolado de *P. triticina* usado foi ‘Flamingo’, com a finalidade estudar se o crescimento do fungo da ferrugem da folha está orientado para o lado adaxial ou para o lado abaxial da folha de trigo. Em todos os tratamentos, comparados

as diferenças para cada cultivar no período da latência foram muito pequenos os lados da folha adaxial e abaxial. Entretanto, a frequência da infecção no lado adaxial foi, na média, maior do que na abaxial. Em ambos os cultivares, o período e latência foi mais curto, e a frequência da infecção mais longa no lado abaxial, irrespectivamente se aquele era também o lado inoculado. Quando as folhas foram deixadas para recuperar sua posição semi-vertical (no tratamento onde as folhas não eram fixas) o período da latência tendeu a ser mais longo e a frequência da infecção mais curta no lado adaxial. Com respeito ao lado inoculado, quase nenhuma diferença foi encontrada em Thatcher. Entretanto, em Akabozu, o período de latência foi significativamente mais longo no lado inoculado (NIKS *et al.* 1986).

2.2 Distribuição

A ferrugem da folha ocorre no mundo inteiro onde o trigo é cultivado. É importante onde orvalhos são frequentes e as temperaturas amenas, 15-25°C. Causada por *Puccinia triticina* é uma das principais doenças que afetam a cultura do trigo (*Triticum aestivum*). No Chile, a importância da doença tem aumentado, especialmente em cultivares de trigo de inverno (Madariaga & Mellado, 2003). Na maior parte da região Cone Sul da América do Sul, o patógeno está presente durante todos os meses do ano, o que favorece o surgimento precoce da doença, o desenvolvimento de epidemias, e a seleção e fixação de novas raças, sendo frequente a superação da resistência em cultivares comerciais. As perdas em rendimento dependem do estágio da planta em que a doença ocorre e,

principalmente, da severidade, a qual é função da suscetibilidade da cultivar, da virulência da raça fisiológica e das condições de ambiente (ROELFS *et al.* 1992).

Na América do Sul, existem duas unidades epidemiológicas, separadas pela Cordilheira dos Andes. A unidade Leste compreende a Argentina, o Brasil, o Paraguai, o Uruguai e as planícies da Bolívia. A unidade Oeste compreende o Chile. Nas regiões tritícolas desses países têm ocorrido todos os anos epidemias de ferrugem da folha, as quais frequentemente são severas e ocasionam perdas no rendimento de grãos de até 50% em cultivares suscetíveis, se não for efetuado controle com fungicidas (Reis *et al.* 1996; Annone & Nisi, 2003; Chaves & Barcellos, 2003; Viedma, 2003; German, 2003). No Chile, nos últimos ciclos de cultivo foram verificadas significativas perdas em rendimento (MADARIAGA & MELLADO, 2003).

Os países do Cone Sul da América do Sul compartilham de algumas características que predisõem a pouca durabilidade da resistência genética e ao aumento da necessidade de controle químico: as condições de ambiente são extremamente favoráveis, há a presença de plantas de trigo voluntárias nas entressafras, áreas extensas são cultivadas com os mesmos genótipos suscetíveis, as raças predominantes têm grande semelhança genética e as épocas de cultivo são subseqüentes, formando uma "ponte verde". Como resultado, durante todo o ano há uma grande quantidade de inóculo disponível, o que induz à seleção e fixação de isolados com novas combinações de virulência (Barcellos & Chaves, 2003a). Além disso, o agente causal

da ferrugem da folha do trigo apresenta uma grande habilidade em superar genes de resistência específicos, estejam eles isolados ou em combinações de dois ou poucos genes, havendo atualmente virulência para a maioria dos genes *Lr* mundialmente conhecidos (SINGH *et al.* 2002).

2.3 Interação Patógeno-Hospedeiro

As interações entre o patógeno e o hospedeiro podem ser classificadas em pelo menos duas categorias: específicas e não específicas. As interações específicas são aquelas nas quais um só isolado do patógeno interage com um só genótipo do hospedeiro para produzir uma resposta à enfermidade diferente da que provoca outro isolado com o mesmo hospedeiro, no mesmo ambiente. A interação não específica se produz quando todos os isolados provocam uma resposta similar em determinado genótipo do hospedeiro. Considera-se que a resistência não específica é a mais adequada para um programa de melhoramento vegetal; contudo, para identificar a ocorrência da não especificidade, seria necessário avaliar cada raça da população do patógeno, o que, evidentemente, é impossível (ROELFS *et al.*, 1992).

2.3.1 Fonte de inóculo

A fonte de inóculo é geralmente de uredínias nas plantas voluntárias. O transporte regional dos uredósporos pelo vento pode introduzir uma raça virulenta nova em uma área. Aeciósporos de

hospedeiro alternado resulta raramente em uma epidemia, mas não ocorrem na região Cone Sul da América do Sul. Há germinação de uredósporos quando em contato com água livre em uma temperatura de 15-20⁰C, ocorrendo a penetração através dos estômatos. O período latente varia de 8-14 dias, no campo, com temperaturas de 10-25⁰C (Kolmer, 2006). A esporulação máxima é alcançada nos primeiros quatro dias a uma temperatura de 20⁰C aproximadamente. São produzidos aproximadamente 3000 uredínias por dia, embora o número de esporulações possa variar. Este nível de produção pode continuar durante três semanas ou mais se a folha de trigo permanece viva (CHESTER, 1946; STUBBS *et al.* 1986).

2.3.2 Disseminação

A ferrugem da folha é disseminada pelo vento e sobrevive em plantas hospedeiras no intervalo entre cultivos de trigo. A germinação dos esporos ocorre com períodos de 8 horas de molhamento por orvalho, chuva ou irrigação na superfície das folhas. Em torno de 7 a 10 dias depois da penetração do tubo germinativo ocorre a esporulação da ferrugem, que é o sinal mais conhecido, por não especialistas, nas condições de campo. Os fatores mais importantes que determinam o progresso mais rápido ou mais lento de epidemias de ferrugem da folha incluem o ambiente, a frequência de raças virulentas, o momento de aplicação e o modo de ação dos fungicidas, assim como o nível de resistência genética de cada cultivar (Sache, 2000).

A dispersão no local dos urediniósporos é influenciada por latitude e os padrões de vento respectivos. Em geral, os esporos movem-se de oeste a leste devido aos ventos que são o resultado da rotação da terra. Em latitudes progressivamente mais altas, os ventos tendem a levar esporos mais do Sul para o Hemisfério do Norte. Segundo estudos de Roelfs (1985a) nos Estados Unidos os movimentos de urediniósporos tendem a ser do sudoeste a nordeste, 30° norte. No Hemisfério Sul, a maioria das áreas de trigo e massas de ar da terra e o movimento é mais ocidental a leste (LUIG, 1985).

Em dias quentes o ar tende a subir de dentro do dossel, e quando a umidade é alta, menos esporos deixam a urédia. Ventos calmos secam o dossel, agitam as folhas liberando os urediniósporos da urédia. Altas velocidades de ventos podem resultar na liberação de mais esporos, mas areja rapidamente e dilui a concentração sobre o dossel e pode ser mais importante gerando transporte e escape do local. A chuva precipita urediniósporos do ar, enquanto deposita nas plantas água livre. Porém, a chuva também pode lavar esporos das superfícies da planta, e a umidade alta restringe movimento do esporo. Outro fator importante é a mudança da temperatura devido à chuva influenciando o progresso da doença (SACHE 2000).

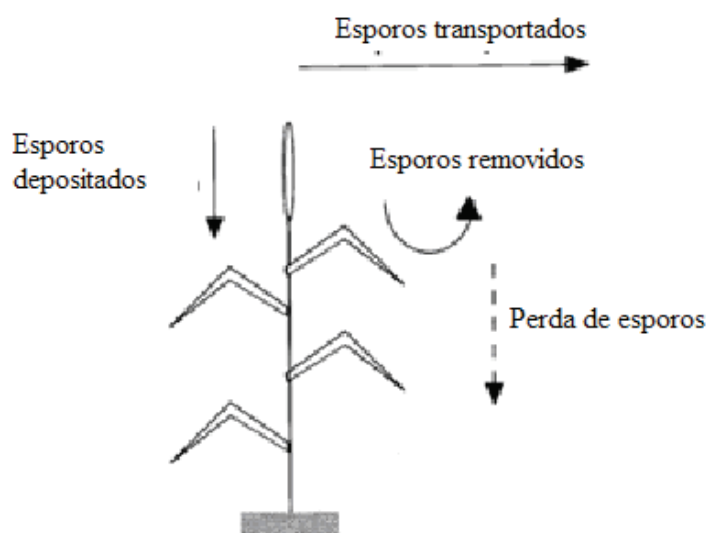


Figura 1 - Representação esquemática dos efeitos de vento em dispersão dos esporos da ferrugem do cereal. Setas sólidas: efeitos positivos na dispersão; setas no sentido de colisão: efeitos negativos na dispersão [Adaptado de Sache (2000)].

Resultados de laboratório e experiências de campo indicam claramente que vento (Figura 1) não é um fator limitante para dispersão do esporo da ferrugem em uma escala curta. Até mesmo a baixa velocidade, vento é capaz de remover esporos de folhas, e a eficiência da remoção é aumentada drasticamente através de turbulência local. Então, a dispersão do vento dependerá mais da quantidade de esporos disponíveis do que as características do vento (SACHE, 2000).

As infecções primárias na folha de trigo desenvolvem-se a partir de vento carregado de urediósporos vindo de grandes

distâncias. A doença desenvolve-se rapidamente quando há umidade livre e temperaturas de 20°C. As próximas gerações sucessivas de uredísporos podem ser produzidas a cada período de 10 a 14 dias, se as condições forem favoráveis. Quando as plantas amadurecem ou as circunstâncias ambientais não são favoráveis, as massas de teliósporos pretos podem tornar-se evidentes (MARASAS, *et al.* 2002).

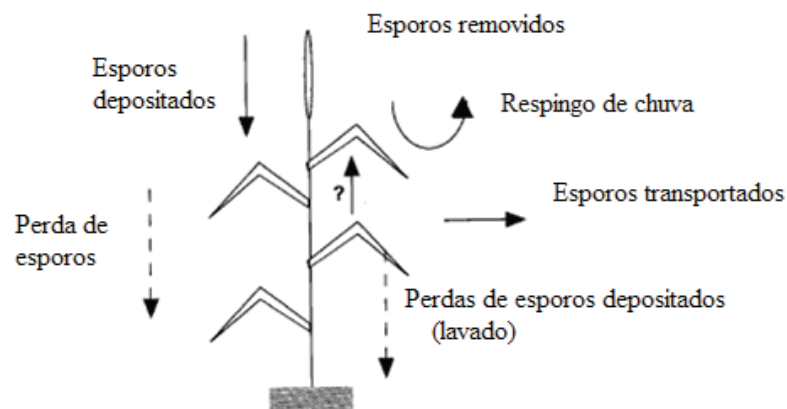


Figura 2 - Representação esquemática dos efeitos da chuva na dispersão dos esporos da ferrugem do cereal. Setas sólidas: efeitos positivos da dispersão; setas com direção de colisão: efeitos negativos da dispersão [Adaptado de SACHE (2000)].

A chuva (Figura 2) é considerada frequentemente um fator condutor para a expansão da doença porque o evento da chuva é seguido por um período estendido de umidade da folha, que é crítico para infecção da ferrugem (processo de penetração e germinação)

Niks *et al.* (1986). Porém, além da influência direta da chuva na expansão da epidemia, há a remoção dos esporos da ferrugem do cereal através de gotas da chuva. A avaliação do efeito global de eventos da chuva na dispersão da doença é muito mais complexo do que no caso do vento. Usando resultados de laboratório e de experimentos em campo, é possível testar eventos típicos da chuva e o provável efeito na dispersão da doença. Os temporais removem a maioria dos esporos disponíveis, num curto período de tempo, e os deposita rapidamente nas folhas, mas também provocam o esvaziamentos das lesões, ocorrendo a retirada de esporos e prejudicando esporulações adicionais. Os esporos depositados são lavados. A chuva é menos eficaz para a remoção do esporo inicial, e pode ser muito mais eficaz na expansão da doença. A chuva, se é intensa é provavelmente mais eficiente, especialmente se associada com vento em alta velocidade. Quando há uma brisa, aumenta a distância de dispersão de esporos removendo durante os eventos da chuva, pode influenciar a expansão da infecção em escalas maiores. A importância relativa do vento e da chuva como agentes de dispersão é difícil avaliar desde que ambos os agentes operam em escalas temporais e de espaços diferentes (SACHE, 2000).

A ferrugem da folha, disseminada pelo vento, sobrevive em plantas hospedeiras no intervalo entre cultivos de trigo. A disseminação ocorre pelo vento e a germinação dos esporos com períodos de 8 horas de molhamento na superfície das folhas. Em torno de 7 a 10 dias depois da penetração do tubo germinativo ocorre a esporulação da ferrugem, sintoma mais conhecido na lavoura. (SACHE, 2000).

A expansão no local da plantas o uredósporos é influenciada pela direção e os padrões de vento respectivos. Em geral, os esporos se movem de oeste a leste, devido aos ventos, resultado da rotação da terra. Em latitudes progressivamente mais altas, os ventos tendem a levar esporos do Sul para o Hemisfério Norte. Segundo Roelfs (1985a), nos Estados Unidos o movimento de esporos tende a ser do sudoeste a nordeste, 30° norte. No Hemisfério Sul, a maioria das áreas de trigo e das massas de ar da terra, em geral, 30° norte, o movimento é mais ocidental a leste (LUIG, 1985).

Dias quentes causam movimento do ar para cima de dentro do dossel. Quando a umidade for alta, menos esporos deixam a urédia. Baixas velocidades de vento secam o dossel, agitam as folhas e liberam os esporos da urédia. Velocidade de vento alta pode resultar na liberação de mais esporos, mas dilui a concentração sobre o dossel, podendo ser mais importante gerando transporte e expansão local. As chuvas favorecem a infecção transformando os esporos do ar, e depositando-os nas plantas, assim com o aumento da umidade. Porém, a chuva também pode lavar esporos das superfícies da planta, e umidade alta restringe o movimento do esporo. A mudança em temperatura devido à chuva influencia no progresso da doença.

No ano de 2005, as condições climáticas prevalecentes no início do desenvolvimento da cultura do trigo no sul do Brasil foram extremamente favoráveis à propagação do inóculo inicial de ferrugem da folha, principalmente de raças virulentas a cultivares suscetíveis (S) e altamente suscetíveis (AS), que servem como fonte de inóculo para as demais. Além disso, em anos muito favoráveis para a ferrugem da

folha, o controle químico da doença, principalmente em cultivares S e AS, é mais difícil, pois a pressão do inóculo é muito alta e o progresso da doença é muito rápido.

Em 2006 os produtores procuraram cultivares de trigo menos suscetível (T) para a semeadura. Em cultivares suscetíveis (S) e altamente suscetíveis (AS) à ferrugem da folha, com duas aplicações de fungicidas não proporcionaram, em geral controle adequado à doença, afetando na produção final.

2.3.3 Penetração

A vesícula substomatal de *P. triticina* desenvolve uma hifa preliminar da infecção que cresce mais profundo no mesófilo. Entretanto, em outra ferrugem, como a ferrugem da folha de cevada (*P. hordei*) ou a ferrugem da folha do centeio (*P. recondita*) a vesícula substomatal desenvolve duas hifas preliminares da infecção que se espalham horizontal e paralelamente à epiderme (NIKS, 1986).

No período das primeiras 24 horas após a inoculação, o micélio de *P. triticina* cresce verticalmente nas camadas do mesófilo da folha (Niks, 1986). Os dados atuais indicam que o micélio da ferrugem da folha não necessita cruzar o tecido da folha para a epiderme superior ou inferior. Se as folhas estão inoculadas no lado adaxial ou abaxial, o micélio crescerá preferivelmente e mais rapidamente para a epiderme inferior, formando uma uredínia. Mais estudos são necessários determinar o crescimento de *P. triticina* é

devido ao fototropismo negativo ou ao geotropismo positivo (RUBIALES *et al.* 1995).

2.4 Ciclo de vida da ferrugem da folha de trigo

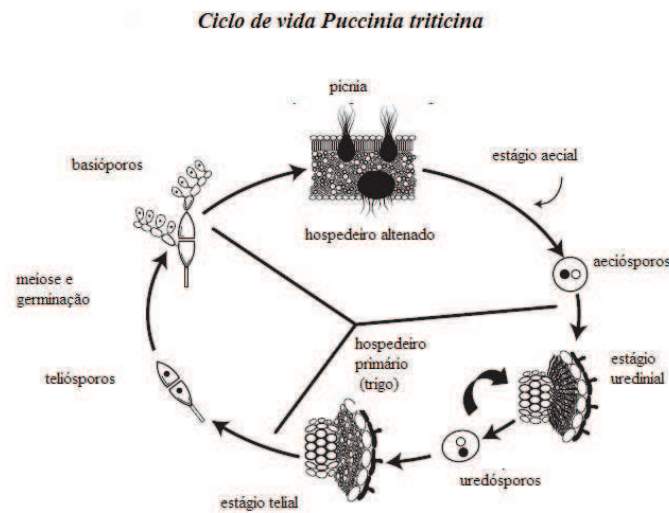


Figura 3 - Representação esquemática do ciclo de vida da ferrugem da folha de trigo (*Puccinia triticina*), que mostra hospedeiros primários e secundários [Adaptado de Mark *et al.* (2003)].

Os ciclos de vida dos fungos causadores das ferrugens são complexos, específicos, os fungos podem requerer duas a até cinco plantas hospedeiras diferentes para fases de esporo. A ferrugem exige duas plantas hospedeiras geralmente para completar o ciclo de vida. Têm o que é conhecido como hospedeiro primário (trigo) e um

hospedeiro secundário (erva daninha ou planta nativa). Embora ambos os hospedeiros sejam necessários para completar o ciclo de vida cheio, epidemias de ferrugem em trigo podem desenvolver-se rapidamente como esporos (uredósporos) produzidos em trigo, havendo auto-infecção (esporos infectam as mesmas plantas nas quais eles foram produzidos). Esta fase de esporo do ciclo de vida é conhecida como a fase repetida e é responsável pelo desenvolvimento rápido de erupções da doença (MARK *et al.* 2003).

O tubo germinativo cresce ao longo da superfície da folha até alcançar o estômato; um apressório é formado então, que se fixa na superfície da folha no ponto de contato, ocorrendo a dissolução do tecido e formando um pequeno orifício. Células de mãe de haustório desenvolvem-se contra as células do mesófilo, e a penetração direta acontece. O haustório é formado dentro da célula do hospedeiro vivo, compatível em interação patógeno-hospedeiro. Em uma resposta patógeno-hospedeiro, incompatível o haustório não se desenvolve ou se desenvolve a uma taxa mais lenta. Quando células do hospedeiro morrem, o fungo dependendo e quando ou quantas células são envolvidas, a interação patógeno-hospedeiro resultará em uma resposta de resistência visível (ROWELL, 1982).

A germinação do esporo para esporulação pode acontecer em um período de sete a dez dias em temperaturas ótimas e constantes. São necessários períodos mais longos, com baixas temperaturas (10° para 15°C) ou flutuações diurnas. O fungo pode sobreviver como micélio insípido durante um mês ou mais quando as temperaturas estão baixas. A esporulação alcançada é máxima quando

nos primeiros quatro dias a uma temperatura 20°C aproximadamente. São produzidos aproximadamente 3000 uredínias por dia, embora o número de esporulações possa variar. Este nível de produção pode continuar durante três semanas ou mais se a folha de trigo permanece viva (CHESTER, 1946; STUBBS *et al.* 1986).

A germinação de uredósporos das ferrugens de trigo, é iniciada de uma a três horas de contato com umidade livre da folha em uma gama de temperaturas que dependem do tipo da ferrugem. Podem ser produzidos uredósporos numerosos se dissemina pelo vento a longas distâncias (Hirst & Hurst, 1967). Porém, a maioria do uredósporos é depositado perto da fonte devido à gravidade.

Uredósporos são relativamente duradouros e podem sobreviver no campo longe de plantas hospedeiras por períodos de várias semanas (ROELFS & MARTELL, 1984).

A uredínia aparece normalmente na superfície superior da folha, mas com epidemias severas as infecções podem ocorrer na bainha. Uredínia é marrom na cor e geralmente circular na forma. Uredínia penetra raramente através da folha.



Figura 4 – Ilustração de uredínia de *Puccinia triticina* na folha de trigo. [Adaptado de Curtis, (2002)].

Uredínia (lesões) é vermelho oval e se espalha, penetrando a epiderme. A maioria das epidemias severas acontece na América do Norte, quando a uredínia (infecções ocultas) sobrevivem o inverno em alguma fonte de disseminação a partir da colheita de trigo. Epidemias severas e perdas podem acontecer quando a folha bandeira for infectada antes da antese (Chester, 1946). Porém, o período oculto (uredínia) é aproximadamente três a quatro dias mais longo, e a produção de teliósporo começa logo após a produção inicial de urediniósporos.

A colônia da ferrugem cresce no tecido do mesófilo da folha e desenvolve uredínia (pústula) ao romper a epiderme da folha e liberar uredósporos. As inoculações realizadas e os registros do número ou no tamanho das pústulas aparecem geralmente no lado adaxial da folha (Parlevliet, 1975; Jacobs & Broers, 1989). Às vezes, especialmente no estágio de planta nova, a urédia aparece mais cedo no lado abaxial, do que no lado adaxial visto que em outras ocasiões ocorre o oposto (NIKS, 1986).

2.5 Ambiente da seleção

A probabilidade de identificar genitores e progênies resistentes é aumentada pela disponibilidade de uma metodologia de confiança da seleção e de um ambiente favorável para o desenvolvimento da doença. Dependendo do tipo de resistência, são requeridos testes simples na casa-de-vegetação em plântulas ou em plantas adultas, testes de campo, ou mesmo o uso de proteína ligada à resistência e marcadores de DNA. Os protocolos para selecionar para a resistência estão em geral pouco estabelecidos e podem ser empregados em produzir para a resistência. Para verificar a resistência e susceptibilidade é importante considerar o nível de pressão da doença e o grau de resistência. A escolha de locais do campo com circunstâncias ambientais de confiança é crucial para o progresso da seleção.

2.6 Resistência à ferrugem

Com a descoberta da base genética da resistência por Biffen (1905), e a especialização fisiológica do fungo causador de ferrugem pela interação e de gene-para-gene por Flor (1956), a utilização do tipo (raça-específica) hipersensível da resistência dominou na melhoria do trigo. Este tipo de resistência pareceu ser muito atrativa por ser simples de incorporar no germoplasma a ser melhorado. Devido ao fenômeno do desgaste de tais genes e de suas combinações, cientistas buscaram alternativas à referida resistência.

2.7 Virulência

Virulência, ou a habilidade de um patógeno para superar o efeito de um gene específico para resistência existe para quase todos os genes *Lr* maiores em base mundial. Porque virulência existe isoladamente para a maioria dos genes de resistência e para várias combinações de dois ou mais genes, é essencial saber que combinação e virulência existente na população do patógeno antes de combinar resistências em um cultivar do hospedeiro. Isto requer um levantamento sistemático do patógeno a partir de amostras de plantas infectadas de diferentes cultivares e áreas geográficas e ecológicas, ao longo da estação. Na maioria das áreas, o fungo pode sobreviver o ano inteiro no ciclo assexual. Recombinação da virulência genética pode acontecer várias vezes em uma única estação de cultivo de trigo (EZZAHIRI *et al.* 1992).

2.8 Sintomatologia

Os sinais da ferrugem da folha (Tabela 1, Figura 4) são caracterizados pela presença de pústulas de formato ovalado, de coloração avermelhada disseminadas predominantemente na região adaxial do limbo foliar (ROELFS *et al.* 1985).

Tabela 1 - Reação, tipos de infecções e sintomas de *Puccinia triticina* na primeira folha de plântulas de trigo (Roelfs *et al.* 1985). Embrapa Trigo, Passo Fundo 2006

Reação	Tipo de infecção	Sintomas
	0	Nenhuma lesão ou outro sinal macroscópico de infecção.
R	;	Sem lesões, com pequenos pontos cloróticos ou necróticos.
	1	Lesões diminutas, circundadas por clorose/necrose.
	2	Lesões pequenas a médias, freqüentes circundadas por clorose ou necrose.
	3	Lesões médias, que podem estar associadas com clorose.
S	4	Lesões grandes, sem clorose.

R= Resistência; S= Suscetibilidade.

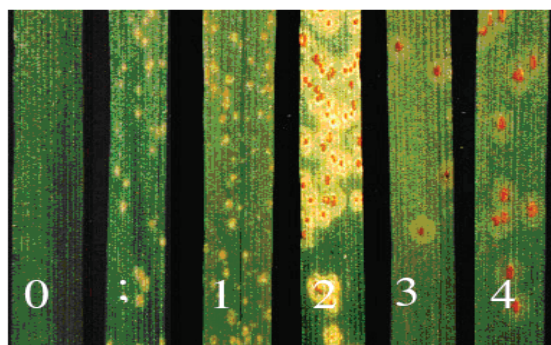


Figura 5 - Sintomas e tipos de infecção de *Puccinia triticina* em plântulas de trigo. Tipos de infecção de 0 a 2: avirulência (resistência). 3 e 4: virulência (suscetibilidade). Foto Dr. James Kolmer, USDA-ARS. Dept. Plant Pathology. St. Paul, MN, USA.

2.9 Epidemiologia

A ferrugem da folha de trigo (*Puccinia triticina*) pode sobreviver às mesmas condições ambientais que a folha de trigo. O fungo pode infectar com períodos de orvalho de três horas ou menos com temperaturas de 20°C; porém, há mais infecção com períodos de orvalho mais longos. A temperaturas mais baixas são requerido períodos de orvalho mais longos, por exemplos, em temperatura de 10°C é necessário um período de orvalho de 12 horas. Pouca infecção acontece com orvalho em temperatura acima de 32°C ou em temperatura abaixo de 2°C (STUBBS *et al.* 1986).

Há várias áreas no mundo em que a ferrugem da folha pode causar perdas severas, em trigo que resiste às baixas temperaturas se a umidade relativa for aproximadamente de 20 a 30% (SAARI & PRESCOTT, 1985).

2.10 Dano

Neste texto o termo “dano” usado com significado de qualquer redução na quantidade e/ou qualidade da produção (Zadoks, 1985). “Perda” é definida como a redução em retorno financeiro por unidade de área devido às ações dos organismos nocivos. O dano acarreta perda, mas não necessariamente, já que mecanismos de preço podem interferir (BERGAMIM FILHO & AMORIM, 1996).

Os seguintes dados sobre as perdas causadas pela ferrugem da folha foram obtidos em Passo Fundo, RS, em parcelas experimentais de trigo: - 1982, as cultivares comerciais CNT 10 e IAS

54 produziram menos de 200 kg/ha, e os prejuízos foram causados, principalmente, por ferrugem da folha, segundo Picinini & Prestes (1984). O CNT 9 foi prejudicado em 37, em 40 e em 43%, respectivamente, de 1983 a 1985, devido às infecções de *Puccinia recondita* (PICININI *et al.* 1995).

Segundo Picinini & Fernandes (2003), o trigo no Brasil é atacado por grande número de doenças e as condições climáticas, onde predominam temperaturas altas e precipitações pluviais frequentes, favorecem o desenvolvimento de inúmeras doenças, principalmente aquelas causadas por fungos. Essas podem ser responsáveis por perdas elevadas no rendimento e na qualidade dos grãos de trigo. O volume de perdas é variável de ano para ano, dependendo das condições climáticas. Trabalhos recentes, no entanto, demonstraram que em 12 anos de experimentação houve uma perda média de 44,61 %, equivalente a 1.152 kg (19,2 sacas de 60 kg) de trigo por hectare, atribuída às doenças fúngicas. E nas safras de 1994 e 1995 na cultivares suscetíveis como o BR 34, houve perdas de até 80% em rendimento e de até 10 pontos percentuais no peso de mil sementes (PICININI *et al.* 1995).

2.11 Controle

Entre as medidas de controle o uso de cultivares resistentes é a preferencial. Outras, como eliminação de plantas voluntárias e de hospedeiros secundários, auxiliam na redução do patógeno. Além destas práticas, há o controle químico, com produtos triazóis e a mistura de triazóis mais estrobirulinas que apresentam maior eficiência. O momento

a ser iniciado o controle a um dos seguintes critérios: baseado na severidade e no limiar de dano econômico (LDE) (EMBRAPA, 2005).

CAPÍTULO II

TAXA DA DENSIDADE DE LESÕES DA FERRUGEM DA FOLHA

PAULO CÉSAR PIRES¹ & JOSE MAURÍCIO CUNHA FERNANDES²

RESUMO - O objetivo do presente trabalho foi o de determinar, em condições de infecção natural, a taxa de formação de lesões da ferrugem da folha de trigo (*Puccinia triticina*). Foi demarcada uma parcela de 225 metros quadrados em lavoura comercial de cinco hectares do trigo BRS Louro, para a coleta de amostras de folhas de trigo. A partir das primeiras lesões de ferrugem da folha foram realizados quatro amostragens no colmo principal da planta de trigo. Para cada uma das amostras foi feita uma imagem digital. Um software, especialmente desenvolvido, foi usado para auxiliar na contagem das lesões diretamente da imagem. A quantificação do número de lesões foi feito em cada uma das folhas amostradas. O conjunto de dados representando o progresso da epidemia foi ajustado a um modelo Logístico. Os valores encontrados para a taxa de aparecimento de lesões foi de 0,39 na folha bandeira e 0,37 na folha abaixo da bandeira dia⁻¹.

¹Mestrando do Programa Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) FAMV/UPF, Área de concentração em Fitopatologia. paulo@wavetec.com.br.

²Orientador, Dr. Pesquisador da Embrapa Trigo. maurício@cnpt.embrapa.br

Palavras-chave: *Puccinia triticina*, *Triticum*, modelo logístico.

WHEAT LEAF RUST LESION DENSITY RATE.

ABSTRACT - The objective of the present work was to determine, under natural conditions, wheat leaf rust (*Puccinia triticina*) lesion rate formation.. A sampling area of 225 square meters, in commercial farming of five hectares of wheat BRS Louro, was used for collecting wheat leaf samples. From leaf rust onset four samples were carried out in the field. A total of fifty main tiller were collected every time. The leaves were detached from the and for each one of the samples a digital image was made. A software, especially developed, was used to assist counting leaf rust lesions directly from he image. The quantification of the number of lesions was made in each one of the leaves. The data set representing the epidemic progress was adjusted to a Logistic model. The values for lesion density rate were of 0,38 in the leaf flag and 0,37 and the leaf immediately below.

Key Words: *Puccinia triticina*, *Triticum*, logistic model.

¹Mestrando do Programa Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) FAMV/UPF, Área de concentração em Fitopatologia. paulo@wavetec.com.br.

²Orientador, Dr. Pesquisador da Embrapa Trigo. maurício@cnpt.embrapa.br

1 INTRODUÇÃO

A ferrugem da folha de trigo (*Puccinia triticina* Erikss) é uma doença muito importante para a cultura do trigo no Brasil. Em anos onde ocorrem epidemias severas as perdas em cultivares com alta suscetibilidade podem chegar até 50% (Barcellos & Ignaczak 1978). Picinini *et al.* (1995), quantificaram perdas de 80% no rendimento de grãos no cultivar BR 34. Reis *et al.* (2000) obtiveram coeficientes de dano para o cultivar Embrapa 16 variando de 10,5 a 18,7 kg/ha⁻¹ para cada 1,0% de incidência foliar. Reis *et. al* (2006) estimaram danos causados pela ferrugem da folha na Embrapa 16 ao redor de 40%.

Epidemias de ferrugem da folha podem avançar grandes distâncias durante período de tempo muito curto, uma vez que os esporos do agente causal são facilmente levados pelo vento (Sache, 2000). A expansão epidêmica da ferrugem da folha de trigo durante o período de cultivo do trigo no Brasil é devida à disseminação dos urediniósporos pelas correntes de ventos que predominam no sentido Norte a Sul (SACHE, 1997). Os urediniósporos são produzidos de forma assexual durante ciclos de infecção sucessivos que acontecem no hospedeiro. Condições ambientais favoráveis ao fungo durante o ano resultam em quantidades enormes de esporos prontos para serem removidos da planta hospedeira e transportados desde a poucos centímetros até milhares de quilômetros (ROELFS *et al.* 1985).

Segundo Aylor (1990) e Hirst *et al.* (1967), a liberação (significando remoção), transporte e deposição reconhecido amplamente como o três sub-processos que envolvem a dispersão de

esporos. Esta distinção é bastante artificial, especialmente nas escalas menores, mas provê uma boa estrutura para estudos analíticos dos mecanismos que envolvem a dispersão de esporos.

Em uma escala muito maior (continente), foram definidos padrões de vento para explicar o “denominado caminho da *Puccinia*” observados todos os anos, as epidemias na América do Norte - Roelfs *et al.* (1985), na Índia - Nagarajan *et al.* (1988) e na China - Ling, (1945). Estes resultados de observações da dispersão dos esporos dos fungos que causam ferrugens ganharam muito menos atenção, porque foram assumidos esporos de ferrugens hidrofóbicos (SACHE, 2000).

O principal método de controle é a resistência varietal. O melhoramento genético para a resistência à ferrugem da folha é baseado geralmente em genes principais. Combinações destes genes podem resultar em uma resistência mais durável. No melhoramento, genes úteis que controlam diferentes tipos de resistência estão disponíveis. Por exemplo, os genes que governam a resistência de planta adulta e os genes para os quais correspondentes de virulência não são ainda conhecidos. O piramidização de tais genes com diferentes funcionalidades é possível pelo uso dos marcadores moleculares que foram desenvolvidos para a maioria de genes de resistência de ferrugem da folha (FEUILLET & KELLER, 2005).

Entre os parâmetros epidemiológicos, a taxa de progresso da severidade da ferrugem da folha, no intervalo de tempo, é um dos mais usados para descrever epidemias. A tomada de decisão em relação à adoção de táticas de controle como o uso de fungicidas, por exemplo, leva em consideração a taxa de progresso da doença.

Aquelas variedades suscetíveis e com características de rápido desenvolvimento de epidemias de ferrugem merecem manejo diferenciado. As escalas visuais são frequentemente usadas para a avaliação da severidade de ferrugem da folha em trigo. Uma das desvantagens do uso destas escalas é que diferenças podem ocorrer devido ao avaliador e, portanto, sugere-se que cuidado deve ser tomado para minimizar os efeitos de diferenças prováveis entre avaliadores (STONEHOUSE, 1994).

Uma alternativa mais precisa é a contagem dos números de lesões presentes nas folhas. Beresford *et al.* (1991) compararam a área com urédias com a quantidade de doença total visualmente estimada para a ferrugem da folha da cevada e encontraram que a porcentagem ocupada pela urédia superestimou as porcentagens reais, na média, 8,7 vezes. Portanto, a densidade de urédias associado com medidas da área da folha se apresenta como uma das melhores estimativas para doenças como as ferrugens. Entretanto, esta metodologia é de difícil aplicação diretamente no campo. A utilização de softwares para o reconhecimento de lesões de doenças em plantas tem sido relatada (TUCKER & CHAKRABORTY, 1997).

Este trabalho descreve um software específico que auxilia na caracterização de lesões de doenças nas folhas, fornecendo a exata localização e o número de lesões. O software, escrito em Java, pode ser usado em qualquer computador em combinação com um digitalizador de imagem (Scanner 2400 hp).

O objetivo do trabalho foi avaliar a taxa de densidade das lesões da ferrugem da folha de trigo, em condições de campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de plantas de trigo foram obtidas na área de propriedade do senhor Otelon Engel, no município de Almirante Tamandaré do Sul/RS, no período de 10 de junho a 30 de outubro de 2006.

Escolha da Área e do Cultivar de Trigo

A área foi escolhida de maneira uniforme às das regiões tritícolas do estado do Rio Grande do Sul, terreno mediamente plano, afastada de matas ciliares e encostas de rios. O cultivar escolhido foi o BRS Louro devido a sua suscetibilidade a ferrugem da folha (*Puccinia triticina* Erikss.) sem uso de qualquer tipo de fungicida na parcela experimental.

Instalação dos Ensaios a Campo

Na área foi semeado o cultivar de trigo BRS Louro, numa área de 5 hectares, onde foi demarcada 01 (uma) parcela de 225 m² com a distância entre a bordadura da área semeada e outros cultivares e matas nativas, de 300 metros. O experimento foi acompanhado desde o início da germinação do trigo, e iniciada a coleta das plantas a partir da primeira lesão da ferrugem da folha de trigo (*Puccinia triticina*) identificada. Foram feitas quatro coletas de 50 plantas aleatórias no centro da parcela com intervalos de 5 dias. As folhas foram destacadas, separadas e identificadas como FB (folha bandeira, terço superior da planta de trigo), FB-1 (terço médio da planta de

trigo) e FB-2 (terço inferior da planta de trigo). As folhas de trigo com algum dano que impossibilitasse avaliações foram descartadas (Tabela 1).

As avaliações foram feitas com intervalos de 5 dias. A partir da avaliação 3, as FB-1 e FB-2, começam a diminuir, devido à virulência da ferrugem da folha de trigo.



Figura 1 - Ilustrações de sintomas de *Puccinia triticina* Erikss, cultivar de trigo BRS Louro. Fotos tirada da área demonstrativa no momento das avaliações, 2006.

Uma ilustração das folhas de trigo coletadas na parcela demonstrativa, destacadas das plantas e separadas as folhas por parte da planta, nas em quatro avaliações, é apresentada (Figura 2).

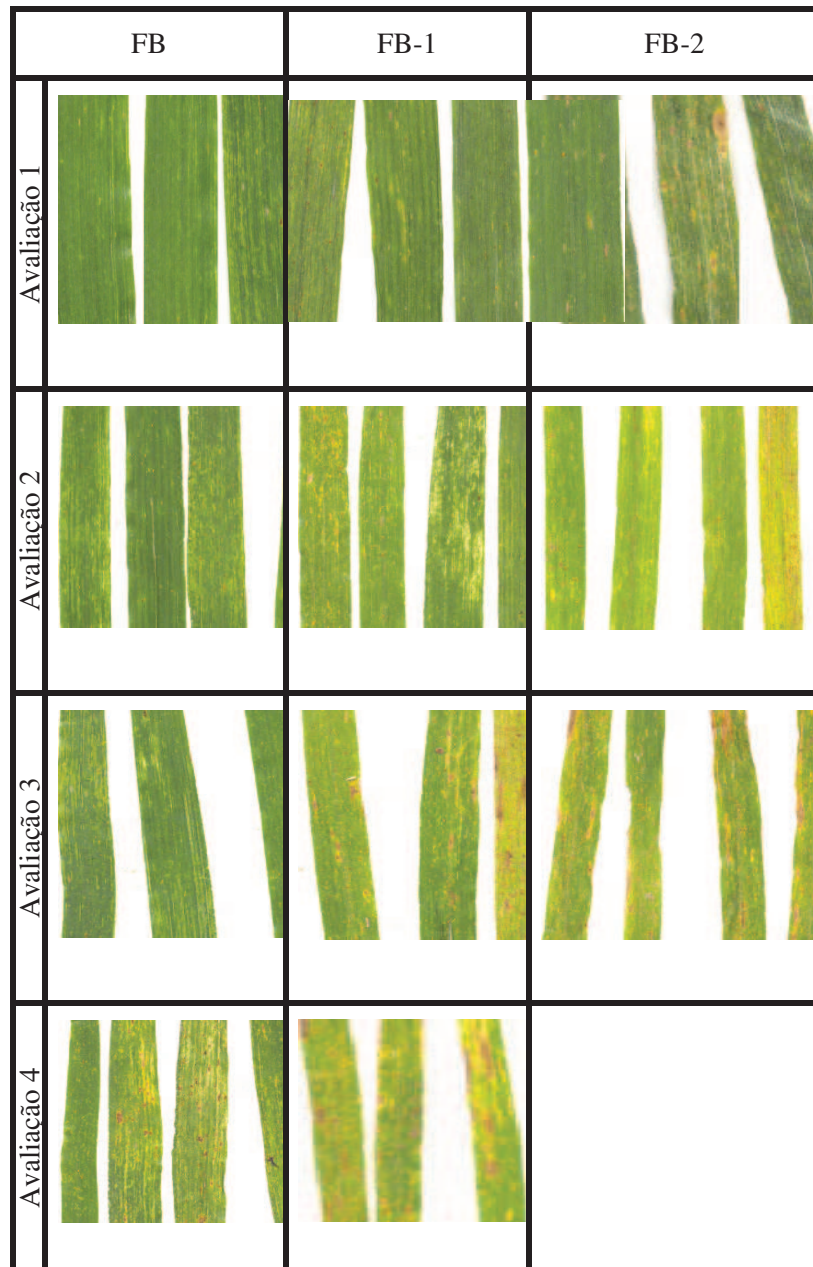


Figura 2 – Folhas de planta de trigo do cultivar BRS Louro, em quatro avaliações, ano de 2006.

Após a coleta das plantas e destacadas as folhas, cada uma individualmente foi passada em scanner HP 2400, para captura da imagem da folha. Posteriormente, foi usado um software ImageP (Figura 3), instalado no computador para obter a quantidade e a localização das lesões e relação ao tamanho da folha. Os dados foram armazenados em banco de dados MySQL.

O software ImageJ (RASBAND, WS., 2006) foi usado para medir a área em cm^{-2} de cada uma das folhas amostradas.

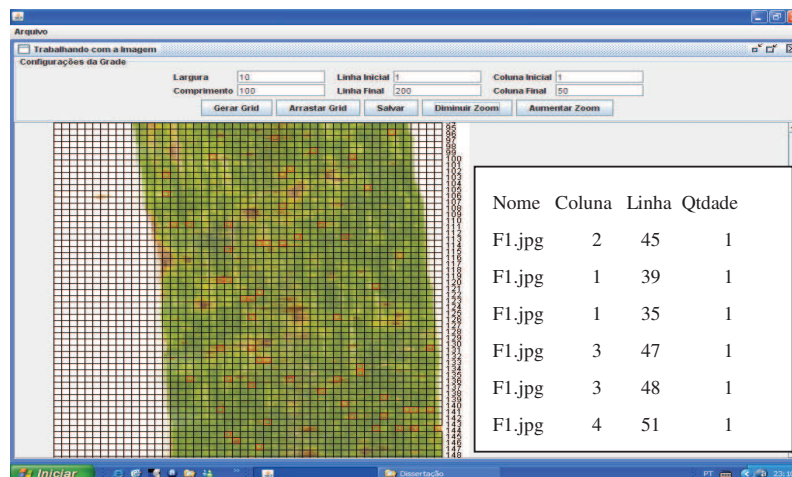


Figura 3 - Tela do software ImageP com uma folha de trigo BRS Louro, com marcação das lesões da ferrugem da folha (*Puccinia triticina* Erikss), em quadrantes.

O software ImageP instalado no computador gera a visualização da folha, de uma grade com 50 colunas e 200 linhas em cada folha de trigo, mostrado na Figura 3, ajustado cada quadrante ao tamanho da lesão da ferrugem da folha. Após identificadas as lesões

da ferrugem da folha (*Puccinia triticina*) no quadrante, é marcado com um “clic” através do “mouse” do computador. O “software” armazena automaticamente o número e a localização das lesões em uma matriz. Os dados foram armazenados em um banco de dados MySQL. Uma nova variável denominada densidade de lesões foi estimada para cada folha pela razão entre o número de lesões e a área foliar medida em cm^2 .

Para avaliar a taxa de formação das lesões foi da ferrugem da folha de trigo relacionado, à quantidade de lesões expressa na forma de densidade relativa identificada em cada folha de trigo, o intervalo de tempo entre as avaliações. O pacote “nls” do software R Development Core Team, (2007) foi usado para ajustar os dados aos modelos de Gompertz e Logístico, freqüentemente utilizados para descrever curvas de progresso de epidemias policíclicas (BERGER, 1981).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A severidade da ferrugem da folha progrediu rapidamente na cultivar BRS Louro, confirmando a suscetibilidade desta cultivar. O clima que prevaleceu durante a condução do experimento foi caracterizado por apresentar chuvas a intervalos regulares e temperaturas amenas. Estas condições, favoreceram ao bom desenvolvimento das plantas de trigo, mas também ao aparecimento e ao rápido progresso da ferrugem da folha. Registros diários de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar observados na estação meteorológica de Passo Fundo (Lat.: 28° 14' S, Long.: 52° 24'

W e Alt.: 684,00 metros), distante aproximadamente 30 km da área experimental são apresentados na Figura 4.

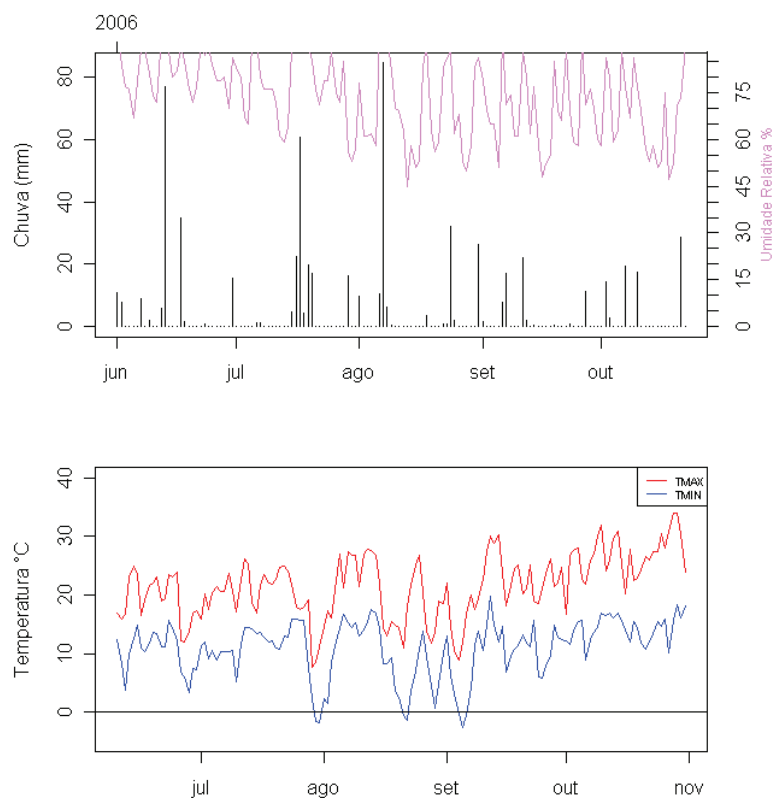


Figura 4 – Dados diários de temperatura, umidade relativa e precipitações observados na estação meteorológica de Passo Fundo, RS (2006).

Na tabela 1, é apresentado o número de lesões observadas em cada grupo de folhas nas unidades amostrais colhidas em cada uma das datas de observação.

Tabela 1 - Quantidade de lesões de ferrugem da folha do trigo e número de folhas amostradas

Data das Avaliações	FB		FB-1		FB-2	
	Lesões	Folhas	Lesões	Folhas	Lesões	Folhas
22/09/2006	85	50	580	50	23	50
27/09/2006	869	50	1956	50	2358	50
02/10/2006	2750	50	6409	44	1085	9
07/10/2006	5344	50	5218	37	-	-
Total	9048	200	14163	181	3466	109

*FB (folha bandeira, terço superior da planta de trigo), FB-1 (folha mediana da planta de trigo), FB-2 (terço inferior da planta de trigo).

A densidade de lesões por unidade de tecido foliar aumentou com intervalo de tempo. Na figura 5, é apresentado a densidade de lesões encontradas em cada tipo de folha, em cada uma das avaliações. A maior densidade foi de 12,4 lesões por cm² observada nas folhas inferiores na data de 2 de outubro.

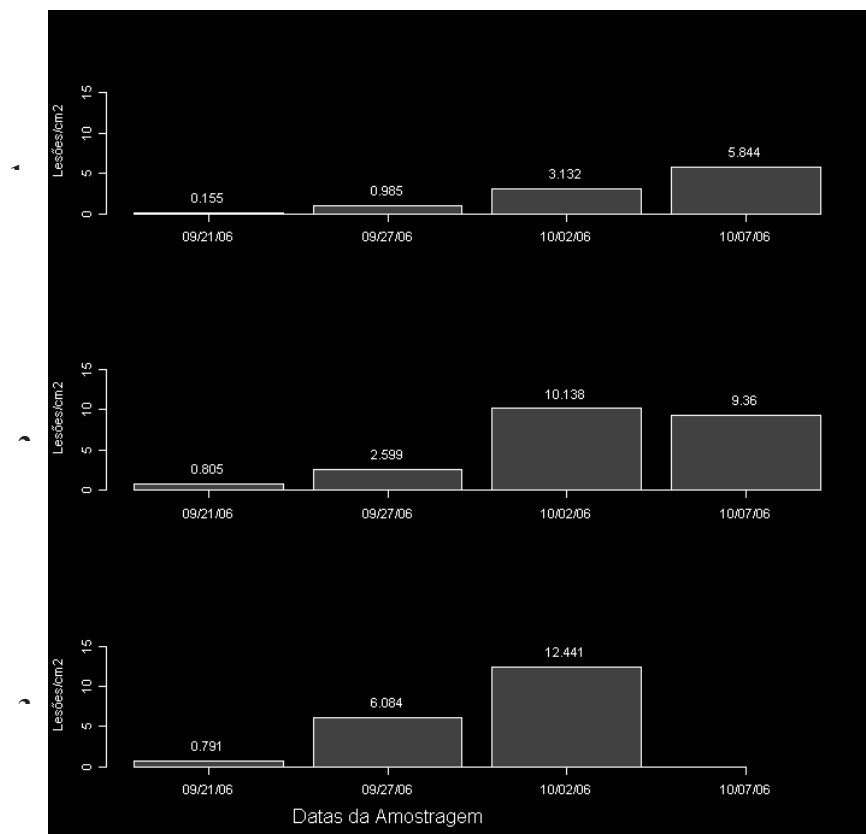


Figura 5 - Densidade média de lesões por cm^{-2} de ferrugem da folha observada nas folhas bandeira (1), intermediária (2) e inferior (3) da cultivar de trigo Louro em Almirante Tamandaré do Sul, RS, 2006.

O modelo logístico foi o que melhor representou a relação entre a densidade relativa de lesões de ferrugem da folha do trigo no intervalo de tempo de estudo. Na diagnose do modelo observou-se o exame visual da distribuição dos resíduos, o erro padrão associado a cada parâmetro estimado, o quadrado médio do erro associado ao modelo e o coeficiente de determinação. Os parâmetros estimados

pelo modelo logístico para as folhas bandeira e abaixo da bandeira são apresentados na Tabela 2. A descrição da curva de progresso e o valor médio dos dados observados são apresentados na Figura 6. Na comparação das curvas de progresso de ferrugem observadas nas folhas bandeira e abaixo da bandeira não foi detectadas diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$).

Tabela 2 – Parâmetros encontrados para o modelo logístico $y = a / (1 + \exp(b \cdot r^{\text{tempo}}))$ em dois grupos de folhas da cultivar BRS Louro

Folhas	Parâmetros		
	a	B	r
FB	1,047 (0,020)	4,540 (0,229)	0,398 (0,021)
FB-1	1,003 (0,080)	3,200 (0,790)	0,377 (0,010)

* Entre os parênteses encontra-se o erro padrão

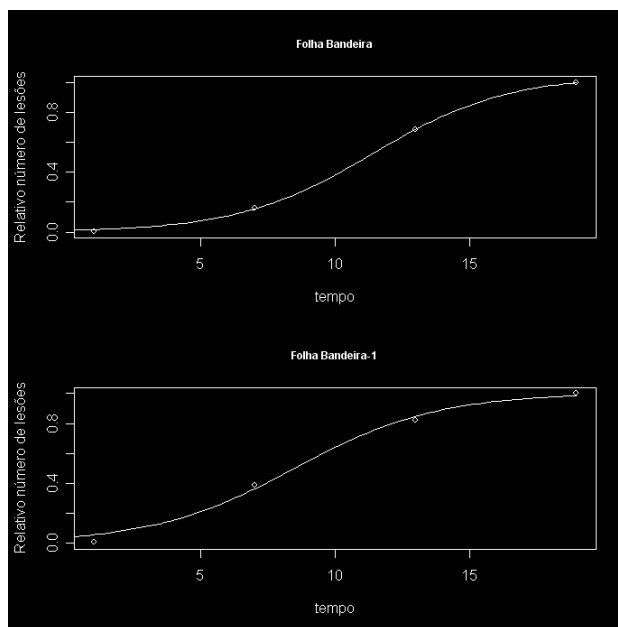


Figura 6 – Relação do número de lesões de *Puccinia triticina* distribuídas, em quatro avaliações com intervalo de cinco dias, na folha bandeira (FB) e folha bandeira -1 (FB-1) de trigo. Os círculos representam a média de 50 observações e a linha contínua dos dados ajustados ao modelo logístico.

O critério de avaliação pelo número de lesões por cm^{-2} forneceu resultados mais precisos, porém concorda-se com Bergamim Filho & Amorim (1996), que a contagem de lesões só é exequível em trabalhos experimentais, quando se requer alta precisão. A obtenção de valores de densidade exige avaliações trabalhosas e consomem uma quantidade considerável de tempo. Reis *et al.* (2006) sugerem que se utilize, em pesquisa, a densidade de lesões como avaliação patométrica e valores de incidência da doença para estimativas de danos. Os autores definem estas

variáveis como sendo mais objetivas e mais precisas. Neste sentido, a utilização de imagens digitais em combinação com softwares como ImageJ e o ImageP usados para medir a área da folha e a contagem de lesões em cada folha, respectivamente, foram muito úteis, neste estudo, na obtenção e precisão dos dados coletados.

As taxas de progresso da ferrugem medidas na folha bandeira e na folha abaixo da bandeira da cultivar BRS Louro foram semelhantes entre si. Os resultados discordam dos encontrados por Subbarao e colaboradores em 1992. Esses autores relataram que a taxa de progresso medida em folhas individuais de trigo diferiu em relação a posição da folha no colmo. A severidade de ferrugem da folha resultou ser menor na folha bandeira do que na folha inferior a folha bandeira.

Os valores da taxa de severidade nas folhas foram maiores que os relatados por Berger (1981) para a ferrugem da folha. É possível que os dados relatados por Berger refiram-se a todo o período da epidemia e não a apenas uma parte relatada neste estudo. A taxa média de infecção também foi alta comparada a cultivares HUW 234 (0,34) e LEVANTA 2425 (0,35), inoculados artificialmente com *Puccinia triticina* em trigo (HASABNIS, *et al.* 2000).

A densidade máxima de lesões de ferrugem foi de 12,4 por cm^{-2} . Outros autores encontraram valores ao redor de 55 lesões por cm^{-2} (Kunh *et al.*, 1978; Shaner *et al.*, 1978; Shaner, 1983). As diferenças podem ser atribuídas à suscetibilidade entre as cultivares e, também, ao fato que nos outros estudos foi usada inoculação artificial e oferecidas as condições ótimas de umidade e temperatura para a

infecção. Reis *et al.* (2006), em trabalhos feitos sob condições de campo, relataram que um número máximo de 80 lesões/cm² de ferrugem da folha chegou a ser determinado na porção central da folha. Este valor deve estar próximo ao valor máximo possível de densidade de lesões em um centímetro quadrado. Outros trabalhos relatam o valor máximo de lesões ao redor de 60 lesões por cm² (METHA & ZADOCKS, 1970; SACHE, 1997; SHANER, 1983).

O nosso estudo demonstrou a utilidade do uso de imagens digitais como método para quantificar o número de lesões. Díaz-Lago *et al.* (2003) também relatou com sucesso o uso de imagens digitais para avaliar componentes de resistência às doenças.

CAPÍTULO III

PADRÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA FERRUGEM DA FOLHA DO TRIGO NO LIMBO FOLIAR

PAULO CÉSAR PIRES¹ & JOSÉ MAURÍCIO CUNHA FERNANDES² e MARCIO NICOLAU³.

RESUMO – Com objetivo de conhecer a distribuição espacial das lesões de ferrugem da área da folha de trigo foi realizada uma série de amostragens em lavoura comercial, com o cultivar de trigo BRS Louro. Cada uma das amostras foi registrada em imagem digital. Um software, especialmente desenvolvido, foi usado para estabelecer as coordenadas de cada lesão na folha de trigo. O padrão de distribuição das lesões foi examinado de forma exploratória comparando a distribuição da frequência de lesões com as distribuições teórica de Poisson e Binomial Negativa. A análise exploratória dos dados de processo pontuais também foi examinada, comparando-se uma função empírica da distância entre os vizinhos com a distribuição teórica uniforme de Poisson. Os resultados indicam que as localizações das lesões de ferrugem da folha do trigo seguem um padrão aleatório no

¹Mestrando do Programa Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) FAMV/UPF, Área de concentração em Fitopatologia. paulo@wavetec.com.br.

²Orientador, Dr. Pesquisador da Embrapa Trigo. maurício@cnpt.embrapa.br

³Colaborador, Estatístico da Embrapa Trigo, nicolau@cnpt.embrapa.br

início da epidemia e passa a agregado à medida que a epidemia avança no tempo. Finalmente, um modelo paramétrico foi ajustado aos dados para representar a área de densidade das lesões de ferrugem em folhas escolhidas aleatoriamente dentro da amostra. A importância destes resultados é discutida no trabalho.

Palavras-chave: *Puccinia triticina*, *Triticum aestivum*, folha de trigo.

WHEAT LEAF RUST DISTRIBUTION PATTERN WITHIN THE WHEAT LEAF

PAULO CÉSAR PIRES¹, JOSÉ MAURÍCIO CUNHA
FERNANDES² e MARCIO NICOLAU³.

ABSTRACT- With objective to determine the spatial distribution of the localization of wheat leaf rust lesions a series of samplings was carried out in commercial a wheat field. The cultivar was BRS Louro. Each one of the samples was registered as a digital image. A software, especially developed, was used to establish the coordinates of each lesion within the limits of a wheat leaf. The lesion distribution pattern was examined by means of exploratory analysis comparing lesion

¹Mestrando do Programa Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) FAMV/UPF, Área de concentração em Fitopatologia. paulo@wavetec.com.br.

²Orientador, Dr. Pesquisador da Embrapa Trigo. maurício@cnpt.embrapa.br

³Colaborador, Estatístico da Embrapa Trigo, nicolau@cnpt.embrapa.br

frequency distribution with theoretical distributions of Poisson and Negative Binomial. An exploratory analysis of the special point pattern also was examined comparing an empirical function for neighbors distances with the theoretical uniform Poisson distribution. The results indicate that the leaf rust lesions localization followed a random pattern at the beginning of the epidemic and shifting to an aggregate pattern as the epidemic advances in time. Finally, a parametric model representing the density area for rust lesions was adjusted to the data from randomly chosen leaves from the sample. The importance of these findings is discussed in this paper.

Key words: *Triticum aestivum*, *Puccinia triticina*, leaf wheat.

1 INTRODUÇÃO

A premissa que a distribuição dos propágulos é aleatória constitui a base para os modelos matemáticos usados em epidemiologia. Isto inclui o modelo logístico comumente usado para representar o progresso de doenças de plantas no tempo. O modelo logístico foi primeiramente escrito por Verlhust em 1845 sendo usado no crescimento de populações de várias formas de seres vivos, animais ou vegetais sob condições específicas (EDELSTEIN KESHET, 1988; RAFIKOV, 1998).

Van der Plank (1963) foi o primeiro a demonstrar a aplicação do modelo logístico na fitopatologia. Por exemplo, o modelo dN/dt poderia representar o número de novas lesões (N)

formadas na área foliar do hospedeiro no espaço de tempo (t). A produção de novas lesões é tida como sendo proporcional a fração não infectada (k-N)/k, sendo que a taxa de formação de novas lesões na porção sadia tem um padrão de distribuição aleatório.

Uma outra premissa essencial é que todas as novas lesões produzem esporos que podem causar nova infecção e que os esporos são distribuídos de forma aleatória sobre a superfície do hospedeiro. Assim, uma amostra aleatória de esporos depositados na superfície da folha com a conseqüente infecção originariam um número de lesões variando de forma aleatória.

$$\frac{dN}{dt} = \frac{rN(k-n)}{k}$$

Onde, r é um fator de proporcionalidade representado por:

$$\log \left[\frac{x}{1-x} \right] - \log \left[\frac{x_0}{1-x_0} \right] = r(t - t_0)$$

No modelo Logístico, a curva de progresso é simétrica em torno do ponto da taxa de progresso máxima apresentando períodos iguais de crescimento lento e rápido.

O aparecimento de uma lesão é um evento discreto na folha que ocupa uma pequena porção da área foliar. Caso a distribuição seja aleatória, a freqüência da distribuição deverá ser ajustada a uma função de Poisson. Uma alternativa a esta hipótese é o

ajuste da frequência do número de lesões a uma distribuição binomial negativa. Waggoner and Rich (1981) examinaram a frequência da distribuição de lesões em vários patossistemas em um determinado intervalo de tempo e mostraram a existência de desvios do padrão esperado que fosse o aleatório. Rouse *et al.* (1980) estudando a frequência da distribuição de lesões de oídio no trigo relatam que o modelo da distribuição se aproximou da Binominal Negativa tanto nos experimentos em condições controladas, como os de campo. No caso da ferrugem da folha do trigo, o conhecimento sobre a distribuição da frequência das lesões ainda é incompleto. Além disso, é preciso investigar o padrão de distribuição em cada uma das folhas de forma individual à medida que ocorre o progresso da doença.

Os objetivos deste trabalho foram: 1) determinar a distribuição da frequência do número de lesões de ferrugem da folha em folhas de trigo; 2) comparar o ajuste dos dados a modelos de distribuição de frequência; 3) examinar o padrão da distribuição espacial das lesões de ferrugem da folha em folhas individuais; 4) Modelar o aparecimento da ferrugem da folha do trigo no tempo e no espaço.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem

A área foi escolhida de maneira uniforme as das regiões tritícolas do estado do Rio Grande do Sul, terreno mediamente plano,

afastada de matas ciliares e encostas de rios. O cultivar escolhido foi o BRS Louro suscetível a ferrugem da folha (*Puccinia triticina* Erikss.). Na área não foi usado qualquer tipo de fungicida. A lavoura de trigo onde foi demarcada a área de amostragem era de propriedade do senhor Otelon Engel, no município de Almirante Tamandaré do Sul/RS. O período de visitas a propriedade estendeu-se do dia 10 de junho a 30 de outubro de 2006.

Uma primeira análise exploratória dos dados para verificar a existência de padrões espaciais na localização das lesões de ferrugem na folha do trigo, causada por *Puccinia triticina*, foi feita usando o ajuste da distribuição de frequência do número de lesões de ferrugem da folha para cada data de amostragem. Os períodos analisados correspondem respectivamente às datas: 22/09/2006, 27/09/2006, 02/10/2006 e 07/10/2006. As observações foram coletas em três alturas diferentes referenciadas pela variável folha com os níveis 1 (folha bandeira) e 2 (folha abaixo da bandeira) em direção da raiz. As terceira folhas foram descartadas para este tipo de avaliação.

A área cultivada com o trigo BRS Louro ocupava cinco hectares, onde foi demarcada uma parcela de 225 m², sendo a distância da bordadura da área semeada e outros cultivares e matas nativas de 300 metros. O experimento foi acompanhado desde o início da germinação do trigo, e iniciada a coleta das plantas a partir do momento em que a primeira lesão da ferrugem da folha de trigo (*Puccinia triticina*) foi visualizada. Foram feitas quatro coletas de 50 plantas aleatórias, no centro da parcela, com intervalos de cinco dias. As folhas foram destacadas, separadas e identificadas como Folha 1

(folha bandeira, terço superior da planta de trigo), Folha 2 (terço médio da planta de trigo) e Folha 3 (terço inferior da planta de trigo). As folhas de trigo com algum dano que impossibilitasse as avaliações foram descartadas. Um software criado especialmente para este trabalho foi usado no auxílio da localização do local da lesão na área da folha assim como na contagem do número de lesões na folha de trigo. Foram quatro avaliações com intervalo de cinco dias, 50 folhas FB, 50 Folhas FB-1 e 50 FB-2 por avaliação, totalizando 200 folhas FB, 181 folhas FB-1, 109 folhas FB-2.

Distribuição de frequência de lesões nas folhas.

Os dados amostrais representando o número de lesões em cada uma das folhas e nas diferentes datas de avaliação foram representados por histogramas. Uma curva correspondente a uma distribuição de frequência teórica da distribuição de Poisson e da Binomial Negativa foi superposta a cada um dos histogramas para a comparação visual.

A distribuição de Poisson, de probabilidade discreta, que representa a probabilidade de certo número de eventos que ocorra num dado período tempo, caso a taxa média de ocorrência seja conhecida e caso cada evento independente do tempo decorrido desde o último evento. A distribuição de Poisson é frequentemente usada para modelar dados de contagem. A variável X tem distribuição de Poisson com parâmetro θ , denotando-se, $X \sim \text{Poisson}(\theta)$ se sua função de probabilidade é dada por:

$$p(x|\theta) = \frac{\theta^x e^{-\theta}}{x!}, \quad x = 0, 1, \dots$$

Para, $\theta > 0$

$$E(X) = V(X) = \theta$$

Onde,

e é [base do logaritmo natural](#) ($e = 2.71828\dots$), $x!$ é o [fatorial](#) de x , e θ é um número real, igual ao número esperado de ocorrências num dado intervalo.

A distribuição negativa binomial também é uma distribuição de probabilidade discreta. Esta distribuição indica o número de tentativas necessárias para obter r sucessos de igual probabilidade θ .

X tem distribuição de binomial negativa com parâmetros r e p , denotando-se $X \sim BN(r, p)$, se sua função de probabilidade é dada por,

$$p(x|r, p) = \binom{r+x-1}{x} p^r (1-p)^x, \quad x = 0, 1, \dots$$

$$r \geq 1 \quad \text{e} \quad 0 < p < 1$$

Para,

$$E(x) = \frac{r(1-p)}{p} \quad \text{e} \quad V(X) = \frac{r(1-p)}{p^2}$$

O parâmetro r da distribuição binomial negativa é um indicador de agregação, sendo que, quando tende para zero a

distribuição é agregada, e quando não tende ao infinito, a distribuição é aleatória.

Na estatística espacial, os métodos exploratórios clássicos comparam os dados observados com um processo uniforme de Poisson o qual pode ser considerado como modelo (hipótese) nulo no contexto da modelagem espacial. Portanto, inicialmente comparou-se a localização espacial das lesões de ferrugem da folha com modelo espacial representado pelo processo Poisson. Os dados observados foram ajustados utilizando a função de distribuição empírica de distância entre vizinhos próximos, conhecida como Kaplan-Meyer (BADDELEY & TURNER, 2005).

O software R (R Core Team, 2007) foi usado para a análise dos dados sendo que os seguintes pacotes foram utilizados: base (v.2.5.0), grDevices (v.2.5.0), methods (v.2.5.0), spatstat (v.1.11-6), datasets (v.2.5.0), grid (v.2.5.0), mgcv (v.1.3-24), stats (v.2.5.0), DBI (v.0.2-3), lattice (v.0.15-8), odfWeave (v.0.4.9), utils (v.2.5.0), graphics (v.2.5.0), MASS (v.7.2-34) e RMySQL (v.0.6-0).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultivar de trigo BRS Louro mostrou-se bastante suscetível a ferrugem da folha. As condições climáticas durante o crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo favoreceram o aparecimento e o rápido progresso da ferrugem da folha. Uma descrição do número de lesões, a intensidade e uma representação gráfica da posição das lesões estão nas Figuras e 1 e 2.

Nas Figuras 3 a 6, são apresentados os gráficos comparando o histograma da frequência de lesões observadas e a distribuição teórica de Poisson e da Binomial Negativa. Um exame visual revela que logo no aparecimento dos primeiros sinais da ferrugem da folha as distribuições das frequências se aproximam a uma distribuição de Poisson, indicando um processo aleatório. Entretanto, à medida que novas lesões surgem com o passar do tempo a comparação passa a ser mais próxima da curva da distribuição Binomial Negativa que indica um padrão de agregação.

Tabela 1- Média e desvio padrão para a variável número de lesões por folha em diferentes datas de avaliação na cultivar de trigo BRS Louro, em Carazinho, RS, 2006

Descrição	Média	Desvio Padrão
Geral	65,74	85,46
22-09 Geral	8,55	9,19
22-09 FB	2.83	3.17
22-09 FB-1	12.12	9.91
27-09 Geral	28,77	37.23
27-09 FB	17.94	18.70
27-09 FB-1	39.16	25.67
02-10 Geral	101,76	104.96
02-10 FB	57.29	64.28
02-10 FB-1	152.57	126.26
07-10 Geral	121.41	88.77
07-10 FB	106.88	77.16
07-10 FB-1	141.05	100.15

Uma segunda análise exploratória foi feita para verificar a existência de agrupamentos entre os locais na folha onde surgem as lesões de ferrugem. Para isso compara-se um modelo espacial,

processo de Poisson, como padrão aleatório das ocorrências. Os dados observados foram ajustados, utilizando a função de distribuição empírica de distância entre vizinhos próximos segundo os resultados apresentados pelo conjunto de gráficos nas Figuras 7 e 8, mostram distribuições empíricas geralmente estão acima das distribuições teóricas. Este comportamento indica a formação de aglomerados entre as primeiras lesões de ferrugem nas folhas.

A fase seguinte consistiu no ajuste do modelo espacial para amostras retiradas de cada folha para a data de coleta 02/10/2006. Esta escolha se baseia na disponibilidade de informações para todos os níveis das folhas.

Uma amostra de tamanho 1 foi selecionada aleatoriamente para cada nível e, a partir desta, gerado um novo objeto retangular de dimensão 50x200mm. A representação gráfica das amostras selecionadas nesta fase pode ser vista na Figura 9.

Repetiu-se o ajuste da função de distribuição empírica das amostras para se obter o intervalo de distância ótimo que serviu como base para ajuste dos modelos para cada folha. O ajuste foi realizado pelo processo de *Strauss* com parâmetro de distância referente à média aritmética do intervalo ótimo e padrão de dispersão polinomial de ordem três para as duas coordenadas.

Tabela 2 - Parâmetros estimados para o modelo (Figura 9)

Parâmetro	Folha FB		Folha FB-1	
	Coefficientes(θ)	Exp(θ)	Coefficientes(θ)	Exp(θ)
Intercepto	-4,860000	0,007750	-9,440000	0,000079
X	0,043100	1,044042	0,483000	1,620930
Y	-0,010400	0,989654	0,089500	1,093627
x^2	-0,014300	0,985802	-0,012500	0,987578
$x*y$	0,006890	1,006914	-0,003490	0,996516
y^2	-0,000949	0,999051	-0,000485	0,999515
x^3	0,000172	1,000172	-0,000005	0,999995
x^2*y	-0,000046	0,999953	0,000032	1,000032
$x*y^2$	-0,000009	0,999991	0,000019	1,000019
y^3	0,000003	1,000003	-0,000001	0,999999
Interação	0,525000	1,690395	0,053200	1,054641

*FB- folha bandeira; FB-1- folha abaixo da bandeira.

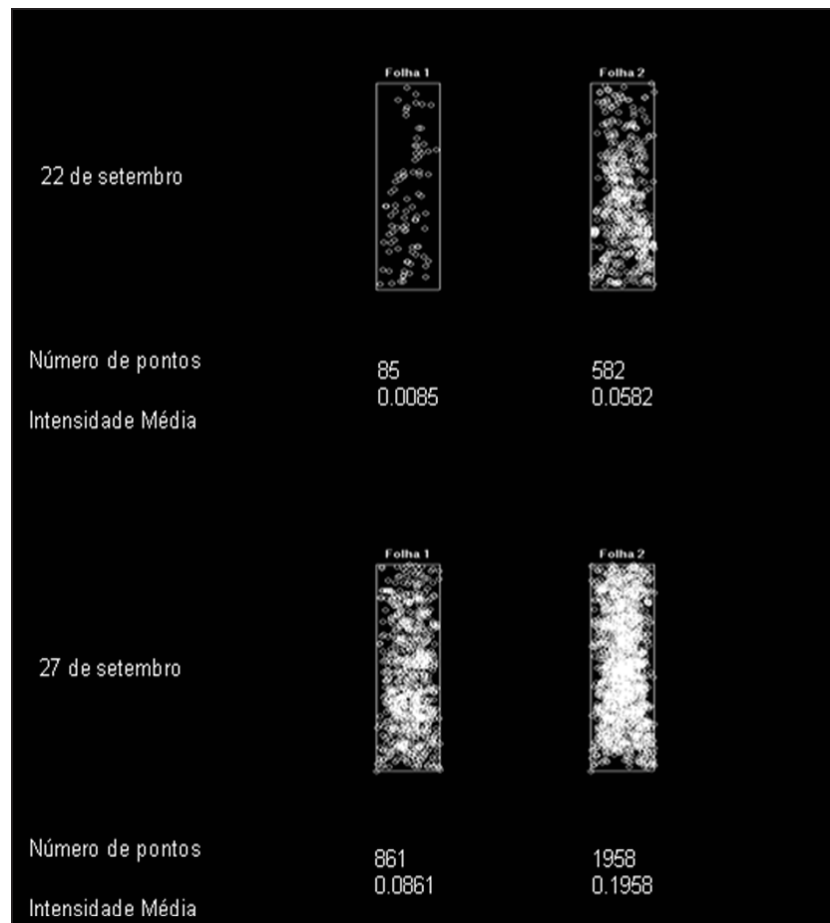


Figura 1 - Distribuição da posição das lesões de ferrugem da folha do trigo nas folhas bandeira (1) e abaixo da bandeira (2) na primeira e segunda amostragem, representada em um polígono retangular de dimensões (50x200 mm). O número total de pontos (lesões) e a intensidade média são também apresentado para cada amostragem.

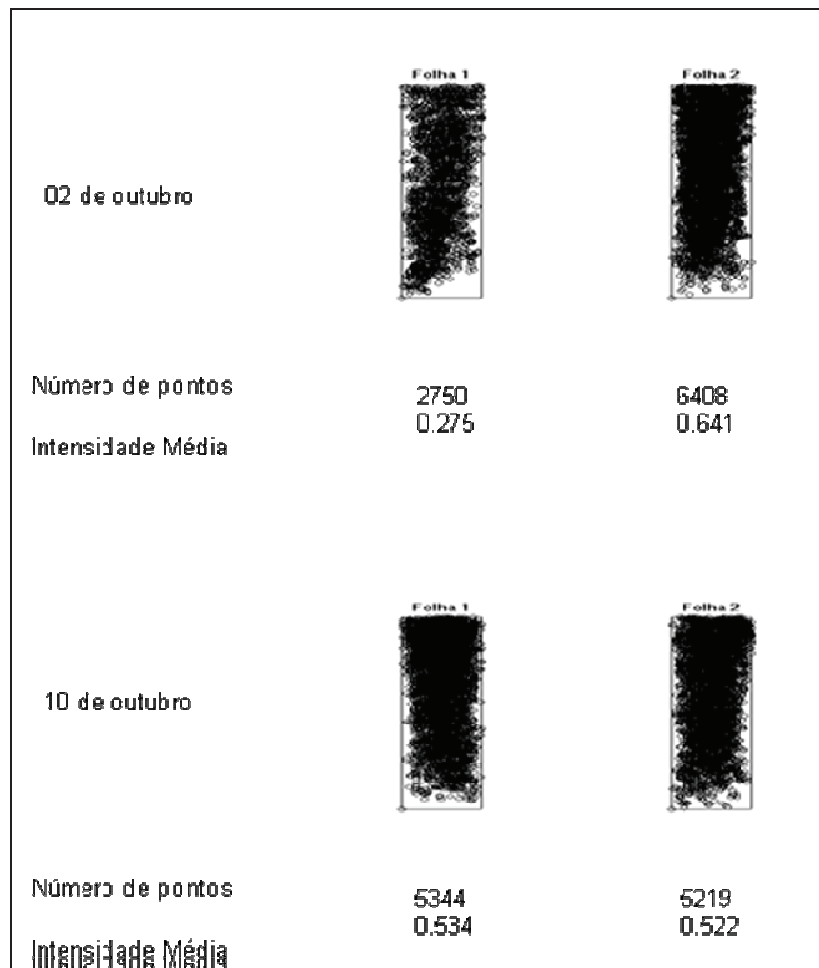


Figura 2 - Distribuição da posição das lesões de ferrugem da folha do trigo nas folhas bandeira (1) e abaixo da bandeira (2) na terceira e quarta amostragem, representada em um polígono retangular de dimensões (50x200 mm). O número total de pontos (lesões) e a intensidade média é também apresentados para cada amostragem.

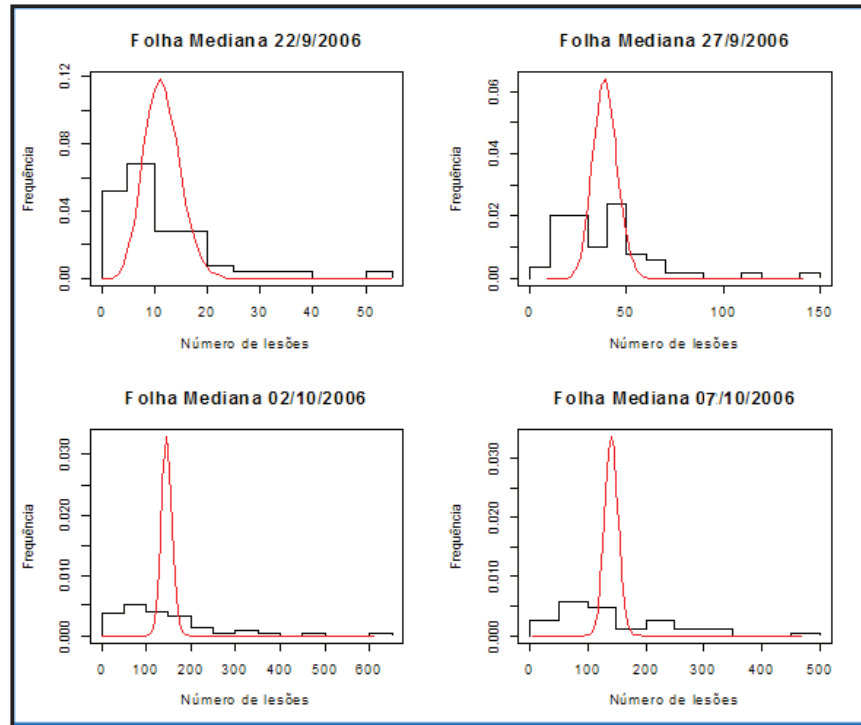


Figura 3 - Histograma representando a frequência da distribuição do número de lesões de ferrugem da folha em folhas mediana da planta de trigo. A linha contínua representa a frequência estimada pelo modelo da distribuição de Poisson ajustado aos dados observados.

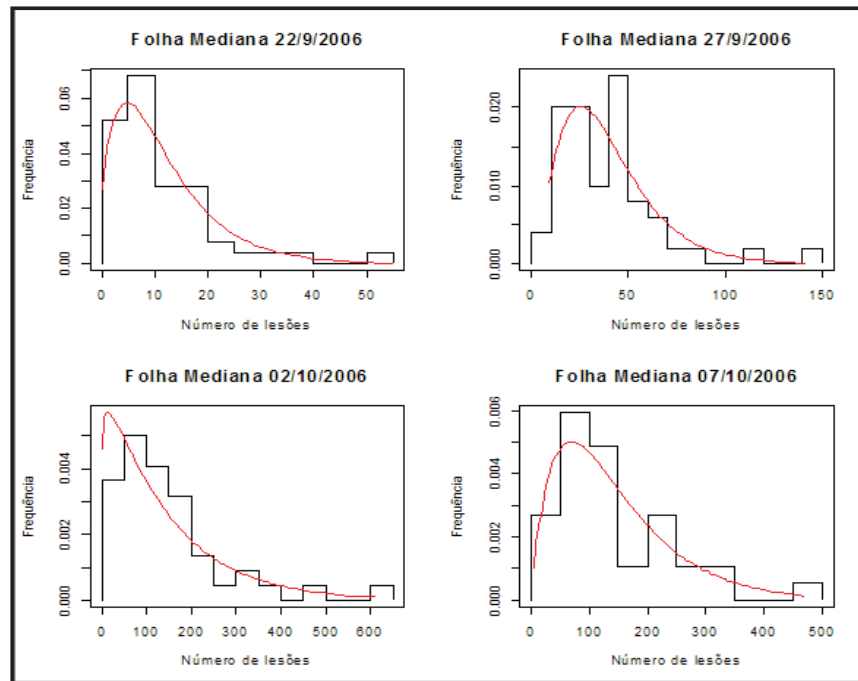


Figura 4 - Histograma representando a frequência da distribuição do número de lesões de ferrugem da folha em folhas mediana da planta de trigo. A linha contínua representa a frequência estimada pelo modelo da distribuição de Binomial Negativa ajustada aos dados observados.

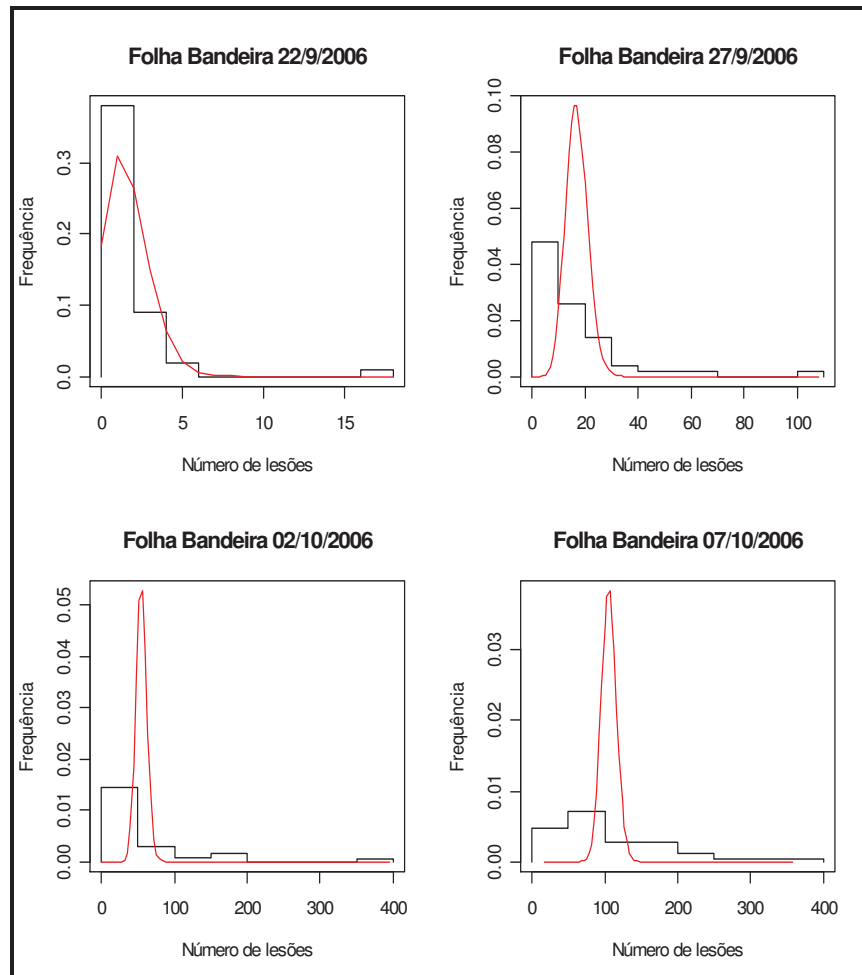


Figura 5 - Histograma representando a frequência da distribuição do número de lesões de ferrugem da folha em folhas bandeira da planta de trigo. A linha contínua representa a frequência estimada pelo modelo da distribuição de Poisson ajustado aos dados observados.

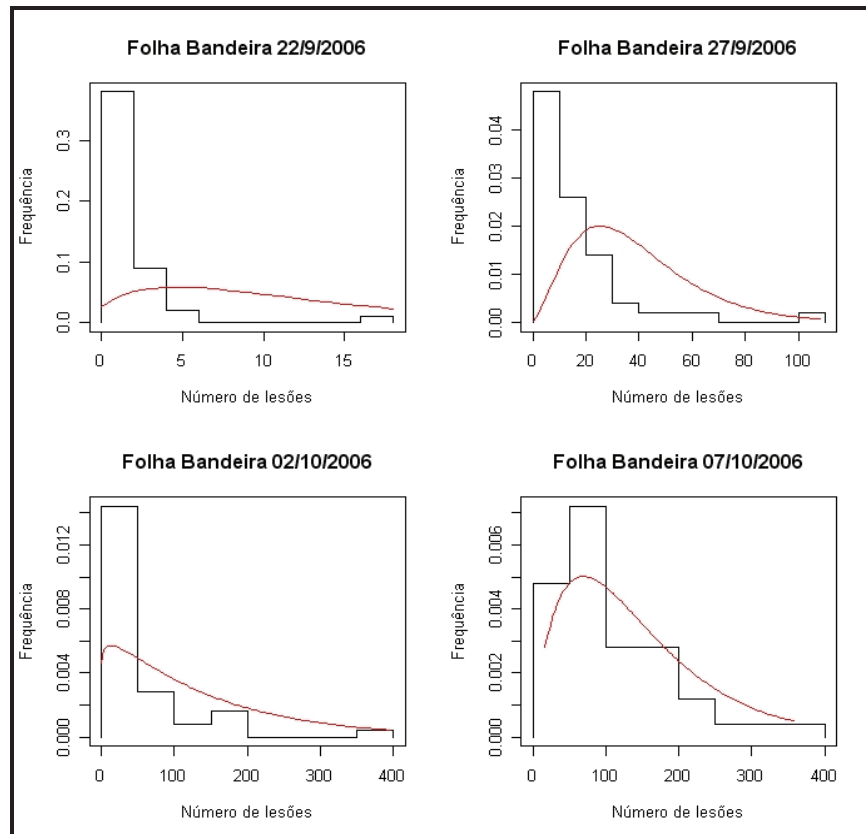


Figura 6 - Histograma representando a freqüência da distribuição do número de lesões de ferrugem da folha em folhas bandeira da planta de trigo. A linha contínua representa a freqüência estimada pelo modelo da distribuição de Binomial Negativa ajustada aos dados observados.

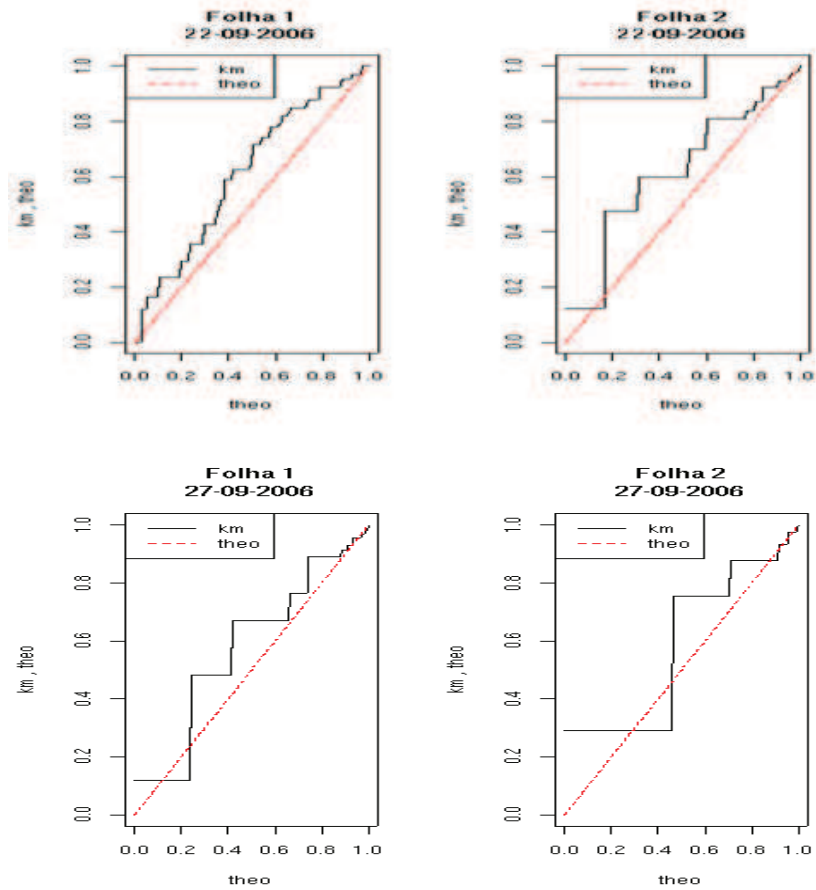


Figura 7 - A linha pontilhada (theo) representa um modelo espacial, processo de Poisson, como padrão aleatório das ocorrências. Ajustada a distribuição empírica da posição das lesões de ferrugem da folha do trigo nas folhas bandeira (1) e abaixo da bandeira (2) na primeira e segunda amostragem. Os dados observados representados pela linha sólida (km) foram ajustados utilizando a função de distribuição empírica de distância entre vizinhos próximos.

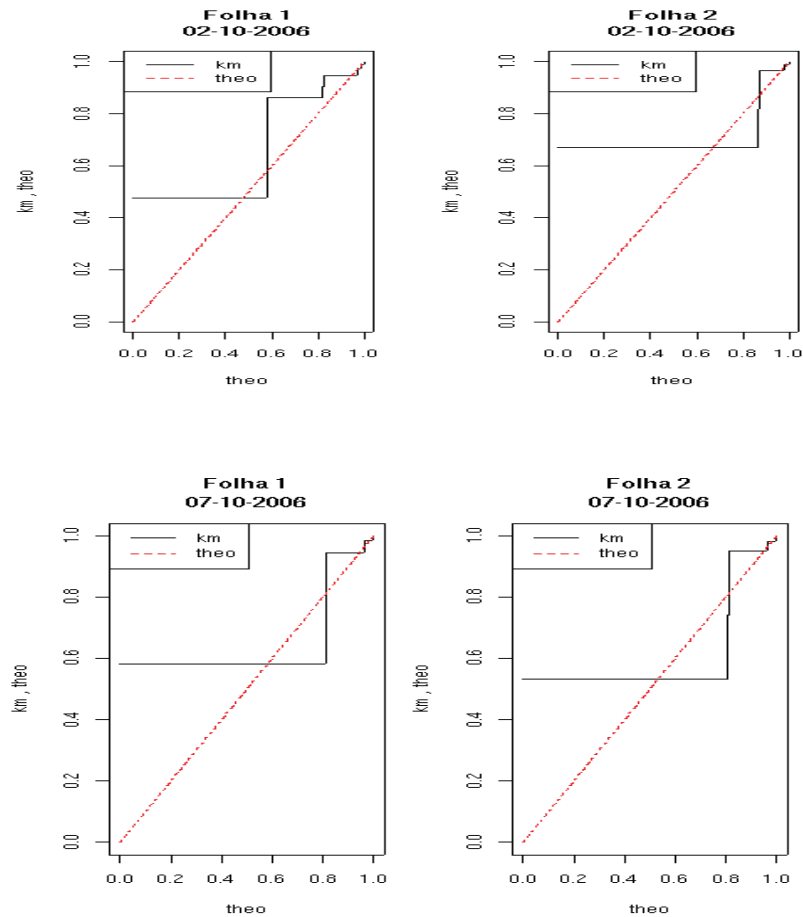


Figura 8 - A linha pontilhada (theo) representa um modelo espacial, processo de Poisson, como padrão aleatório das ocorrências. Ajustada a distribuição empírica da posição das lesões de ferrugem da folha do trigo nas folhas bandeira (1) e abaixo da bandeira (2) na terceira e quarta amostragem. Os dados observados representados pela linha sólida (km) foram ajustados utilizando a função de distribuição empírica de distância entre vizinhos próximos.

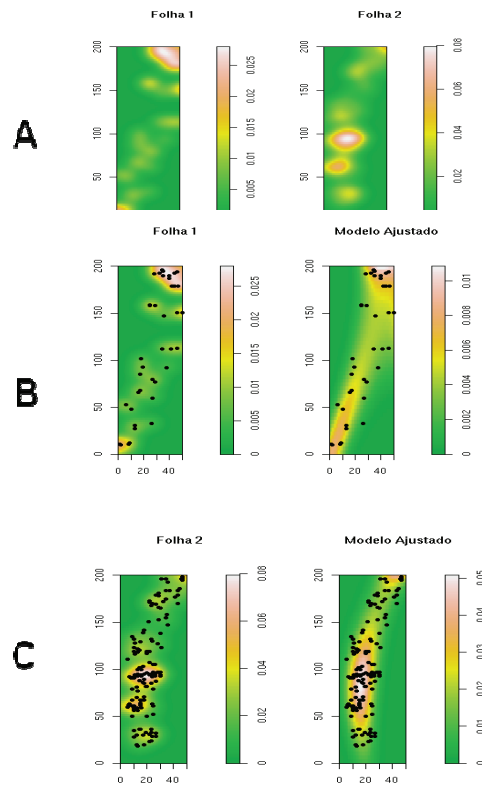


Figura 9 – A- Densidade de lesões de ferrugem da folha do trigo na folha bandeira (1) e folha abaixo da bandeira (2) aleatoriamente selecionadas da amostragem realizada em 2 de outubro **B**- Representação dos dados observados na folha bandeira (1) e a área estimada pelo modelo para o aparecimento das lesões, **C**- Representação dos dados observados na folha abaixo da bandeira (2) e a área estimada pelo modelo para o aparecimento das lesões. Os pontos escuros representam o exato local onde foi observada a lesão.

Na distribuição teórica de Poisson, a média e o desvio padrão são iguais. Portanto, uma indicação de que a distribuição de lesões da ferrugem da folha do trigo formadas no espaço do limbo foliar seguem um padrão aleatório, seria a simples comparação dos valores da média e do desvio padrão. O exame destas estatísticas descritivas, no entanto, indica que os valores encontrados para a média e o desvio padrão da variável do número de lesões, à medida que a epidemia progride em cada tipo de folhas e em cada uma das datas, se distanciam do que deveria ser teoricamente observado em caso de pertencer a uma distribuição de Poisson. Isto é uma indicação de aglomerado. A comparação gráfica de ajuste da distribuição de frequência de lesões de ferrugem da folha com a distribuição teórica de Poisson e Binomial Negativa reforça ainda mais a hipótese que as epidemias de ferrugem da folha iniciam como um processo aleatório e muda para um padrão agregado à medida que avança no tempo.

Além disso, a comparação da função empírica da distância (km) entre os vizinhos com uma função comparativa teórica do processo de Poisson reforça a tendência da formação de agrupamento das lesões a medida do avanço da epidemia. Os resultados aqui encontrados coincidem com os relatos encontrados na literatura que indicam desvios ao padrão de aleatoriedade para alguns patossistemas, inclusive à ferrugem da folha do trigo (Rouse *et al.* 1980). Estes resultados são importantes para a construção de modelos de progresso de epidemias de ferrugem da folha que sejam mais próximos do mundo real. Os modelos de epidemias, principalmente, os que tratam de descrever a curva de progresso da doença partem da premissa que todo o processo é aleatório (Paul *et al.* 1981). Recentemente,

WILLOCQUET, 2004 propôs uma escala hierárquica de dispersão de esporos que considera a auto e allo-deposição. A auto-deposição seria a denominação dada para os esporos de uma determinada lesão serem disseminados no próprio órgão (por exemplo, folha) onde está localizada a lesão, ou ainda para outro órgão na mesma planta. Enquanto que allo-deposição refere-se ao transporte do esporo para outra planta. Pavan em 2007, desenvolveu um modelo de simulação da ferrugem da folha do trigo considerando a hierarquia de inóculo proposta por Willocquet and Savary (2004), dividindo a concentração de esporos e, conseqüentemente, as novas infecções em três escalas organizacionais: campo, planta e órgão. Essa forma de organização teve como objetivo estruturar a epidemia numa hierarquia espacial de deposição de esporos: autodeposição, deposição de um propágulo produzido numa lesão localizada na própria folha e allo-deposição, deposição de um propágulo produzido numa lesão localizada em outra folha da mesma planta ou em outra planta. Permite, dessa forma, a incorporação de parâmetros epidemiológicos para a propagação da doença em diferentes escalas, assim como as taxas de autodeposição e allo-deposição dos propágulos.

Isto é especialmente importante quando o modelo de epidemia de ferrugem da folha do trigo, por exemplo, estiver acoplado a um modelo de simulação de crescimento e desenvolvimento do trigo e pretende-se estimar o impacto da doença na produtividade da cultura.

Os resultados aqui encontrados podem ainda ser de valia para outras áreas como, por exemplo, a tecnologia de aplicação de

fungicidas. O padrão de distribuição espacial evidencia a necessidade de qualidade da distribuição dos fungicidas na planta. A importância da auto-deposição na epidemia exige a deposição dos fungicidas nas sub-regiões da folha onde é mais provável que venha a ser formada uma nova lesão.

Além disso, o modelo paramétrico encontrado pode auxiliar para elaborar escalas diagramáticas com maior realismo. Uma das limitações da modelagem espacial aqui proposta é que o tempo não foi usado como um co-fator devido à amostra ser destrutiva. Novos estudos que considerem a preservação da amostra no tempo deverão servir para desenvolver modelos espaciais que considerem além do espaço o fator tempo. Outro tema empolgante é a possibilidade de estudar a distribuição espacial de lesões causadas por diferentes microorganismos na mesma folha. Isto vai exigir o emprego de técnicas multivariadas para o estudo da distribuição das lesões e da interdependência das diferentes lesões.

O nosso estudo demonstrou a viabilidade do uso de imagens digitais, especialmente quando associado a um software específico para determinar as coordenadas da lesão de ferrugem da folha em relação à área foliar. O uso de imagens digitais no estudo de doenças foi relatado com sucesso em outros trabalhos (DÍAZ-LAGO *et al.*, 2003).

CONCLUSÕES

Nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida, os resultados obtidos permitem concluir que:

- 1) A taxa de progresso da ferrugem da folha na cultivar Louro foi alta ($r/\approx 0.38$).
- 2) A distribuição das pústulas da ferrugem da folha do trigo inicia como um processo aleatório e muda para um padrão agregado a medida que avança no tempo.
- 3) Foi possível demonstrar um modelo que representa a intensidade da densidade de lesões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G.N. Plant diseases caused by fungi. In: AGRIOS, G.N. *Plant pathology*. 4th ed. San Diego: Academic Press, p.245-406, 1997.

ANIKSTER, Y.; BUSHNELL, W.R.; EILAM, T.; MANISTERSKI, J.; ROELFS, A.P. *Puccinia recondita* causing leaf rust on cultivated wheats, wild wheats, and rye. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v.75, n.12, p.2082-2086, 1997.

ANNONE, J.G. & NISI, J. *Situación de las royas del trigo en Argentina*. In: SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EM TRIGO, 2003, La Estanzuela. SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO – Resúmenes. La Estanzuela: INIA, p.1, 2003.

AYLOR, D.E. The role of intermittent wind in the dispersal of fungal pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, v.28, p.73-92, 1990.

BADDELLEY, A.; TURNER, R. *Satstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Patterns*. *Journal of Statistical Software*, v.12, p.42, 2005.

BARCELLOS, A. L. & CHAVES, M.S. *Epidemias de ferrugem da folha em cultivares brasileiras de trigo*. Alterações na população do patógeno de 1993 a 2002. In: SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO, 2003, La ESTANZUELA. SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO III Resúmenes. La Estanzuela: INIA, p.13, 2003a.

BARCELLOS, A.L. & IGNACZAC, J.C. *Efeito da ferrugem da folha em diferentes estádios de desenvolvimento do trigo*. In: REUNIÃO ANUAL CONJUNTA DE PESQUISA DE TRIGO, 10, Porto Alegre, 1978. SOLOS E TÉCNICAS CULTURAIS, ECONOMIA E SANIDADE. Passo Fundo, Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. pp. 212-219, 1978.

BERESFORD R. M.; ROYLE D. J. The assessment of infectious disease for brown rust (*Puccinia hordei*) of barley. *Plant pathology*, v.40, n.3, p.374-381, 1991.

BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. Doenças de plantas tropicais: *Epidemiologia e controle econômico*. São Paulo. Ceres. 1996.

BERGER, R. D. Comparison of the Gompertz and Logistic equations to describe plant disease progress. *Phytopathology*, v.71, p.716-719, 1981.

BIFFEN, R.H. Mendel's laws of inheritance and wheat breeding. *J. Agr. Sci*, v.1, p. 4-48, 1905.

BRAMMER, S. et al. *Mapeamento De Genes De Resistência Parcial À Ferrugem Da Folha Em Cultivares Brasileiras de Trigo (Triticum Aestivum L. Em Thell)*. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade de Passo Fundo, 2000. Disponível em: http://www.redbio.org/portal/encuentros/enc_2001/simposios/S-10/Sandra%20Patussi%20Brammer/Artigo-S10%20-S.P.Brammer.pdf>. Acesso em 12 de nov. 2006.

CHAVES, M.S. & BARCELLOS, A.L. Especialização fisiológica de *Puccinia triticina* no Brasil em 2002. *Fitopatologia Brasileira* v.31, p.57-062, 2006.

CHESTER, K.S. The nature and prevention of the cereal rusts as exemplified in the leaf rust of wheat. In *Chronica botanica*. Waltham, MA, USA, p.269, 1946.

CUMMINS, G.B. & CALDWELL, R.M. The validity of binomials in the leaf rust fungus complex of cereals and grasses. *Phytopathology*, v.46, p. 81-82, 1956.

CURTIS, B. C. Improvement in the production. *International center of improvement of the Maize and wheat (CIMMYT)*, 2002.

DÍAZ-LAGO, J. E.; STUTHMAN, D. D.; LEONARD, K. J. Evaluation of components of partial resistance to oat crown rust using digital image analysis. *Plant Dis*, v.87, p.667-674, 2003.

CANDOLLE, A. Uredo rouille des cereales. In *Flora française, famille des champignons*, p.83, 1815.

EDELSTEIN-KESHET, L. *Mathematical models in biology*. New York: *McGraw-Hill*, 1988.

EZZAHIRI, B., DIOURI, S. & ROELFS, A.P. 1992. The-Role of the alternate host, *Anchusa italica*, in the epidemiology of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* on durum wheats in Morocco. In F.J. Zeller & G. Fischbeck, eds. *Proc. 8th European and Mediterranean Cereal Rusts and Mildews Conf.*, p. 69-70, 1992. Heft 24 Weihenstephan, Germany.

FELICIO, J. C. *Rendimento de grãos de trigo e sua relação com as doenças e variáveis climáticas em Capão Bonito de 1991 a 2001*. Bragantina, Campinas, v.52, n.1, p.93-103, 2004.

FEUILLET, C.; KELLER, B. 2005. Molecular markers for disease resistance: The example wheat. In: *Molecular marker systems in plant breeding and crop improvement / ed. by H. Lörz ... [et al.]*. -Berlin : Springer. (*Biotechnology in agriculture and forestry*), v.55, p.353-370, 2005.

FLOR, H.H. The complementary genetic systems in flax and flax rust. *Adv. Genet.*, v.8, p.29-54, 1956.

GATRELL, A.C.; BAILEY, T. C.; DIGGLE P. J.; ROWLINGSON, B. S. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Royal Geographical Society* (with the Institute of British Geographers), p.256-274, 1996.

GERMAN, S. *Situación de las royas del trigo en Uruguay y comportamiento de cultivares comerciales*. In: SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO, 2003, La Estanzuela. SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO. Resúmenes. La Estanzuela: INIA, p.5, 2003.

HASABNIS, S. N., JOI, M. B., SHINDE, V. K., ILHE, B. M. Author Affiliation: Regional Wheat Rust Research Station, Mahabaleshwar 412 806, India. Document Title: *Agricultural Science Digest*, v. 23, n.1, p.6-9, 2003.

HIRST J.M., HURST G.W. Long-distance spore transport. In: Airborne Microbes. 17th Symp. *Soc. Gen. Microbiol.* Imperial College, London, p.307–344, 1967.

KLOPPERS, F. J.; PRETORIUS, Z. A. Effects of combination amongst genes Lr13, Lr14, and Lr37 on components of resistance in wheat to leaf rust. *Plant Pathology*, v.46, p.737-750, 1997.

KOLMER, J. A. Virulence in *Puccinia recondita* f. sp. tritici isolates from Canada to genes for adult-plant resistance to wheat leaf rust. *Plant Disease*, v.81, p.267-271, 1997.

KOLMER, J. A.; LONG D. L.; HUGHES M. E. *Physiologic Specialization of Puccinia triticina on Wheat in the United States.* USDA-ARS Cereal Disease Laboratory, Department of Plant Pathology, University of Minnesota, *Plant diseases*, St. Paul 55108, 2005.

KOLMER, J.A., LONGO, D.L., HUGHES, M.E. Physiologic Specialization of *Puccinia triticina* on Wheat in the United States. *Plant diseases*, v.90, p.1219 – 1224, 2006.

KRUGNER, T.L.; BACCHI, L.M.A.A. Fungos. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Eds.). *Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*. 3. ed. São Paulo: *Agronômica Ceres*, v.1, p.46-96, 1995.

KUHN, R. C., OHM, H. W., and SHANER, G. E. Slow leaf-rusting resistance in wheat against twenty-two isolates of *Puccinia recondita*. *Phytopathology*, v.68, p.651-656, 1978.

JACOBS, TH., & L. BROERS. The inheritance of host plant effect on latency period of wheat leaf rust in spring wheat. I: Estimation of gene action and number of effective factors in F1, F2 and backcross generations. *Euphytica*, v. 44, p.197-206, 1989.

LONG, D. L., LEONARD, K. J., AND HUGHES, M. E. Virulence of *Puccinia triticina* on wheat in the United States from 1996 to 1998. *Plant Dis.*, v.84, p.1334-1341, 2000.

LUIG, N.H. Epidemiology in Australia and New Zealand. In A.P. Roelfs & W.R. Bushnell, eds. *Cereal rusts*, v. 2, *Diseases, distribution, epidemiology, and control*, p.301-328, 1985. Orlando, FL, USA, Academic Press.

MADARIAGA. R.B. & MELLADO, M.Z. *Resistencia a royas en trigo*. Informe de Chile. In: SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO, 2003, La Estanzuela. SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO. Resúmenes. La Estanzuela: INIA, p.3, 2003.

MAINS, E.B. & JACKSON, H.S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*, v.16, p.89-120, 1926.

MARASAS, CN, SMALE M, SINGH RP (2002) The impact of agricultural maintenance research: the case of leaf rust resistance breeding in CIMMYT-related spring bread wheat. CD-ROM Proc. Int. Conf. On *Impacts of Agricultural Research and Development*, San Jose, Costa Rica, 4-7 Feb. 2002 (CIMMYT, Mexico).

MARK A. M.; NATALIE P. G. Leaf, Stem and Stripe Rust Diseases of Wheat. Extension Agronomist, Extension *Plant Pathologist*, Guide A-415, 2003.

MEHTA, Y. R.; ZADOKS, J. C. Uredospore production and sporulation period of *Puccinia recondita* f. sp. *tritricina* on primary leaves of wheat. *Journal of Plant Pathology*, v.16, p.267-276, 1970.

NAGARAJAN S., SINGH D.V., Long-distance dispersion of rust pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 139-153, 1990.

NIKS, R.E. Variation of the morphology mycelial between the species and the speciales of the formae of mushrooms of the oxidation of the cereals and of the grams. *Canadian newspaper of Botany*. v.64, p.2976-2983, 1986.

PARLEVLIT, J. E. Partial resistance of barley to leaf rust, *Puccinia hordei*. I. Effect of cultivar and development stage on latent period. *Euphytica*, v.24, p.21-27, 1975.

PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. C. Efeito do tratamento de sementes com fungicida sobre o controle de doenças na parte aérea do trigo. *Fitopatol. bras.*, v.28, n.5, p.515-520, Sept./Oct. 2003. ISSN 0100-4158.

PICININI, E.C.; FERNANDES, J.M.C. Efeito de diferentes fungicidas sobre o rendimento de grãos, sobre o peso do hectolitro e sobre o controle da ferrugem da folha (*Puccinia recondita* f.sp. tritici) em trigo, cultivar BR 43. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.20, p.319, 1995.

PRETORIOUS, Z. A., KLOPPERS F. J., and DRIJEPONDT, S. C. Effect of inoculum density and temperature on three components of leaf rust resistance controlled by Lr34 in wheat. *Euphytica*, v.74, p.91-96, 1994.

R Development Core Team R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2007. ISBN 3-900051-07-0. Disponível: <http://www.R-project.org>.

RAFIKOV, Marat ; PANSERA-DE-ARAUJO, M. C. ; PETERSEN, C. J. . Aplicacion de Modelaje Matematico En El Manejo Integrado Y En El Control de Las Plagas de Soya. *Información Tecnológica*, LA SERENA, CHILE, v.9, n.4, p. 71-76, 1998.

RAJARAM, S., SINGH, R.P. & VAN GINKEL, M. Approaches to breed wheat for wide adaptation, rust resistance and drought. In R.A. Richards, C.W. Wrigley, H.M. Rawson, G.J. Rebetzke, J.L. Davidson & R.I.S. Brettell, eds. *Proc. 8th Assembly Wheat Breeding Society of Australia*. Canberra, The Australian National University., p.2-30, 1996.

RAJARAM, S. & VAN GINKEL, M. A guide to the CIMMYT bread wheat section. In *Wheat Special Report*, n.5. Mexico, DF, CIMMYT, 1996.

RASBAND, WS. *ImageJ*, US. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>, 1997-2006.

REIS, E.M., CASA, R.T., HOFFMANN, L.L. & MENDES, C.M. Effect of leaf rust on wheat grain yield. *Fitopatologia Brasileira*, v.25, p.67-71, 2000.

REIS, E.M., CASA, R.T. & FORCELINI, C.A. Relação entre a severidade e a incidência da ferrugem da folha do trigo, causada por *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. *Fitopatologia Brasileira*, v.21, p.369-372, 1996.

REIS, E. M.; LEITES, A.; FORCELINI, C. A. Relações entre intensidade da doença, refletância da radiação solar e rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha de trigo Embrapa 16. *Fitopatologia Brasileira*. Brasília, v.31 n.5, 2006.

REUNIÃO DA COMISSÃO CENTRO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. *Indicações técnicas da comissão centro sul-brasileira de pesquisa de trigo e triticale para a safra de 2005*. Cruz Alta, RS: FUNDACEP, p.162, 2005.

ROELFS, A. P., SINGH, R. P. & SAARI, E. E. Rust Diseases of Wheat: *Concepts and methods of disease management*. Mexico, D. F.: CIMMYT, 1992.

ROELFS, A.P. 1982. Effects of barberry eradication on stem rust in the United States. *Plant Dis.*, v.66, p.177-181.

ROELFS A.P., Epidemiology in North America, in: Roelfs A.P., Bushnell W.R. (Eds.), The cereal rusts, Volume II, *Diseases, distribution epidemiology and control*, Academic Press, Orlando, pp.403-434, 1985.

ROELFS, A.P. & MARTELL, L.B. Ure-dospore dispersal from a point source within a wheat canopy. *Phytopathology*, v.74, p.1262-1267, 1984.

ROUSE, D. I.; NELSON, R. R. & MACKENZIE, D. R. A Stochastic model of horizontal resistance based on frequency distributions. *Phytopathology*, p.951 - 954, 1980.

ROWELL, J.B. Control of wheat stem rust by low receptivity to infection conditioned by a single dominant gene. *Phytopathology*, v.72, p.297-299, 1982.

RUBIALES, D.; NIKS, R. E. 1995. Characterization of *Lr34*, a major gene conferring nonhypersensitive resistance to wheat leaf rust. *Plant Dis.*, v.79, p.1208-1212, 1995.

SAARI, E.E.; PRESCOTT, J.M. World distribution in relation to economic losses.. In A.P. Roelfs and W.R. Bushnell (eds.), *The Cereal Rusts Volume II: Diseases, Distribution, Epidemiology and Control*. London and Orlando: Academic Press. p.259-298, 1985.

SACHE, I. Effect of density and age of lesions on sporulation capacity and infection efficiency in wheat leaf rust (*Puccinia recondita* f.sp. tritici). *Plant Pathology*, v.46, n.4, p.581-589, 1997. Disponível em: <http://www.blackwellenergy.com/doi/abs/10.1046/>

SACHE, I. *Short-distance dispersal of wheat rust spores by wind and rain*. INRA, Laboratoire de Pathologie Végétale, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France (Received 1 February 2000; revised 23 June 2000; accepted 3 August 2000).

SAVILE, D.B.O. Taxonomy dos fungos da oxidação do cereal. *As no cereal oxidam* p.79-112, 1984., V. 1. editado por W.R. Bushnell e A.P. Roelfs. Pressão académico Orlando, FL. 1984.

SHANER, G.; OHM, H. W.; FINNEY, R. E. Response of susceptible and slow leaf rusting wheats to infection by *Puccinia recondita*. *Phytopathology*, v.68, p.471-475, 1978.

SHANER, G. Growth of uredinia of *Puccinia recondita* in leaves of slow- and fast-rusting wheat cultivars. *Phytopathology*, v.73, p.931-935, 1983.

SINGH, R.P.; RAJARAM, S. Genetics of adult-plant resistance to leaf rust in 'Frontana' and three CIMMYT wheats. *Genome*, v.35, p.24-31, 1992.

SINGH R.P.; HUERTA-ESPINO, J.; ROELFS, A.P. The wheat rusts. Food and Agriculture Organization Of The United Nations Rome, *FAO Plant Production and Protection Series*, n. 30, 2002.

STONEHOUSE, J. Assessment of Andean bean diseases using visual keys. *Plant Pathology*, v. 43, n. 3, p. 519-527, 1994.

STUBBS, R.W., PRESCOTT, J.M., SAARI, E.E. & DUBIN, H.J. *Cereal disease methodology manual*. Mexico, DF, CIMMYT, p.46, 1986.

SUBBARAO, K. V., YANG, X. B. and SNOW, J. P. A model to estimate disease on cereal leaves at different positions from whole plant severity data. *Phytopathology*, v.82, p.184-190, 1992.

TUCKER C. C.; CHAKRABORTY S. Quantitative assessment of lesion characteristics and disease severity using digital image processing. *Journal of Phytopathology*, v.145, p.273-278, 1997.

VALLAVIEILLE, P. C.; GIOSUÉ S.; MUNK L. ; NEWTON A.C.; NIKS R.E.; ØSTERGÅRD H.; PONS-KÜHNEMANN J.; ROSSI V.; SACHE I. Assessment of epidemiological parameters and their use in epidemiological and forecasting models of cereal airborne diseases, *Agronomie 20*, p.715-727, 2000.

VAN DER PLANK, J. E.: Epidemics and control. Academic Press, New York. *Plant Diseases*, 1963.

VIEDMA, L.Q. *Identificación y utilización de resistencia genética durable a royas en trigo*. In: SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO, 2003, La Estanzuela. SEMINARIO INTERNACIONAL RESISTENCIA A ROYAS EN TRIGO. Resúmenes. La Estanzuela: INIA, p.4, 2003.

ZADOKS, J.C. & BOUWMAN, J.J. Epidemiology in Europe. In A.P. Roelfs & W.R. Bushnell, eds. *The cereal rusts, Diseases, distribution, epidemiology, and control*, v.2, p.329-369, 1985. Orlando, FL, USA, Academic Press.

WAGGONER, P. E.; RICH, S. Lesion distribution, multiple infection, and the increase of plant disease. *PNAS (Applied Mathematics)*, v.78, p.8292-3295, 1981.

WATSON, I.A. & DE SOUSA, C.N.A. Long distance transport of spores of *Puccinia graminis tritici* in the Southern Hemisphere. In *Proc. Linn. Soc. N.S.W.*, v.106, p.311-321, 1983.

WILLOCQUET, L., SAVARY, S. An epidemiological simulation model with three scales of spatial hierarchy. *Phytopathology*, v.94, p.883-891, 2004.