

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise da tolerância de
genótipos de soja à ferrugem asiática**

Luciana Celeste Carneiro

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Fitopatologia**

Piracicaba

2007

Luciana Celeste Carneiro
Engenheiro Agrônomo

Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise da tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática

Orientador:
Prof^a. Dra. LILIAN AMORIM

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitopatologia

Piracicaba
2007

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Carneiro, Luciana Celeste

Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise da tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática / Luciana Celeste Carneiro. - - Piracicaba, 2007.

75 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Epidemiologia 2. Ferrugem (doença de planta) 3. Genótipos 4. Resistência genética vegetal 5. Soja I. Título

CDD 633.34

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

AGRADECIMENTOS

Aos alunos Tiago Nascimento Costa, Clévio Rocha de Jesus e Alair Dias de Lima Neto, e ao técnico de laboratório Gerson Santana de Ferreira pelo auxílio inestimável na condução dos experimentos e na coleta de dados.

À LÍlian Amorim, pela valiosa orientação e pela amizade.

Aos docentes do Curso de Agronomia do Campus Jataí da Universidade Federal de Goiás pelo incentivo e apoio à realização do Doutorado, especialmente aos colegas Robson Bonomo e Américo Nunes da Silveira Neto, pelo auxílio técnico na implantação dos experimentos e Fernando Simões Gielfi, pelo auxílio na etapa final, assumindo minha atividade docente.

Aos funcionários do campo experimental, que tanto contribuíram nas etapas de plantio, manutenção e na colheita dos experimentos.

À Fundação Educacional de Jataí pela liberação de minhas atividades, em tempo integral, para a realização deste trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

A Dr^a. Cláudia Vieira Godoy pela sugestão do tema desta Tese e pelas informações que facilitaram a condução dos experimentos.

Aos colegas de pós-graduação Gleiber Q. Furtado e Silvio A. M. Alves por compartilharem seus conhecimentos prévios sobre a ferrugem asiática da soja.

Ao Eng Agrônomo Pedro Manoel Monteiro (AGENCIARURAL) pela sugestão das linhagens que fizeram parte do trabalho e ao Dr. José Nunes Filho (CTPA), pelo fornecimento das sementes.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1 INTRODUÇÃO	7
2 DESENVOLVIMENTO	9
2.1 Revisão Bibliográfica	9
2.1.1 Etiologia e distribuição mundial	9
2.1.2 Sintomatologia	13
2.1.3 Epidemiologia	14
2.1.4 Resistência genética e variabilidade do patógeno	17
2.2 Material e Métodos	22
2.2.1 Local e época de plantio	22
2.2.2 Preparo da área, instalação e condução dos ensaios	22
2.2.3 Caracterização dos cultivares e linhagens	23
2.2.4 Determinação dos estádios fenológicos da cultura	25
2.2.5 Delineamento experimental	26
2.2.5.1 Caracterização epidemiológica da resistência parcial	26
2.2.5.2 Análise da tolerância	26
2.2.6 Variáveis analisadas	28
2.2.6.1 Severidade	28
2.2.6.2 Índice de área foliar e número de trifólios	29
2.2.6.3 Componentes de produção e produtividade	30
2.2.7 Análise de dados	30
2.2.7.1 Caracterização epidemiológica da resistência parcial	30
2.2.7.2 Análise da tolerância	32
2.3 Resultados e Discussão	33
2.3.1 Caracterização epidemiológica da resistência parcial	33
2.3.2 Análise da tolerância	45
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	67
ANEXO	75

RESUMO

Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise da tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência parcial e a tolerância à ferrugem asiática, em sete cultivares comerciais e três linhagens de soja. Os ensaios foram conduzidos no município de Jataí, GO, no ano agrícola de 2005/2006. Ensaio distintos foram realizados para avaliação da resistência parcial e para avaliação da tolerância, todos repetidos em três épocas de plantio, a fim de se obter intensidade variável da doença em diferentes estádios fenológicos da cultura. Nos ensaios para avaliação da resistência parcial, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados com cinco repetições e cada parcela experimental foi composta por cinco linhas de seis metros de comprimento. A severidade da doença foi estimada em intervalos semanais, a partir do surgimento dos primeiros sintomas até a desfolha completa. Os dados foram analisados por meio de regressão não linear e o modelo logístico foi o que apresentou melhor ajuste. As curvas de progresso da doença para os cultivares EMGOPA-315, Luziânia, Pintado, Conquista, COODETEC-219 e para as linhagens 1, 2, e, 3 não apresentaram estabilização assintótica da severidade em função da desfolha precoce, ficando evidente apenas a fase exponencial de crescimento da doença. As epidemias apresentaram comportamento explosivo e foram muito semelhantes, demonstrando que esses genótipos foram igualmente susceptíveis ao patógeno. Os cultivares Tianá e EMGOPA-313 foram os únicos que apresentaram estabilização assintótica da severidade, em níveis muito abaixo de 1, o que evidenciou a presença de resistência parcial nesses cultivares. Nos ensaios para avaliação da tolerância, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados com cinco repetições, com delineamento dos tratamentos em parcelas subdivididas. As parcelas (5 linhas de 12 m de comprimento) foram compostas pelos genótipos, e as subparcelas (5 linhas de 6 m de comprimento), pelo tratamento ou não com fungicida tebuconazole ($0,5 \text{ L.ha}^{-1}$) para controle da ferrugem. A severidade da doença foi estimada uma única vez e a tolerância foi avaliada pela análise estatística da diferença de produtividade, peso de mil grãos e de número de vagens e grãos por planta, entre subparcelas tratadas e não tratadas com fungicida, em cada época de plantio. Nenhum genótipo avaliado mostrou-se tolerante à ferrugem asiática da soja.

Palavras-chave: *Glycine Max*; *Phakopsora pachyrhizi*; Resistência de planta a doença

ABSTRACT

Epidemiological characterization of partial resistance and evaluation of tolerance to Soybean Asian Rust on soybean genotypes

This work aimed the evaluation of partial resistance and tolerance to soybean asian rust on seven soybean genotypes and 3 lines. The research was conducted at Jataí, GO, during the growing season of 2005/2006. Experiments for partial resistance evaluation were carried out separately from experiments to evaluate tolerance, and in order to have different levels of disease severity, on different soybean growth stages, three trials for each experiment were carried out, each one with a different planting date during the season. Experiments for partial resistance evaluation were arranged on a randomized block design and each experimental unit was made by five soybean lines, 6 m long. The disease severity was estimate on week intervals from the first pustules appearance to the total defoliation. Analyses were done by non linear regression and the logistic model presented the best fitness to the observed data. The early defoliation on cultivars EMGOPA-315, Luziânia, Pintado, Conquista, COODETEC-219 and on lines 1, 2, e, 3 did not allowed the disease progress curves to reach asymptotical stabilization and for such genotypes, just the exponential part of the disease growth could be seen. Epidemics presented an explosive growth and the disease progress curves for such genotypes were similar, suggesting that they were similarly susceptible to the pathogen. The cultivars Tianá e E-313 were the only ones that presented asymptotical stabilization of disease and that happened on severity levels much smaller than 1, what was considered an evidence of partial resistance on those cultivars. Experiments conducted for tolerance evaluation were arranged in a split plot design with five replicates. The main plots (5 soybean rows, 12 m long) were composed by the soybean genotypes and the subplots (5 soybean rows, 6 m long) were those with or without fungicide (tebuconazole 500 mL.ha⁻¹) application for rust control. Disease severity was estimate only once and tolerance was evaluated by the statistical analyses of difference of yield, thousand grain weight and pod and grain numbers, between treated and untreated subplots. None soybean genotypes analyzed presented tolerance to soybean asian rust.

Keywords: *Glycine max*; *Phakopsora pachyrhizi*; Plant disease resistance

1 INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* chegou à América do Sul em 2001 e rapidamente disseminou-se pelas principais regiões produtoras de soja do Brasil. A doença mostrou-se altamente agressiva, provocando desfolha precoce nas plantas, causando danos que chegam a 80% da produção. Atualmente essa é a principal doença da cultura da soja no Brasil e o controle químico, até então, é a única medida eficaz para a redução de danos. Em média, são feitas 2,3 aplicações de fungicida por safra, o que eleva bastante o custo de produção da cultura. Na safra 2005/2006, o custo da ferrugem no Brasil foi de US\$ 2,9 bilhões, incluindo o custo do fungicida, custo da aplicação, e os danos à produção, pois os fungicidas não são completamente eficientes. Duas medidas de manejo vêm sendo adotadas pelas principais regiões produtoras de soja do Brasil, com o objetivo de reduzir o número de aplicações de fungicidas. A primeira é o “vazio sanitário”, medida legislativa, que, por meio de instruções normativas de cada Estado, proíbe o cultivo da soja no período da entressafra e exige a eliminação de plantas voluntárias da cultura nos campos de cultivo e adjacências, como beiras de rodovias, por exemplo. Essa medida visa à redução do inóculo inicial do patógeno a fim de atrasar, o máximo possível, o início da epidemia. Outra medida é o uso de cultivares de ciclo precoce com semeadura no início da estação de cultivo. Assim, o início da epidemia, já atrasada pela redução do inóculo inicial, ocorre quando as plantas já estão em fase adiantada do desenvolvimento, com boa parte da produção já garantida. Nessas condições, o controle químico torna-se mais eficiente e requer menor número de pulverizações.

Paralelamente à adoção de medidas emergenciais de manejo, trabalhos de pesquisa assumem o desafio de levantar informações sobre a variabilidade do patógeno e a epidemiologia da doença. Atenção grande tem sido dada à construção de modelos de previsão e dano. Resultados recentes apontam que nas condições brasileiras, a severidade da doença apresenta alta correlação com a precipitação.

O histórico de sucesso do Brasil no controle genético de doenças importantes da cultura da soja, como a mancha olho de rã (*Cercospora sojina*), o cancro da haste da soja (*Phomopsis phaseoli* f. sp. *meridionalis*) e o nematóide do cisto (*Heterodera glycines*), gerou grande expectativa quanto à possibilidade da utilização, em curto prazo, da resistência vertical no controle da doença. Em época anterior à chegada do patógeno no continente americano,

programas brasileiros de melhoramento de soja já haviam incorporado os quatro genes maiores de resistência a *P. pachyrhizi* conhecidos. Nos primeiros anos de epidemia no Brasil, contudo, a resistência conferida pelos quatro genes foi quebrada quando os materiais foram cultivados no Centro-Oeste brasileiro. A ineficiência da resistência vertical em função da alta variabilidade genética apresentada pelo patógeno, direcionou a atenção dos melhoristas para a seleção de genótipos com resistência parcial e tolerância à doença. A resistência parcial tem como característica a redução da taxa de progresso da doença. Já a tolerância confere a um determinado cultivar, a capacidade de manter boa produção, mesmo sob ataque severo do patógeno. Ambas não impedem a manifestação da doença, mas apresentam a vantagem de serem efetivas contra todas as raças do patógeno. Caso venham a ser utilizadas, podem contribuir para a redução do uso de fungicidas em programas de manejo da doença.

Até o momento nenhum cultivar com resistência parcial ou tolerância foi lançado, mas provavelmente seja uma questão de tempo para que isso ocorra, pois nos programas de melhoramento de soja, a seleção de genótipos com resistência parcial e tolerância tornou-se prioritária. Neste trabalho, dez genótipos de soja entre linhagens e cultivares comerciais, foram avaliados em ensaios de campo conduzidos no estado de Goiás, no ano agrícola de 2005/2006. O objetivo do trabalho foi fazer a caracterização epidemiológica da resistência parcial, por meio de análise de curvas de progresso da epidemia, e detectar a ocorrência de tolerância, por meio da comparação da produtividade entre parcelas com diferentes níveis da doença.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Etiologia e distribuição mundial

A ferrugem da soja tem como agente etiológico, duas espécies do gênero *Phakopsora*: *P. meibomiae*, agente causal da “ferrugem americana” e *P. pachyrhizi*, agente causal da “ferrugem asiática”. *P. pachyrhizi* é a espécie responsável pelas recentes epidemias da doença no Brasil e *P. meibomiae*, embora já fosse encontrada desde a década de 70 no Brasil e Estados Unidos, não causa danos significativos à produção. Provavelmente *P. pachyrhizi* tenha migrado da Ásia e, via continente africano, atingido a América (ALMEIDA et al., 2005).

P. pachyrhizi foi primeiramente relatada no Japão, em 1903. Nas primeiras décadas daquele século a ferrugem da soja foi descrita por todo hemisfério oriental, mas com registros de epidemias severas apenas nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia e Austrália (BROMFIELD, 1984; HARTMAN; WANG, SHANMUGASUNDARAM, 1997; SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Somente na década de 90 a doença foi registrada no continente africano, atingindo inicialmente os países próximos à fronteira com a Ásia e avançando, posteriormente, aos países meridionais do continente, até atingir a África do Sul em 2001. Os maiores danos foram registrados em Uganda, Kenya, Ruanda, Zâmbia, Zimbábue, Moçambique e África do Sul (KAWUKI; TUKAMUHABWA; ADIPALA, 2004; LEVY, 2005). Na safra 2001/2002 a ferrugem asiática causada por *P. pachyrhizi* foi encontrada pela primeira vez na América do Sul, no Paraguai e em lavouras comerciais dos Estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul e na Argentina. Na safra seguinte, focos da doença foram observados em 250 municípios espalhados por todo Brasil, abrangendo Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Maranhão e Rondônia (YORINORI et al., 2002; YORINORI et al., 2005, ROSSI, 2003; IVANCOVICH, 2005). Na safra 2003/2004 o estado do Pará apresentou o primeiro foco da doença e atualmente Roraima é o único Estado brasileiro onde a soja é cultivada comercialmente e a doença não foi relatada. Nos demais países sul-americanos o patógeno foi detectado na Bolívia em 2003, na Colômbia e Uruguai em 2004, quando também o primeiro foco

foi registrado nos Estados Unidos (EMBRAPA soja, 2007, SCHENEIDER; HOLLIER; WHITAM, 2005).

Na década de 70 do século passado dois registros isolados da ferrugem da soja foram feitos no Continente Americano, um em Porto Rico, em 1976 (BROMFIELD, 1984) e outro no Brasil, em 1979 (DESLANDES, 1979). A constatação da ferrugem no novo mundo significou uma ameaça a sojicultura nacional e norte americana, pois o patógeno vinha causando danos severos à cultura da soja nos países asiáticos. Contudo a doença não se desenvolveu da forma agressiva como era temido e foram relatados apenas danos esporádicos à cultura nos municípios mineiros de São Gotardo e Presidente Olegário e no Distrito Federal, na safra 1990/1991 (YORINORI, 1997; CARVALHO; FIGUEIREDO, 2000). Os Estados Unidos, já nessa época o maior produtor mundial de soja, deram início a uma série de trabalhos de pesquisa sobre a doença, tanto nos Estados Unidos, em casa de vegetação, como no ASIAN VEGETABLE RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER (AVRDC), em Taiwan. Os sintomas brandos causados pelo patógeno nas primeiras observações da doença no hemisfério ocidental levaram Bonde e Brown (1980) a estudarem, comparativamente, isolados provenientes de Taiwan e de Porto Rico quanto às características morfológicas e infectivas do patógeno. A morfologia e os processos de pré-penetração, penetração e colonização não foram diferentes entre isolados e os pesquisadores observaram diferença apenas nos poros germinativos, contudo insuficientes para que aqueles isolados fossem considerados distintos taxonomicamente. No entanto, populações provenientes do Hemisfério Ocidental eram menos agressivas, produziam lesões com extensivas áreas necróticas e não mais que duas urédias, ao contrário das populações de *Phakopsora* proveniente da Ásia, bastante agressivas, com lesões com mais de dois soros urediniais e sem áreas necróticas (BONDE; BROWN, 1980). A comparação de isoenzimas de populações do patógeno provenientes dos hemisférios oriental e ocidental realizada por Bonde, Peterson e Dowler (1988) não demonstrou polimorfismo entre populações do mesmo hemisfério, mas evidenciou que populações dos diferentes hemisférios tinham apenas 7% de alelos em comum. Para aqueles autores a espécie *P. pachyrhizi* estava presente em ambos os hemisférios e apresentava populações de comportamento fisiológico distintos. Até 1992 *P. pachyrhizi* era reconhecida como a única espécie causadora da ferrugem da soja, mas Ono, Butiricá e Hennen (1992) desenvolveram estudo minucioso de comparação entre isolados americanos e asiáticos e demonstraram que os isolados da Ásia e Austrália eram distintos morfológicamente e

patologicamente dos isolados americanos, sendo proposta a separação do agente causal da ferrugem da soja em duas espécies: *Phakopsora pachyrhizi*, proveniente do Hemisfério Oriental (Ásia e Austrália) e *Phakopsora meibomiae*, proveniente do Hemisfério Ocidental. A caracterização das duas espécies foi determinada com base na morfologia dos teliósporos e a diferença mais marcante que separa as duas espécies é a espessura da parede celular da porção apical das células da camada mais externa de teliósporos da télia: *P. pachyrhizi* possui a parede celular da porção apical dos teliósporos mais delgadas que a parede celular de *P. meibomiae*, cuja porção apical dos teliósporos tem parede celular mais espessa. Carvalho Júnior e Figueiredo (2000), com base no trabalho de Ono, Buriticá e Hennen (1992) e no histórico de danos esporádicos da doença no Brasil, propuseram ser *P. meibomiae* e não *P. pachyrhizi* o agente etiológico do relato de Deslandes em 1979. Os autores sugeriram, então, que até o ano 2000, ocorria no Brasil, somente *P. meibomiae*.

Como a distinção morfológica das duas espécies é de difícil execução e requer a observação dos soros teliais, que raramente se formam em clima tropical, foram desenvolvidos oligonucleotídeos iniciadores (“primers”) específicos para as duas espécies de *Phakopsora* que, por meio da reação em cadeia pela polimerase (PCR), permitem rapidamente a identificação da espécie (FREDERICK et al., 2002). Por meio de testes biomoleculares, os autores demonstraram, assim como ONO, BURITICA e HENNEN (1992) o fizeram por meio da morfologia dos teliósporos, que duas espécies causavam ferrugem em soja. Isolados de *P. meibomiae* e *P. pachyrhizi* apresentaram apenas 80% de similaridade na seqüência de nucleotídeos. Curiosamente, a aplicação do teste de PCR em material do herbário urediniológico “Victoria Rosseti” do Instituto Biológico detectou infecções mistas das duas espécies de *Phakopsora* em amostras de ferrugem da soja coletadas em Minas Gerais em 1979 e em 1983 (AKAMATSU; FIGUEIREDO; HARAKAVA, 2004). A detecção de *P. pachyrhizi* nestas amostras foi surpreendente, uma vez que não se verificou ataque severo naqueles anos, como é esperado que ocorra na presença de *P. pachyrhizi*. Por meio de PCR em Tempo Real (um aprimoramento do PCR tradicional), verificou-se que a concentração de DNA era 100 vezes maior para ferrugem americana que para a ferrugem asiática. A constatação de que a espécie *P. pachyrhizi* já estava presente no Brasil, sugere que uma raça agressiva chegou ao continente americano no ano de 2001, proveniente provavelmente da África. Apesar da constatação de *P. pachyrhizi* em amostras herbarizadas da década de 80, o primeiro relato da doença por Paiva em 2001 (appud YORINORI

et al., 2002) é considerado o marco inicial da ferrugem asiática no continente americano, uma vez que a partir dessa data a doença foi rapidamente disseminada por todo hemisfério ocidental, e passou a ocorrer em níveis epidêmicos nos principais estados brasileiros produtores de soja, causando danos de 10 a 80% da produção.

P. pachyrhizi é um fungo basidiomiceto da Ordem *Uredinales*, membro da família *Melampsoraceae*. A espécie é descrita pelas sua fase uredinial e telial (ONO; BURITICÁ; HENNEN, 1992) e é incerta a presença das cinco fases que podem ocorrer nos teliomicetos da Ordem *Uredinales*. Na fase uredinial são produzidos os urediniósporos, responsáveis pela fase epidêmica da doença. São ovóides a elipsóides, sésseis, largos, com paredes de 18 a 34 por 15 a 24 μm de espessura, densamente equinulados e coloração variando do incolor a castanho-amarelo pálidos (ALMEIDA et al., 2005). A fase telial ocorre juntamente com a uredinial, sendo que os teliósporos são formados subepidermicamente em camadas de 2 a 7. Nas regiões tropicais não tem sido observada a formação de teliósporos de *P. pachyrhizi* e na China, onde a formação de teliósporos é freqüente, essas estruturas têm se mostrado incapazes de infectar tecidos de soja (SOUZA; ALVES; CASTRO, 2006). No Brasil, Sousa, Alves e Castro (2006) observaram a formação de teliósporos de *P. pachyrhizi* em plantas dos cultivares Uirapuru e Pintado que permaneceram sob temperatura de 15°C por 25 (cultivar Uirapuru) e 30 (cultivar Pintado) dias após o início dos sintomas. A função do estágio telial não é conhecida e os estádios aecial e picnial nunca foram observados (MARCHETTI; UECKER; BROMFIELD, 1975, SOUZA; ALVES; CASTRO, 2006).

Em plantas de soja são observados os estágios uredinial e telial. A fase uredinial também ocorre numa vasta gama de espécies de leguminosas, pois tanto *P. pachyrhizi* quanto *P. meibomiae* tem a capacidade de infectar vários hospedeiros. Em condições de campo, *P. meibomiae* infecta 42 espécies em 19 gêneros e em inoculações artificiais, mais 18 espécies em 12 gêneros se mostram hospedeiros. *P. pachyrhizi* infecta 31 espécies em 17 gêneros naturalmente e quando inoculadas artificialmente, mais 60 espécies em 28 gêneros foram identificados (ONO; BURITICÁ; HENNEN, 1992)

2.1.2 Sintomatologia

Os sintomas causados por *P. pachyrhizi* iniciam-se nas folhas inferiores da planta e são caracterizados por minúsculos pontos (1-2 mm de diâmetro), mais escuros do que o tecido sadio da folha, com coloração esverdeada a cinza-esverdeada. Essas lesões provenientes da fase inicial da infecção não são facilmente visíveis a olho nu, sendo necessário posicionar a folha contra um fundo claro. Correspondentemente aos minúsculos pontos iniciais, observa-se, na parte abaxial da folha, a formação das urédias, que se apresentam como pequenas protuberâncias na lesão. As urédias são predominantes na superfície abaxial do folíolo, mas podem ocorrer, embora raramente, na superfície adaxial. As urédias adquirem coloração variando de castanho-clara a castanho-escura (lesão TAN) e abrem-se em um minúsculo poro, expelindo os urediniósporos. Os urediniósporos, inicialmente de coloração hialina, tornam-se bege, acumulam-se ao redor dos poros e são carregados pelo vento. À medida que prossegue a esporulação, o tecido da folha ao redor das primeiras urédias adquire coloração castanho-clara a castanho-avermelhada, formando lesões que são visíveis em ambas às faces da folha. Os sintomas podem ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento da soja, tanto nos cotilédones, quanto nas folhas e hastes, sendo mais comumente observados nas folhas. As urédias que deixam de esporular apresentam as pústulas com os poros nitidamente abertos. A observação das urédias rompidas é a principal característica que permite a distinção entre a ferrugem da soja com outros sintomas muito semelhantes que ocorrem nos folíolos, como o crestamento e a pústula bacteriana (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* e *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycinea*, respectivamente), a mancha parda (*Septoria glycines*) e lesões causadas por herbicidas pós-emergentes (ALMEIDA et al., 2005).

Três tipos de lesões podem ocorrer quando diferentes cultivares de soja são inoculados com diferentes isolados de *P. pachyrhizi*: lesões tipo “tan”, lesões tipo “RB”, ou lesões tipo 0. O tipo “tan” é caracterizado por lesões de 0,4 mm², usualmente com 2 a 5 urédias na face inferior da folha, 2 semanas após a inoculação e é considerado um sintoma de suscetibilidade do hospedeiro. No sintoma do tipo RB são formadas lesões marrom-avermelhadas (“reddish-brown”) de 0,4 mm², geralmente com 0 a 2 urédias na face inferior da folha, 2 semanas após a inoculação e é um sintoma que indica a resistência associada com hipersensibilidade do hospedeiro. O tipo 0 é a ausência de evidência visível macroscopicamente, indicando imunidade ou situação próxima da imunidade (BROMFIELD; MELCHING; KINGSOLVER, 1980).

A ferrugem causada por *P. pachyrhizi* é altamente agressiva e pode ocorrer em qualquer estágio fenológico da cultura. Plantas infectadas apresentam desfolha precoce, comprometendo a formação e o enchimento de vagens, reduzindo o peso final dos grãos. Quando a doença atinge a soja na fase de formação das vagens ou início da granação, pode provocar aborto e queda das vagens. Nas diversas regiões geográficas onde a ferrugem asiática foi relatada em níveis epidêmicos, os danos variam de 10 a 90% da produção (HARTAMAN; WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997; YANG et al., 1990; SINCLAIR; HARTMAN, 1999; YORINORI et al., 2002; KAWUKI; TUKAMUHABWA; ADIPALA, 2004).

P. meibomiae causa sintomas semelhantes a *P. pachyrhizi*, diferindo principalmente na coloração e número de urédias: as lesões causadas por *P. meibomiae* são de coloração castanho-avermelhada (lesão tipo “Redish-Brown”) e apresentam menor número de urédias (ALMEIDA et al., 2005).

2.1.3 Epidemiologia

A doença tem início quando urediniósporos, dispersos pelo vento, são depositados sobre a superfície intacta de um folíolo de soja. A interação entre patógeno e hospedeiro levará ao surgimento da lesão típica da doença e os diversos eventos que ocorrem entre a deposição até a formação de novos urediniósporos constituem um único ciclo de infecção, ou o monociclo. Estudos sobre a influência de variáveis ambientais, principalmente temperatura e molhamento foliar, nos componentes do monociclo são de grande importância para a compreensão do patossistema e conseqüentemente, para o posterior estabelecimento de medidas de manejo da doença (BERGAMIN FILHO e AMORIM, 1996). Em ensaios *in vitro*, a germinação dos urediniósporos de *P. pachyrhizi* se inicia entre 1 e 2 horas após a inoculação e se estabiliza após 6-8 horas, tanto em ágar como em superfícies revestidas por membranas artificiais ou poliestireno. A faixa ótima de temperatura para germinação varia de 15°C a 25°C, com temperaturas extremas entre 4,1 a 7°C e 28 a 32,4°C (MARCHETTI; MELCHING; BROMFIELD, 1976, ALVES, 2007). Estudos histológicos de microscopia óptica e eletrônica revelaram que o fungo emite um tubo germinativo de aproximadamente 20 µm de comprimento (MARCHETTI; MECHING; BROMFIELD, 1976), podendo variar de 5 a 400µm (BONDE; MELCHING; BROMFIELD, 1976, KOCH; EBRAHIM-NESBAT; HOPPE, 1983). A formação

do apressório inicia-se dentro de 2 a 4 horas de incubação sob 8 a 30°C, numa faixa mais favorável entre 15 e 25°C (BONDE; MELCHING; BROMFIELD, 1976, ALVES, 2007). Sobre superfície de poliestireno, a formação do apressório foi crescente com o aumento do período de molhamento até 12 horas a 20°C, quando 71% dos urediniósporos germinados formaram apressórios (ALVES, 2007).

Uma particularidade do processo infeccioso do patossistema *P. pachyrhisi*-soja, em relação às outras ferrugens, é a penetração direta do patógeno pela cutícula do hospedeiro. Na maioria das ferrugens a penetração de urediniósporos ocorre pela abertura do estômato, mas Koch, Ebrahim-Nesbat e Hoppe (1983) excluíram a possibilidade da penetração estomatal por *P. pachyrhizi*, uma vez que mesmo quando apressórios foram formados sobre estômatos, a penetração ocorreu por uma das células guarda, e não pela abertura estomatal. Nas ferrugens, de um modo geral, a especificidade do hospedeiro se dá pela habilidade do tubo germinativo em localizar e reconhecer o estômato da planta hospedeira. Como em *P. pachyrhizi*, não foi observado crescimento direcional do tubo germinativo e o apressório foi formado mesmo na ausência de superfície específica do hospedeiro, foi sugerido que o crescimento do tubo germinativo de *P. pachyrhizi* é induzido inespecificamente e talvez por isso o fungo seja capaz de penetrar em pelo menos 87 espécies vegetais (KOCH; EBRAHIM-NESBAT; HOPPE, 1983; KOCH; HOPPE, 1988). Zambenedetti (2005) por meio de microscopia eletrônica, também observou que a germinação dos urediniósporos ocorreu de forma aleatória sobre a superfície do hospedeiro, mas a formação dos apressórios foi verificada nas junções das células epidérmicas. Após a penetração, a colonização é feita pelo crescimento de micélio intercelularmente. Em observações histológicas, foi possível observar hifas do fungo no espaço intercelular após 20 horas da inoculação e a formação dos primeiros haustórios ocorre entre 24 e 48 horas após a germinação (KOCH; EBRAHIM-NESBAT; HOPPE, 1983). Os primórdios de urédia foram observados entre 5 e 7 dias, a diferenciação dos urediniósporos aos 7 dias e o rompimento da epiderme aos 9 dias após a inoculação (MARCHETTI; MELCHING; BROMFIELD, 1976).

Em trabalhos conduzidos em casa-de-vegetação e em câmaras de crescimento, foi determinado que o período mínimo de molhamento foliar para infecção em folíolos de soja é de 6 horas, sob a faixa de temperatura entre 15°C e 27,5°C (MELCHING et al., 1989; ALVES, 2007). A análise do efeito combinado do molhamento foliar e temperatura demonstrou que o período de molhamento e temperatura ótimos foram 24 horas e 20°C. O tamanho médio da lesão não foi

influenciado pelas variações de temperatura e de período de molhamento e o período latente mínimo foi de 9 dias, na temperatura de 22,5°C. Sob 10 °C o fungo foi capaz de infectar somente em períodos de molhamento superiores a 8 horas, porém com período latente mais prolongado que o observado na faixa ótima (ALVES, 2007). Alves (2007) também demonstrou que, uma vez estabelecida a infecção dentro da faixa ótima de temperatura e de molhamento foliar, o patógeno foi capaz de colonizar o tecido, mesmo sob a temperatura de 30°C, letal para o processo infeccioso. Contudo, sob 30°C, os períodos de incubação e de latência foram de 6 e 12 dias, respectivamente, contra 4 e 9 dias quando a colonização ocorreu sob a temperatura ótima de 23°C. O período infeccioso foi estimado em aproximadamente 4 semanas (MARCHETTI; EUCKER; BROMFIELD, 1975), mas como novas urédias são formadas, a esporulação só cessa quando a folha se destaca da planta. O padrão de esporulação é de vários picos de produção de esporos (MELCHING et al., 1989).

A precipitação parece ser um fator crítico para o desenvolvimento da ferrugem da soja. Em Taiwan, num ensaio realizado em diversas localidades, a doença se desenvolveu mais rapidamente nas localidades onde a distribuição das chuvas ocorreu de maneira uniforme ao longo da estação; já nas localidades onde a distribuição das chuvas foi irregular, a doença desenvolveu-se mais lentamente (TCHANZS, 1982, appud HARTMAN; WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997). Similarmente, dados de severidade da doença obtidos de diferentes regiões do Brasil, com distintos regimes pluviométricos, demonstraram alta correlação com a precipitação (DEL PONTE et al., 2006).

Diversos estudos epidemiológicos foram desenvolvidos para relacionar componentes da doença com variáveis climáticas e com produtividade, a fim de prover informações auxiliares a modelos de previsão e dano (YANG et al, 1990; YANG et al, 1991; HARTMAN; WANG; TSCHANZ, 1991; PIVONIA; YANG, 2004; REIS; SARTORI; CÂMARA, 2004; PIVONIA; YANG, 2006). Uma revisão sobre os modelos de previsão e de avaliação de risco para a ferrugem asiática foi elaborada por Del ponte et al. (2007). Pivonia e Yang (2004) desenvolveram um modelo baseado em dados climáticos e em informações sobre condições ambientais de estresse para *P. pachyrhizi*. O objetivo era detectar as localizações geográficas com maior e menor potencial de sobrevivência de *P. pachyrhizi* na entressafra. Observaram que a doença ocorre mais agressivamente em localizações onde o patógeno tem maiores condições de sobrevivência de uma safra para outra, como é o caso da América do Sul. Os autores previram

que se a doença atingisse os Estados Unidos, a sobrevivência do patógeno seria possível somente nos Estados da Flórida e na porção sul do Texas. A ocorrência da doença ao norte do país, onde estão os principais Estados produtores de soja, seria dependente da dispersão de urediniósporos da região sul para a região norte do país. De fato, após o primeiro relato da doença nos Estados Unidos, ela não se disseminou tão rapidamente como ocorreu no Brasil, ficando restrita aos Estados do Sul. Mais recentemente, após a entrada do patógeno nos Estados Unidos, Pivonia e Yang (2006), com base em novos estudos, apontaram a hipótese de que nos Estados Unidos, as baixas temperaturas registradas nos meses de maio e junho limitam o desenvolvimento da doença nos Estados localizados ao sul, o que causa atraso no estabelecimento da epidemia nos Estados localizados ao Norte. No Brasil, as principais regiões produtoras de soja apresentam condições climáticas favoráveis para a sobrevivência e para o processo infeccioso do patógeno o ano todo. Por isso, a adoção de medidas que reduzam o inóculo inicial são muito importantes. Diversos Estados brasileiros adotaram o “Vazio Sanitário”, que consiste na proibição do cultivo da soja durante a entressafra e na eliminação de plantas voluntárias de soja dos campos de cultivo e de áreas adjacentes. O objetivo do vazio sanitário é a redução do inóculo inicial para atrasar o início da epidemia. Essa medida, associada ao plantio de cultivares precoces, logo no início da estação de cultivo, faz com que as plantas completem maior parte do seu ciclo livres do patógeno, reduzindo o número de aplicações de fungicidas e garantindo maior produtividade.

2.1.4 Resistência genética e variabilidade do patógeno

A resistência de plantas a doenças ocorre por mecanismos que impedem ou limitam a atividade do patógeno no tecido da planta hospedeira. Já a tolerância não restringe a infecção, colonização e reprodução do patógeno, mas permite à planta manter sua produção mesmo sob a colonização de seus tecidos pelo patógeno. Tanto a resistência como a tolerância são controladas por mecanismos complexos da planta e do hospedeiro e podem ser compreendidos sob o ponto de vista fisiológico, genético e epidemiológico. Sob a óptica epidemiológica, a resistência de plantas a doenças é dividida em resistência vertical e resistência horizontal. A resistência vertical é efetiva contra algumas raças do patógeno, por isso também é denominada resistência “raça-específica” e geralmente é governada por um único gene maior de resistência. Sua grande vantagem é manter as plantas completamente livres da doença e atrasar o início da epidemia num

campo de cultivo. Por ser governada por um único ou poucos genes, a resistência vertical é efêmera pois na população do patógeno podem surgir mutantes adaptados capazes de quebrar a resistência conferida por um único gene. Devido à sua curta duração há diversas estratégias para uso da resistência vertical que visam estabilidade da população do patógeno, como a rotação de genes de resistência no tempo, as multilinhas (mistura de linhas isogênicas com diferentes genes de resistência) e o piramidamento de genes de resistência num único cultivar.

A resistência horizontal, por sua vez, é eficiente contra todas as raças do patógeno, mas não mantém as plantas livres de infecção, apenas reduz a intensidade da doença e por isso ela também é chamada de resistência parcial. Normalmente a resistência horizontal é governada pelo somatório do efeito de vários genes de efeito menor, promovendo a redução da taxa de progresso da doença seja pelo menor tamanho das lesões, maior período latente ou pela menor capacidade esporulativa ao patógeno. A resistência horizontal é duradoura, pois como é governada por vários genes, para ela ser quebrada seriam necessárias alterações na população do patógeno que não ocorrem na escala microevolutiva de duração de um cultivar (SCHAFER, 1971; CAMARGO, 1995; CAMARGO; BERGAMIN FILHO, 1995; AGRIOS, 2005).

A resistência vertical da soja a *P. pachyrhizi* é conhecida desde 1960 e quatro genes maiores para resistência (Rpp1, Rpp2, Rpp3, e Rpp4) já foram identificados, tanto na soja cultivada, como em espécies perenes e selvagens do gênero *Glycines* (BROMFIELD; HARTWIG, 1980; HARTWIG, 1986). Contudo, esses genes conferem resistência a um número limitado de isolados e, segundo BONDE et al. (2006), genes de resistência específica a *P. pachyrhizi* rapidamente tornam-se ineficientes. Antes da chegada de *P. pachyrhizi* no Brasil, diversos programas de melhoramento foram desenvolvidos para a incorporação dos genes Rpp1-Rpp4 em cultivares comerciais. No primeiro ano da ocorrência da doença no Brasil, os cultivares se comportaram como resistentes em ensaios conduzidos no Paraná. Contudo, no ano seguinte, quando os mesmos materiais foram cultivados na região Centro-Oeste, todos se comportaram como suscetíveis (YORINORI, 2004). O patógeno apresenta alta variabilidade genética e embora a ocorrência de muitas raças de *P. pachyrhizi* denuncie essa característica, ainda sabe-se pouco sobre sua variabilidade (BROMFIELD, MELCHING; KINGSOLVER, 1980) Em estudos desenvolvidos no AVRDC, os pesquisadores sugeriram que há grande complexidade entre as raças predominantes e que essas raças possuem fatores múltiplos de virulência que levam à compatibilidade na maioria das linhagens de soja. A ocorrência de múltiplos genes de virulência

não é usual, pois não há linhagens de soja que possuem mais que um gene específico de resistência. A presença de múltiplos genes de virulência no patógeno e a ausência de múltiplos genes de resistência no hospedeiro confere grande vantagem competitiva a *P. pachyrhizi*, reduzindo a expectativa da utilização de rotação gênica ou do piramidamento como medida de controle da doença, uma vez que o patógeno retém genes desnecessários de virulência (TSCHANZ; WANG; TSAI, 1982, appud HARTMAN; WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997).

Linhagens com resistência horizontal foram identificadas e caracterizadas com base nos componentes monocíclicos período latente e número de urédias por lesão (HARTMAN, WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997; MARCHETTI; UECKER; BROMFIELD, 1975). Marchetti; Uecker e Bromfield (1975) analisaram comparativamente o desenvolvimento de urédias nos tecidos do cultivar Lee 68 e da PI 200492, um acesso que, naquela ocasião, demonstrava resistência de campo em Taiwan. Os primórdios de urédias foram observados nos folíolos do cultivar Lee entre 5 e 7 dias após a inoculação. A esporulação da primeira urédia teve início 9 dias após a inoculação e continuou por cerca de 3 semanas. Nos folíolos da PI 200492, a formação das urédias foi observada com um dia de atraso em relação ao cultivar Lee e a senescência ocorreu entre 2 e 4 dias antes do que no cultivar Lee. Os autores concluíram que o menor período de incubação e menor período de viabilidade das urédias, eram responsáveis pela redução da quantidade de inóculo secundário, diminuindo, assim, o potencial de disseminação do patógeno em PI 200492 que em Lee 68.

A influência da idade da planta e do trifólio na infecção por *P. pachyrhizi* foi estudada por Melching et al. (1989). Plantas com 15 a 20 dias após a semeadura mostraram-se mais suscetíveis que plantas com 50 dias após a semeadura. As folhas mais velhas mostraram-se mais suscetíveis do que as mais novas porque produziram maiores lesões, maior número de esporos por lesão, maior número de lesões por cm² e menor período latente. Furtado (2007) também observou que a doença é mais severa nos trifólios mais velhos de plantas de soja. No campo os sintomas são observados inicialmente nas folhas do terço inferior das plantas, onde estão as folhas mais velhas. Com o avanço da epidemia as lesões são observadas, por último, no terço superior das plantas.

Nos Estados Unidos, a resistência a *P. pachyrhizi* foi avaliada em mais de 16.000 acessos do banco de germoplasma do governo norte americano. Na primeira parte do trabalho 16.595 acessos foram inoculados com uma mistura de isolados e a resistência foi avaliada por meio de

uma escala de 5 pontos, baseada na densidade de lesões. Cerca de 3000 acessos foram selecionados com base na baixa severidade visual e na presença de lesões tipo RB. Posteriormente, após nova inoculação, cerca de 800 acessos foram selecionados e entre esses os autores acreditam haver genes de resistência que poderão ser incorporados nos cultivares comerciais (MILES; FREDERICK; HARTMAN, 2006)

A maior dificuldade no desenvolvimento de linhagens com resistência parcial é a avaliação das linhas das populações segregantes e de acessos que apresentam períodos distintos de maturação. Além da diferença fisiológica, há também diferença nas condições ambientais no momento da maturação, uma vez que a maturação ocorre em épocas distintas. Uma série de ensaios de campo foram conduzidos por Tchanz e Wang, 1982 (appud HARTMAN; WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997) a fim de se obter curvas de progresso da doença sob diferentes condições ambientais. Algumas linhas foram consideradas parcialmente resistentes por apresentarem a curva mais deslocada à direita, contudo a taxa aparente de infecção era idêntica às das linhas suscetíveis. Segundo os autores ficou evidente que o atraso da epidemia foi devido à diferença de maturação entre os genótipos e não devido a diferenças na reação de resistência entre os genótipos. Pesquisadores do AVRDC enfatizam que a relação entre desenvolvimento do patógeno e desenvolvimento do hospedeiro deve ser considerada quando se estabelecem curvas de progresso da doença, seja para a avaliação da resistência, seja para modelos de previsão ou ensaios de fungicidas. Alguns autores empregaram uma metodologia que corrige parcialmente a diferença de ciclo de maturação entre materiais: ao invés de empregar dias após semeadura como variável tempo na análise de regressão, calcula-se um valor relativo que leva em consideração o tempo necessário para o genótipo completar o seu ciclo. Esse valor relativo indica a porcentagem do ciclo da cultura que foi completado até determinada data. A taxa de progresso da doença é calculada com base nesse tempo relativo e é usada para comparação entre cultivares de ciclos de maturação diferentes (TSCHANZ; WANG, 1987, HARTMAN, WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997; KAWUKI, TUKAMUHABWA; ADIPALA, 2004).

As dificuldades de identificação e quantificação da resistência horizontal e a ineficiência da resistência raça-específica despertaram o interesse de pesquisadores pela busca da tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática. A tolerância é definida como a capacidade de um cultivar de sustentar certos níveis da doença, com mínimos danos, quando comparado a outros cultivares da mesma cultura (SCHAFER, 1971). Nos países Asiáticos, algumas linhagens foram

selecionadas por apresentarem altos índices de tolerância (TCHANZ; TSAI, 1983, HARTMAN, WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997). Linhagens tolerantes também foram relatadas na África (KAWUKI, TUKAMUHABWA; ADIPALA, 2003, 2004) No Brasil, experimento conduzido com cultivares cultivados no oeste baiano não revelou a ocorrência de tolerância em nenhum material (OLIVEIRA; GODOY; MARTINS, 2005).

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Local e época de plantio

Os ensaios foram realizados no campo experimental do Centro de Ciências Agrárias e Biológicas do Campus Jataí da Universidade Federal de Goiás (UFG), localizado no município de Jataí, GO, a 15° 18' de latitude SUL, 49° 7' de longitude Oeste e 650 m de altitude.

As reações de resistência e tolerância de 10 genótipos de soja foram avaliadas em ensaios distintos, todos conduzidos no ano agrícola de 2005/2006 e repetidos em três épocas de plantio, para obtenção de níveis variáveis de intensidade da doença em diferentes estádios fenológicos da cultura. A Tabela 1 apresenta a data de plantio de cada ensaio.

Tabela 1- Data de plantio dos ensaios de avaliação da resistência parcial e da tolerância, em linhagens e cultivares de soja, durante o ano agrícola de 2005/2006

Ensaio	Época 1	Época 2	Época 3
Resistência parcial	27/10/2005	25/11/2005	16/12/2005
Tolerância	31/10/2005	28/11/2005	19/12/2005

2.2.2 Preparo da área, instalação e condução dos ensaios

Cada época de plantio foi instalada numa curva em nível. O tipo de solo predominante era o latossolo vermelho distrófico, preparado dentro do sistema convencional de cultivo. A adubação consistiu de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 2-20-18, com fornecimento de nitrogênio feito por meio da fixação simbiótica e pela matéria orgânica do solo. A demarcação das linhas de plantio e a adubação foram realizadas por meio de semeadora-adubadora e imediatamente após essas operações a semeadura foi realizada manualmente. Previamente à semeadura as sementes foram tratadas com produto comercial à base de carbendazim + thiram (200 mL p.c. 100 Kg⁻¹ sementes), para proteger o sistema semente-plântula de fungos fitopatogênicos e com fipronil (200 mL p.c. 100 Kg⁻¹ sementes), para proteção contra artrópodes-pragas do solo, além dos

artrópodes sugadores iniciais. Em seguida, as sementes foram tratadas com inoculante líquido (*Bradyrizobium*), na dosagem de 200 mL p.c. 100 Kg⁻¹ sementes.

O manejo de plantas invasoras e artrópodes praga foi realizado de acordo com as medidas convencionalmente empregadas para a cultura na região. Para o controle das plantas daninhas foi aplicada a mistura de produtos comerciais à base de chlorimuron – ethyl e lactofen em pós-emergência. Na época 3 foram necessárias duas aplicações, pois a desfolha precoce ocasionada pela ferrugem favoreceu o desenvolvimento das invasoras. Para o controle das principais pragas da soja (lagartas desfolhadoras e complexo de percevejos sugadores) foram empregados inseticidas à base de teflubenzuron (500 mL. ha⁻¹) e metamidofós (500 mL⁻¹) a partir da constatação da presença dos insetos na área experimental, com aplicações periódicas conforme o período residual do produto comercial. As pulverizações em área total foram realizadas com pulverizador de barra tratorizado. A área experimental foi organizada de forma a permitir a passagem do rodado do trator, garantindo a perfeita cobertura de toda a área dos ensaios. A área ocupada pelas três épocas de semeadura foi de aproximadamente 15.146 m², considerando além da área ocupada pelas parcelas experimentais, a presença de cinco linhas de bordadura (cultivar Conquista) tanto no perímetro de cada ensaio, como entre cada parcela e entre cada bloco de repetição.

2.2.3 Caracterização dos cultivares e linhagens

Foram avaliados 7 cultivares comerciais e 3 linhagens avançadas, cujos nomes, ciclo de maturação e hábito de crescimento estão apresentados na Tabela 2.

Os cultivares Conquista e Pintado foram empregados como padrão de suscetibilidade ao patógeno. Os demais cultivares foram escolhidos dentre aqueles que além de apresentarem severidade intermediária nos ensaios nacionais da EMBRAPA soja, foram empiricamente classificados, por técnicos e agricultores, como “mais resistentes” ou “mais tolerantes” à ferrugem asiática. As linhagens avançadas são provenientes do Convênio Goiás (EMBRAPA/AGÊNCIARURAL) e pertencem a um programa de melhoramento genético visando resistência ao oídio (*Erysiphe diffusa*). Esse programa foi suspenso com a chegada da ferrugem asiática na região, que por ser muito agressiva, impedia a avaliação da intensidade do oídio nas folhas.

Tabela 2 - Ciclo de maturação e hábito de crescimento das linhagens e dos cultivares de soja utilizados nos ensaios de avaliação da resistência parcial e da tolerância à ferrugem asiática da soja

	Nome	Ciclo de maturação ¹	Hábito de crescimento
Cultivares	EMGOPA - 315	médio ²	determinado ⁵
	Luziânia	médio	determinado
	Pintado	médio	determinado
	Conquista	médio	determinado
	COODETEC - 219	médio	determinado
	Tianá	tardio ³	determinado
	EMGOPA 313	tardio	determinado
Linhagens	Linhagem 1	precoce ⁴	determinado
	Linhagem 2	médio	determinado
	Linhagem 3	médio	determinado

¹ A classificação quanto ao ciclo de maturação é baseada na adaptabilidade de um cultivar de soja em utilizar efetivamente a estação de crescimento de uma determinada região

² Ciclo médio de maturação: 120 a 130 dias (entre a emergência e o ponto de colheita)

³ Ciclo tardio de maturação: 130 a 150 dias (entre a emergência e o ponto de colheita)

⁴ Ciclo precoce de maturação: 105 a 115 dias (entre a emergência e o ponto de colheita)

⁵ O hábito de crescimento determinado caracteriza-se pela finalização do crescimento vegetativo a partir do início do florescimento

As três linhagens indicadas para este trabalho foram as que, mediante o ataque severo de *P. pachyrhizi*, permitiram a obtenção de montantes de sementes adequados à continuidade dos trabalhos de seleção. A Tabela 3 apresenta a genealogia e a coloração da flor e da pubescência das três linhagens (MONTEIRO¹, informação verbal).

¹ Eng. Agrônomo Pedro Manoel Monteiro – AGÊNCIARURAL, Goiânia.

Tabela 3 - Nome do genótipo, genealogia e coloração da flor e da pubescência (Pub.) das linhagens empregadas nos ensaios de avaliação da resistência parcial e tolerância à ferrugem asiática da soja

Nome	Genótipo	Genealogia	Cor	
			Flor	Pub.
Linhagem 1	GO BR 99-05.029	Crixás GOBR95-6224	Branca	Castanha
Linhagem 2	GO BR 99-02.126	EMGOPA 315 x Crixás	Branca	Marrom
Linhagem 3	GO 02 2052.03.33	(Tracajás x Sambaíba) x GOBR99-356010	Roxa	Castanha

2.2.4 Determinação dos estádios fenológicos da cultura

O acompanhamento fenológico da cultura em cada parcela/subparcela foi realizado utilizando-se a escala proposta por Ritchie et al. (1982) e adaptada por Yorinori et al. (1993), apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição dos estádios fenológicos da soja

(continua)

Estádios	Descrição
I. Fase Vegetativa	
VC	Da emergência a cotilédones abertos
V ₁	Primeiro nó, folhas unifolioladas abertas
V ₂	Segundo nó, primeiro trifólio aberto
V ₃	Terceiro nó, segundo trifólio aberto
V _n	Enésimo nó (último) com trifólio aberto, antes do início da floração
II. Fase Reprodutiva	
R ₁	Início da floração: até 50% das plantas com uma flor
R ₂	Floração plena: maioria dos ráceros com flores abertas
R ₃	Final da floração: vagens com até 1,5 cm
R ₄	Maioria das vagens do terço superior com 2,0 a 4,0 cm
R _{5.1}	Grãos com início de formação (perceptíveis ao tato) a 10% da granação
R _{5.2}	Maioria das vagens com granação de 10-25%
R _{5.3}	Maioria das vagens entre 25 e 50% de granação

Tabela 4 - Descrição dos estádios fenológicos da soja

(continuação)

Estádios	Descrição
II. Fase Reprodutiva	
R _{5.4}	Maioria das vagens entre 50-75% de granação
R _{5.5}	Maioria das vagens entre 75-100% da granação
R ₆	Maioria das vagens com 100% de granação e folhas verdes
R _{7.1}	Início a 50% de amarelecimento de folhas e vagens
R _{7.2}	Entre 51 e 75% de folhas e vagens amarelas
R _{7.3}	Mais de 75% de vagens e folhas amarelas
R _{8.1}	Início a 50% de desfolha
R _{8.2}	Mais de 50% de desfolha à pré-colheita
R ₉	Maturidade de campo (ponto de colheita)

Fonte: Ritchie et al. (1982) adaptada por Yorinori et al. (1993)

2.2.5 Delineamento experimental

2.2.5.1 Caracterização epidemiológica da resistência parcial

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com cinco repetições. Cada unidade experimental ou parcela foi constituída por 5 linhas, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 6 metros de comprimento. Considerou-se como área útil para a coleta dos dados, as três linhas centrais e como bordadura, as linhas externas e 1,0 m da extremidade de cada linha. Cada experimento de resistência ocupou uma área de aproximadamente 1.782 m².

2.2.5.2 Análise da tolerância

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com cinco repetições, com delineamento de tratamentos em parcelas subdivididas. A parcela foi constituída por 5 linhas de 12 metros de comprimento, divididas em subparcelas de 6 metros de comprimento. As parcelas

continham os cultivares e as linhagens de soja e as subparcelas, o tratamento ou não com fungicida para controle da ferrugem asiática. Considerou-se como área útil para aplicação dos tratamentos e coleta dos dados, as três linhas centrais e como bordadura, as linhas externas e 1,0 m da extremidade de cada linha. Cada experimento de tolerância ocupou uma área de aproximadamente 3.267 m².

O fungicida empregado para controle da ferrugem foi o tebuconazole na dosagem de 500 mL ha⁻¹. Foi realizada uma pulverização preventiva nas épocas 2 e 3 de plantio, assim que a maioria dos genótipos da época 1 atingiram o estágio R4, quando foram registrados os primeiros focos da doença na região. A época 3 não recebeu aplicação preventiva, pois as plantas encontravam-se ainda em estádios muito precoces de desenvolvimento (V2-V4) e o tebuconazole poderia causar fitotoxidez. A partir do surgimento das primeiras pústulas, as aplicações de tebuconazole passaram a ser realizadas periodicamente em intervalos de dez dias, nas três épocas de semeadura, a fim de se obter melhor controle do patógeno nas subparcelas tratadas. A aplicação do produto foi feita por meio de pulverizador costal, composto por cilindro de CO₂, recipiente para armazenamento de calda e barra de pulverização de 2,0 m de largura, com quatro bicos espaçados a 0,50 m entre si. Foram utilizadas pontas de pulverização TT11002, com pressão de serviço igual a 3 bar. O volume de calda empregado em cada unidade experimental foi o equivalente a 300 L ha⁻¹.

A fim de diminuir a incidência de outras doenças que poderiam comprometer a produtividade das parcelas, como o oídio (*Erysiphe diffusa*) e o complexo de final de ciclo (*Cercospora kikuchii* e *Septoria glycines*), o princípio ativo carbendazim foi aplicado em área total (parcelas tratadas e não tratadas com tebuconazole), na dosagem de 800 mL.ha⁻¹ e volume de calda de 300L ha⁻¹. Foi feita uma única aplicação em cada época de plantio de forma preventiva em R5.1 (época 1), R5.1 (Época 2) e R1 (Época 3) por meio do pulverizador tratorizado, o mesmo empregado para aplicação do inseticida e herbicida.

2.2.6 Variáveis avaliadas

2.2.6.1 Severidade

O desenvolvimento da ferrugem asiática ocorreu por meio da infecção natural pelo patógeno. Para determinar o início da epidemia foi feito o monitoramento diário da doença em todos os ensaios, por meio da coleta de folhas e exame em estereomicroscópio para a observação das primeiras urédias do patógeno.

A severidade (proporção de área foliar com sintoma da doença) foi estimada por meio da escala diagramática proposta por Godoy; Koga e Canteri (2006). Para essas estimativas coletou-se, aleatoriamente, cinco plantas de soja da área útil de cada parcela (ensaios para avaliação da resistência) e subparcela (ensaios para avaliação da tolerância). A severidade foi estimada apenas nos trifólios da haste central das plantas amostradas e foi obtida por meio da média da severidade de todos os folíolos de cada trifólio.

A área foliar dos trifólios (AF) foi determinada por meio da relação existente entre a maior largura do folíolo central (L), obtido por régua milimetrada e a área do trifólio, representada pela equação (GODOY²):

$$AF = 4,4996 \times L^{1,7983}$$

Com as estimativas de área foliar e severidade foi calculada a área foliar lesionada de cada trifólio e por meio do somatório desses valores foi calculada a área foliar lesionada de cada planta e sua severidade. A média da severidade das cinco plantas amostradas consistiu na severidade de cada parcela/subparcela.

Nos ensaios de resistência parcial foram realizadas avaliações em intervalos semanais a partir do surgimento das primeiras pústulas até a desfolha total. As datas de avaliação da severidade nos ensaios de resistência parcial estão apresentadas na Tabela 5.

Nos ensaios de tolerância, a severidade foi estimada uma única vez, quando o primeiro sinal da desfolha causada pelo patógeno foi perceptível nas subparcelas não tratadas. Na época 1

² Dra. Claudia Vieira Godoy – EMBRAPA Soja, dados não publicados.

a estimativa da severidade foi realizada em 11/02/2006, na época 2 em 04/03/2006 e na época 3 em 11/03/2003.

Tabela 5 – Datas de avaliação da severidade (% de área foliar com sintomas) da ferrugem asiática da soja, nas três épocas de plantio

Avaliação	Época 1	Época 2	Época 3
1	23/01/2006	01/02/2006	03/02/2006
2	30/01/2006	15/02/2006	16/02/2006
3	07/02/2006	22/02/2006	24/02/2006
4	14/02/2006	08/03/2006	16/03/2006
5	21/02/2006	14/03/2006	31/03/2006
6	01/03/2006		
7	09/03/2006		

2.2.6.2 Índice de área foliar e número de trifólios

O índice de área foliar (IAF) foi estimado somente nas épocas 2 e 3 dos ensaios de avaliação da tolerância. Foi utilizado um ceptômetro (*Ligth Interception – Crop & Timber Canopy – ACCUPar – DECAGON*), que consiste numa barra de aproximadamente 1 metro de comprimento dotada de sensores que medem a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos comprimentos de onda de 400 a 700 nm e, indiretamente, o IAF. Em cada parcela foram feitas quatro leituras utilizando-se como valor de IAF o valor da média das quatro leituras. Em cada leitura o equipamento foi colocado no solo, na entrelinha da parcela útil, em posição diagonal entre as duas linhas. O horário das avaliações foi padronizado sempre por volta do meio dia solar e a radiação incidente ao sol entre 1200 – 1400, de forma a minimizar os fatores de interferência nas leituras. Tempo encoberto e chuvas freqüentes impediram a estimativa periódica e sistemática do IAF. No ensaio da época 2 foi realizada uma única determinação de IAF, 3 dias após a estimativa da severidade. Já na época 3 foi possível determinar o IAF 3 dias antes da estimativa da severidade e 15 dias após. A contagem dos trifólios da haste central foi realizada concomitantemente à estimativa da severidade.

2.2.6.3 Componentes de produção e produtividade

Além da produtividade (kg de grãos por hectare), foram avaliados os componentes de produção: número de vagens e de grãos por planta e massa de 1000 grãos. O número total de vagens e grãos por planta foi avaliado em 10 plantas coletadas aleatoriamente na área útil de cada parcela/subparcela, no momento em que as plantas atingiram a maturidade fisiológica (R9). O número de vagens por planta foi determinado pela contagem de todas as vagens da planta e o número de grãos por planta, pela contagem do número de grãos de cada planta, obtidas pela debulha manual das vagens produzidas por cada planta amostrada. Os grãos provenientes da debulha das 10 plantas amostradas foram armazenados juntamente com os grãos da população final de cada parcela/subparcela para posterior determinação da produtividade.

O peso de 1000 grãos e a produtividade foram determinados com base na população final das plantas da área útil de cada parcela/subparcela. A umidade dos grãos foi determinada por meio do equipamento portátil, procedendo-se posteriormente, à correção para padronização a 13% de umidade. Para a determinação da produtividade, os grãos provenientes de cada parcela/subparcela foram pesados em balança com capacidade para 5 kg e os valores obtidos, transformados para kg ha^{-1} . Para determinação do peso de 1000 grãos, foram pesadas em balança com sensibilidade de centésimo de grama, 10 sub-amostras de 100 grãos de cada parcela/subparcela. O somatório do peso de cada sub-amostra consistiu no peso de 1000 grãos.

2.2.7 Análise dos dados

2.2.7.1 Caracterização epidemiológica da resistência parcial

Os valores de severidade média obtidos para cada genótipo, em cada data de avaliação, foram utilizados para a construção de curvas de progresso da doença (plotagem gráfica da severidade média no eixo *Y*, em função do tempo, no eixo *X*), para as três épocas de plantio, separadamente. Os dados foram analisados por meio de regressão não-linear, utilizando o programa Statistica (STATSOFT, 2001). As curvas de progresso da doença nos cultivares EMGOPA-315 (E-315), Luziânia, Pintado, Conquista e COODETEC 219 (CDT-219) e nas linhagens 01 (L.01), 2 (L.02) e 3 (L.03) não apresentaram comportamento assintótico, pois houve

desfolha antes da severidade alcançar valor máximo. Nesses casos, o progresso temporal da doença foi ajustado pelos modelos exponencial e logístico (CAMPBELL; MADDEN, 1990). O modelo exponencial $Y = B_2 \cdot \exp(B_3 \cdot x)$, no qual Y é a severidade da doença no tempo x , B_2 é o inoculo inicial (Y_0) e B_3 , a taxa de progresso da doença (r), foi ajustado aos dados observados por regressão não linear pelo método dos quadrados mínimos. O ajuste do modelo logístico, $Y = 1/(1+B_2 \cdot \exp(-B_3 \cdot x))$, aos dados observados, onde Y é a severidade no tempo x , B_2 é um parâmetro relacionado ao inóculo inicial ($B_2 = (1-Y_0)/Y_0$) e B_3 representa a taxa de progresso da doença (r), foi feito da mesma forma.

As curvas de progresso dos cultivares Tianá e E-313 apresentaram comportamento assintótico em níveis de severidade muito inferiores a 1. Nesses casos, no ajuste do modelo logístico aos dados, a assíntota não foi fixada, sendo estimada como um parâmetro adicional do modelo, agora descrito pela equação $Y = B_1/(1+B_2 \cdot \exp(-B_3 \cdot x))$, onde Y é a severidade no tempo x , B_1 é a assíntota máxima e B_2 e B_3 são, respectivamente, parâmetros relacionados ao inóculo inicial ($B_2 = (B_1 - Y_0)/Y_0$) e a taxa de progresso da doença (r).

A comparação do parâmetro r entre os genótipos foi feita pelo Teste-t. Como parâmetros obtidos de curvas com assíntotas diferentes não são comparáveis, os parâmetros r estimados para os cultivares Tianá e E-313 foram comparados entre si, isoladamente à comparação dos parâmetros entre os demais genótipos. O parâmetro Y_0 foi analisado por meio de teste de comparação de médias (LSD, $p < 0,05$), utilizando dados conjuntos dos genótipos por época de plantio.

O ajuste do modelo logístico aos dados também foi feito substituindo a variável tempo (dias após plantio), por um valor relativo que leva em consideração o tempo necessário para o genótipo completar o seu ciclo. Esse valor relativo é denominado “Relative Life Time” (RLT) e é empregado para corrigir parcialmente as diferenças de ciclo de maturação entre genótipos (TSCHANZ e TSAI, 1982, apud HARTMAN; WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997). O RLT foi calculado pela seguinte fórmula:

$$RLT = (\text{Dias após plantio} / \text{dias para atingir o estágio R8}) \times 100$$

Os dados de severidade média e RLT foram relacionados por meio de regressão não-linear utilizando o programa Statistica e o progresso temporal da doença também foi explicado pelo

ajuste do modelo logístico aos dados observados. Novamente as curvas de progresso dos cultivares Tianá e E-313 apresentaram níveis finais de severidade assintóticos e muito inferiores a 1 e a assíntota não foi fixada, sendo estimada na análise como um parâmetro adicional do modelo logístico. Para os demais cultivares o ajuste ao modelo logístico foi feito com a assíntota em 1. O Teste-t foi empregado para comparação do parâmetros r estimado pelo modelo logístico para cada genótipo e a comparação foi realizada entre os cultivares Tianá e E-313 (assíntota variável) e entre os demais genótipos (assíntota fixa).

2.2.7.2 Análise da tolerância

Os dados obtidos em cada época de plantio foram analisados por meio de análise de variância. Para verificar a presença de tolerância, a diferença entre subparcelas tratadas e não tratadas para todas as variáveis obtidas (número de trifólios da haste central, IAF, produtividade, peso de mil grãos e número de grãos e de vagens por planta) foram analisadas por meio de teste de comparação de médias (teste de Tukey a 1 e 5% de significância), utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2003). Os dados de severidade foram transformados em arco seno $\sqrt{x}/100$ e os dados de número de vagens e de grãos por planta foram transformados em \sqrt{x} . A análise conjunta dos dados de produtividade das três épocas de semeadura foi realizada por meio de regressão linear entre os valores percentuais da redução da produtividade nas parcelas não tratadas (produtividade das parcelas tratadas – produtividade das parcelas não tratadas) e severidade das subparcelas não tratadas.

2.3 Resultados e Discussão

Os primeiros sintomas da doença foram observados em 17 de janeiro de 2005 nas três épocas de cultivo, concomitantemente. O sintoma típico (lesão TAN) não era visível ainda e a detecção da doença, em sua fase inicial, foi feita por meio da visualização de urédias, sob microscópio estereoscópico, na face inferior das folhas amostradas. Na parte superior das folhas observava-se, na área correspondente às urédias, minúsculas pontuações de tecido descolorido, visíveis somente quando se observava folhas destacadas contra a luz. Nessa data, os cultivares e as linhagens de ciclo médio da época 1 encontravam-se em R5 e os cultivares de ciclo tardio, encontravam-se em R4. Já os genótipos de ciclo médio da época 2 encontravam-se em R3 e os de ciclo tardio, em R1. Na época 3, ainda por ocasião do surgimento das primeiras pústulas, todos os genótipos se encontravam nos estádios vegetativos de desenvolvimento.

As primeiras pústulas do patógeno foram observadas nos trifólios do terço inferior das plantas e o crescimento da doença se deu com o avanço dos sintomas do terço inferior para o terço superior.

2.3.1 Caracterização da resistência parcial em cultivares e linhagens de soja

As curvas de progresso da ferrugem asiática da soja para os cultivares e linhagens testados estão apresentadas nas Figuras 1 a 5. Os parâmetros estimados pelo modelo logístico encontram-se nas Tabelas 6 e 7. Na época 1 de plantio não foi possível ajustar o modelo aos dados do cultivar E-315 e da Linhagem 1. Os parâmetros do modelo exponencial não estão apresentados, pois na análise visual da distribuição dos resíduos, esse modelo foi claramente inferior ao modelo logístico.

As curvas da Linhagem 1 e do cultivar E-313 (Figura 1), dos cultivares Luziânia e Pintado (Figura 2), das Linhagens 2 e 3 (Figura 3) e dos cultivares Conquista e Coodetec 219 (Figura 4) foram muito semelhantes, independentemente da época de plantio e do estágio fenológico das plantas no início da epidemia. Como a desfolha ocorreu antes da severidade alcançar valor máximo, as curvas desses genótipos não apresentaram comportamento assintótico, ficando evidente apenas a fase exponencial do crescimento da doença.

Já as curvas de progresso dos cultivares Tianá e E-313 (Figura 5), diferentemente das curvas dos demais genótipos, apresentaram comportamento assintótico, ou seja, a doença cresceu até atingir o ponto de estabilização. Isso foi consequência da desfolha mais lenta nesses genótipos, o que permitiu a realização de um maior número de avaliações da severidade, exceto na curva do cultivar E-313 na época 3 (Figura 5 F), que apresentou o mesmo número de avaliações dos demais genótipos. A severidade da doença nas últimas avaliações, contudo, pode ter sido subestimada, uma vez que a última avaliação foi feita com um número pequeno de trifólios restantes no terço superior das plantas, onde a severidade é sempre menor que nos terços médio e inferior.

O número variável de avaliações de severidade entre genótipos e entre épocas dentro de cada genótipo demonstrou que a desfolha ocorreu de modo independente ao estágio fenológico das plantas e à severidade da doença. A relação entre severidade e desfolha para a ferrugem asiática da soja é pouco conhecida, mas já foi correlacionada com o número de pústulas por trifólio (Bromfield, 1984). Yang et al. (1990) também demonstraram haver correlação significativa entre severidade de ferrugem asiática e desfolha de plantas de soja, mas encontraram

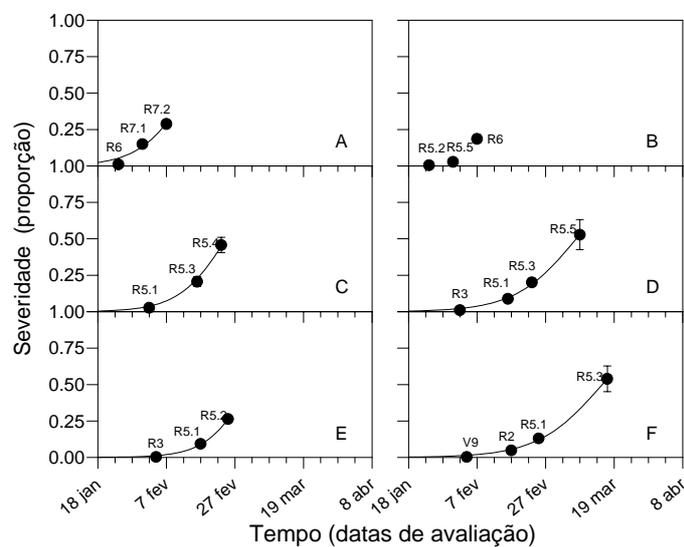


Figura 1 – Curvas de progresso da ferrugem asiática da soja da Linhagem 1 (A,C,E) e E-315 (B,D,F) para as épocas 1 (A,B), 2 (C,D) e 3 (E,F) de plantio. Círculos cheios correspondem aos dados do ensaio e linha contínua representa o ajuste dos dados ao modelo logístico. As legendas dos pontos representam o estágio fenológico em que as plantas se encontravam no momento da avaliação.

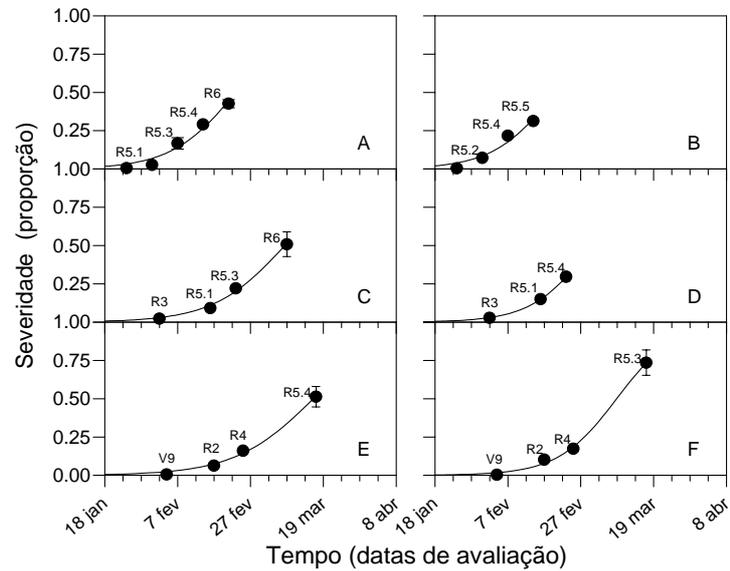


Figura 2 – Curvas de progresso da ferrugem asiática da soja dos cultivares Luziânia (A,C,E) e Pintado (B,D,F) para as épocas 1 (A,B), 2 (C,D) e 3 (E,F) de plantio. Círculos cheios correspondem aos dados do ensaio e linha contínua representa o ajuste dos dados ao modelo logístico. As legendas dos pontos representam o estágio fenológico em que as plantas se encontravam no momento da avaliação.

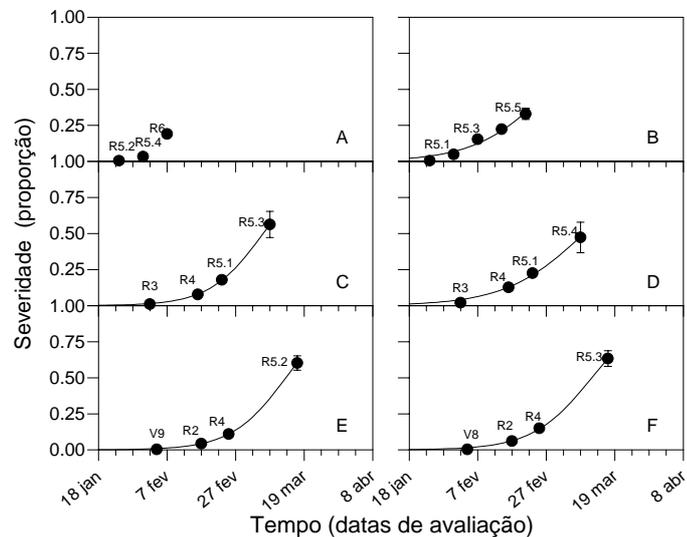


Figura 3 – Curvas de progresso da ferrugem asiática da soja da Linhagem 2 (A,C,E) e Linhagem 3 (B,D,F) para as épocas 1 (A,B), 2 (C,D) e 3 (E,F) de plantio. Círculos cheios correspondem aos dados do ensaio e linha contínua representa o ajuste dos dados ao modelo logístico. As legendas dos pontos representam o estágio fenológico em que as plantas se encontravam no momento da avaliação.

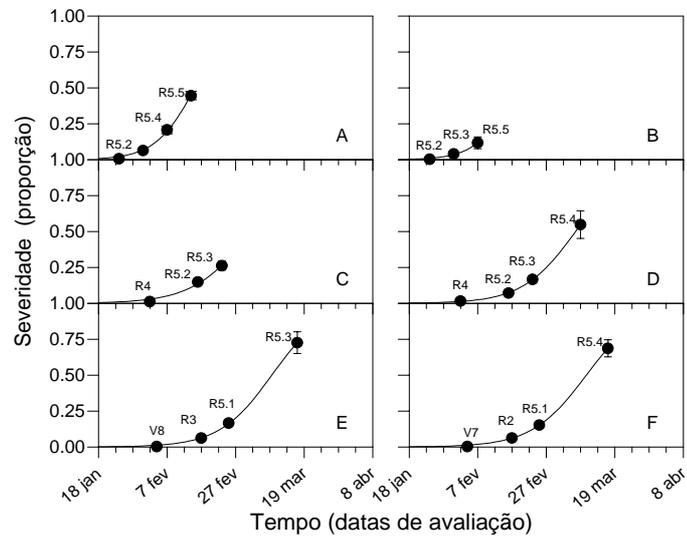


Figura 4 – Curvas de progresso da ferrugem asiática da soja dos cultivares Conquista (A,C,E) e Coodetec-219 (B,D,F) para as épocas 1 (A,B), 2 (C,D) e 3 (E,F) de plantio. Círculos cheios correspondem aos dados do ensaio e linha contínua representa o ajuste dos dados ao modelo logístico. As legendas dos pontos representam o estágio fenológico em que as plantas se encontravam no momento da avaliação.

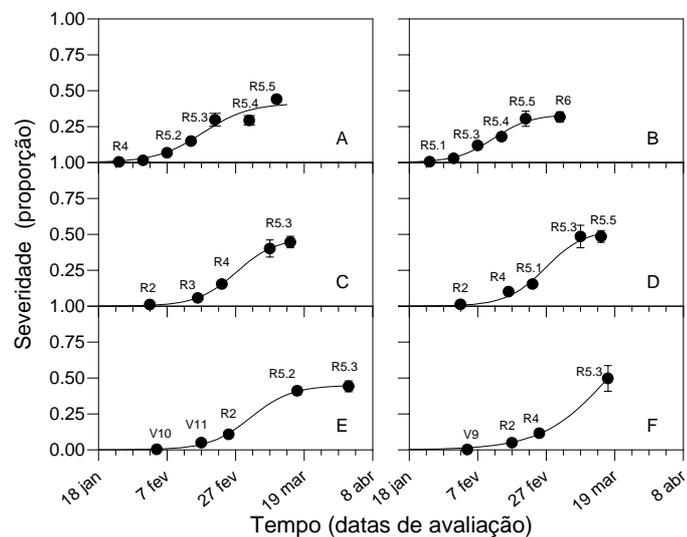


Figura 5 – Curvas de progresso da ferrugem asiática da soja dos cultivares Tianá (A,C,E) e E-313 (B,D,F) para as épocas 1 (A,B), 2 (C,D) e 3 (E,F) de plantio. Círculos cheios correspondem aos dados do ensaio e linha contínua representa o ajuste dos dados ao modelo logístico. As legendas dos pontos representam o estágio fenológico em que as plantas se encontravam no momento da avaliação.

Tabela 6 - Coeficiente de determinação (R^2) e parâmetros do modelo logístico, $Y=1/(1+B_2*\exp(-B_3*x))$, onde Y é a severidade da doença no tempo x , B_2 e B_3 são, respectivamente, o inóculo inicial e a taxa de progresso da doença.

Genótipo	Época 1			Época 2			Época 3		
	R^2	B_2	B_3	R^2	B_2	B_3	R^2	B_2	B_3
L.01	0,94	3650432	0,142	0,99	1506460	0,161	0,99	164478	0,161
E 315	...	...	...	0,99	29131	0,101	0,99	6058	0,099
Luziânia	0,97	514200	0,113	0,99	12249	0,092	0,99	2038	0,085
Pintado	0,94	655619	0,118	0,99	126900	0,125	0,99	10539	0,114
L.02	...	...	...	0,99	103540	0,115	0,99	21229	0,115
L.03	0,96	76360	0,093	0,99	3750	0,079	0,99	8505	0,107
Conquista	0,99	1162000	0,172	0,98	86434	0,119	0,99	18741	0,120
CDT-219	0,99	7547400	0,184	0,99	120782	0,115	0,99	14459	0,1152

... Dados numéricos não disponíveis

Tabela 7 - Coeficiente de determinação (R^2) e parâmetros do modelo logístico, $Y=B_1/(1+B_2*\exp(-B_3*x))$, onde Y é a severidade da doença no tempo x , B_1 é a estimativa da assíntota máxima, e B_2 e B_3 são, respectivamente, o inóculo inicial e a taxa de progresso da doença.

	Época 1			
	R^2	B_1	B_2	B_3
Tianá	0,98	0,4136	11653439	0,147
E-313	0,98	0,335	207908058	0,183
	Época 2			
	R^2	B_1	B_2	B_3
Tianá	0,99	0,4727	2113876	0,158
E-313	0,99	0,5326	2245352	0,160
	Época 3			
	R^2	B_1	B_2	B_3
Tianá	0,99	0,4491	100124	0,153
E-313	0,99	0,610	38712	0,130

muita variação nos resultados, principalmente para valores baixos de severidade (até 25%) e concluíram que a desfolha não é uma variável adequada para prever danos causados pelo patógeno. Segundo os autores, o ambiente desempenha papel importante na desfolha causada por *P. pachyrhizi*, especificamente a intensidade dos ventos que, quando elevada e associada à chuva, pode antecipar a desfolha.

Os resultados da comparação das taxas de progresso da doença (r) pelo Teste-t estão apresentados na Tabela 8. Apesar de haver diferença significativa entre as taxas nas três épocas de plantio, a comparação entre taxas apresentou resultados diferentes em cada época, demonstrando que esse não foi um parâmetro adequado para avaliar o nível de resistência dos genótipos testados. Especificamente na época 2, o cultivar Conquista apresentou resultados discrepantes na comparação das taxas pelo Teste-t. Apesar de ter apresentado alta taxa de progresso da doença ($r=0,119$), o cultivar Conquista não diferiu de nenhum outro cultivar ou linhagem, nem mesmo da linhagem 3, que apresentou a taxa mais baixa ($r=0,079$). Nessa mesma época, a linhagem 2 e o cultivar CDT-219, com taxas de 0,115, mais baixas que de Conquista, diferiram da linhagem 3 (Tabela 6). Isso ocorreu porque o erro padrão do parâmetro B_3 (taxa) no cultivar Conquista foi muito alto. Esse erro elevado ocorre quando muitas curvas podem ser ajustadas aos pontos. Normalmente, quanto menor o número de pontos e quanto mais distante do modelo estiverem os pontos, maior é a quantidade de curvas que podem explicar o ajuste e maior é o erro. A curva de progresso da doença no cultivar Conquista, na época 2 (Figura 4C), apresentou essas duas características: apenas três pontos ligeiramente afastados do modelo. As taxas dos cultivares E-313 e Tianá não apresentaram diferença estatística nas três épocas de plantio, pelo Teste-t.

Kawuki, Tukamuhabwa e Adipala (2004) estudaram a taxa de progresso da ferrugem asiática da soja em linhagens de ciclo precoce, médio e tardio em três estações de cultivo, em Uganda, África. As taxas foram estimadas por meio da regressão linear entre o logito da severidade e o “Relative Life Time” (*RLT*) como variável tempo. Segundo os autores, a taxa de progresso da doença foi significativamente variável entre grupos de maturação, sendo que em média as linhagens de ciclo precoce apresentaram as menores taxas, seguidas pelas taxas das linhagens de ciclo médio e tardio. Na análise conjunta dos dados, os autores concluíram que a maior variação entre taxas ocorreu em função da influência da estação de cultivo. Os resultados

também indicaram que taxas altas de progresso da doença não foram associadas à alta suscetibilidade dos genótipos, assim como taxas baixas não foram associadas à resistência.

A análise conjunta dos valores de B_2 (inóculo inicial) estimados pelo modelo logístico, por época de plantio, demonstrou que o inóculo inicial foi significativamente menor na época 1 de plantio ($p < 0,05$) do que na época 3. O inóculo inicial estimado pelo modelo indica o valor da quantidade de doença no tempo zero, ou seja, o valor em que a curva corta o eixo y , quando x é 0. O inóculo inicial foi menor na época 1 porque quando os primeiros sintomas da doença foram observados, as plantas já estavam expostas há 80 dias. As plantas da época 3 estavam no campo há apenas 40 dias. Assim, ao estimar a doença no tempo zero, a quantidade prevista na época 1 foi muito menor que na época 3, exclusivamente porque o dia de plantio ($x=0$) da época 1 estava mais distante do que o dia de plantio da época 3. O ajuste matemático, nesse caso, não refletiu a quantidade de doença no início de cada plantio. Esse caso pode ser melhor visualizado quando todas as curvas são reunidas em um único gráfico, no qual o eixo x representa o tempo em dias após o plantio (Anexo). Pela avaliação de campo, ficou claro que a epidemia começou no mesmo momento em todas as épocas de plantio e, portanto, o inóculo que deu início às epidemias (inóculo inicial) foi o mesmo para todas as épocas, provavelmente com origem externa ao campo experimental.

As Tabelas 9 e 10 apresentam os parâmetros estimados pelo modelo logístico quando a variável tempo foi substituída pelo *RLT*. Na época 1 de plantio não foi possível o ajuste do modelo logístico aos dados dos cultivares E-315, Linhagem 2 e CDT-219. A comparação entre os parâmetros estimados com a variável “dias após plantio” (Tabela 6) “versus” os parâmetros estimados com o *RLT* (Tabela 9) demonstrou diferença entre os parâmetros B_2 e B_3 , embora somente em poucos genótipos os valores do coeficiente de determinação (R^2) foram mais altos quando foi utilizado o *RLT*. O emprego do *RLT* como variável tempo não permitiu que as taxas de progresso da doença para os cultivares Tianá e E-313 fossem comparadas com os demais genótipos, pois as curvas novamente apresentaram valores assintóticos muito inferiores a 1 e a assíntota não foi fixada. Para os demais genótipos, como os níveis iniciais e finais de severidade foram novamente semelhantes, as assíntotas foram fixadas em 1. Para os cultivares Tianá e E-313, os valores dos parâmetros B_2 e B_3 estimados com o uso do *RLT* como variável tempo (Tabela 10), também foram diferentes dos valores dos parâmetros estimados com o uso de “dias

Tabela 8 - Comparação das taxas de progresso da doença¹, entre cultivares e linhagens pelo Teste-t², nas épocas 1, 2 e 3 de plantio³

		Época 1					
	L.03	Luziânia	Pintado	L01	Conquista		
L.03	..	..	..	..	..
Luziânia	ns	..	..	..	..
Pintado	ns	ns	..	..	..
L01	ns	ns	ns	..	..
Conquista	**	*	ns	ns	..		
CDT-219	*	ns	ns	ns	ns		
		Época 2					
	L.03	Luziânia	E-315	L.02	CDT-219	Conquista	Pintado
L.03	..	..	..	..	..	..	..
Luziânia	ns	..	..	..	..	..	..
E-315	ns	ns	..	..	..	..	..
L.02	**	*	ns	..	..	..	..
CDT-219	**	*	ns	ns	..	..	..
Conquista	ns	ns	ns	ns	ns	..	..
Pintado	**	**	*	*	*	ns	..
L.01	**	**	**	**	**	ns	**
		Época 3					
	Luziânia	E-315	L.03	Pintado	CDT-219	L.02	Conquista
Luziânia	..	..	..	..	..	..	..
E-315	ns	..	..	..	..	..	..
L.03	*	ns	..	..	..	..	..
Pintado	*	ns	ns	..	..	..	..
CDT-219	**	*	ns	ns	..	..	..
L.02	**	*	ns	ns	ns	..	..
Conquista	**	*	ns	ns	ns	ns	..
L.01	**	**	ns	ns	ns	*	*

¹ parâmetro B_3 estimado pelo modelo logístico com assíntota fixa

² ns – não significativo, *significativo a 5% de significância, ** significativo a 1% de significância.

³ época 1 - plantio em 27/10/2005, época 2 – plantio em 25/11/2005, época 3 – plantio em 16/12/2005.

.. Não se aplica dado numérico.

após plantio” (Tabela 7), mas os valores de R^2 estimados com o uso das duas variáveis tempo foram muito semelhantes.

A comparação das taxas de progresso da doença, entre cultivares, pelo Teste-t (Tabela 11), mostrou resultados muito semelhantes aos da comparação entre as taxas obtidas pela regressão com a variável “dias após plantio”. Novamente, resultados discrepantes foram observados para o cultivar Conquista na época 2, em função do valor elevado do erro padrão.

Como o emprego do *RLT* como variável x não demonstrou vantagens no ajuste do modelo aos dados, optou-se por apresentar apenas as curvas de progresso da doença construídas com o uso de “dias após plantio” como variável tempo, uma vez que as curvas construídas com essa variável permitem melhor visualização do período de tempo em que a epidemia ocorreu, nas três épocas de plantio.

Tabela 9 - Coeficiente de determinação (R^2) e parâmetros do modelo logístico, $Y=1/(1+B_2*\exp(-B_3*x))$, onde Y é a severidade da doença num determinado RLT, B_2 e B_3 são, respectivamente, o inóculo inicial e a taxa de progresso da doença

Genótipo	Época 1			Época 2			Época 3		
	R^2	B_2	B_3	R^2	B_2	B_3	B_2	B_3	R^2
L.01	0,95	34930608	0,176	0,99	2414985	0,175	0,99	164479	0,147
E 315	...	...	...	0,99	29131,9	0,113	0,99	6058,76	0,102
Luziânia	0,97	992532	0,154	0,99	12249,3	0,103	0,99	2039	0,088
Pintado	0,94	742858	0,141	0,99	126900	0,141	0,99	10539,3	0,118
L.02	...	...	...	0,99	103539,8	0,128	0,99	21229	0,119
L.03	0,97	126394,9	0,126	0,99	3750,7	0,089	0,99	8505,25	0,124
Conquista	0,99	119316663	0,202	0,98	86443	0,133	0,99	18741	0,124
CDT-219	...	...	...	0,99	120782	0,129	0,99	14460	0,119

... Dados numéricos não disponíveis

O comportamento semelhante das curvas de progresso dos cultivares E-315, Luziânia, Pintado, Conquista e CDT-219 e das linhagens 1, 2 e 3, nas três épocas de plantio, indica que esses genótipos são igualmente suscetíveis ao patógeno. As epidemias apresentaram caráter explosivo, com altas taxas de progresso da doença. Por outro lado, o comportamento assintótico das curvas de progresso dos cultivares Tianá e E-313 e a estabilização da doença em níveis de severidade muito inferiores a 1, sugere que nesses cultivares há resistência parcial à ferrugem asiática. Coincidentemente, os cultivares Tianá e E-313 são os únicos com ciclo tardio de maturação dentre os genótipos testados. Para Tschanz e Wang (1987) e Hartman, Tschanz e Shanmugazundaram (1997), há uma forte relação entre o ciclo de maturação de plantas de soja e o desenvolvimento da ferrugem. Essa afirmativa foi baseada nos trabalhos desenvolvidos por

Tschanz e Tsai (1982) e Tschanz, Wang e Tsai (1986) (apud TSCHANZ; WANG, 1987) onde o ciclo de maturação de cultivares foi prolongado por meio da exposição de plantas a fotoperíodo mais longo. Assim como o ciclo de maturação das plantas expostas a um maior fotoperíodo foi prolongado, o desenvolvimento da ferrugem também o foi, quando comparado com o desenvolvimento da doença em plantas não expostas ao fotoperíodo prolongado. Os resultados demonstraram que apesar do desenvolvimento mais lento da doença, a severidade final, no estádio R6, foi semelhante em plantas submetidas ou não ao regime mais prolongado de luz. Contudo, ao considerarem a severidade na mesma data após o plantio, os trifólios dos cultivares de ciclo tardio apresentaram severidade menor do que os trifólios das plantas de cultivares precoces. Essas constatações, naquela época, colocaram em dúvida a suposta resistência parcial de algumas linhagens, pois, embora ao longo do desenvolvimento da cultura os materiais de ciclo tardio apresentassem menor intensidade da doença, a severidade final era equivalente à severidade de linhagens de ciclos precoce e médio, que no campo, pareciam ser mais susceptíveis ao patógeno. No presente trabalho, enquanto as estimativas de severidade estavam sendo conduzidas, as plantas dos cultivares Tianá e E-313 apresentavam, claramente, menor intensidade da doença em comparação com os outros genótipos avaliados. A desfolha precoce ocorrida nos ensaios não permitiu a comparação, entre genótipos, da severidade no estádio R6. De qualquer forma, essa comparação não seria necessária para demonstrar o maior nível de resistência parcial nos cultivares Tianá e E-313. A estabilização da doença em níveis de severidade muito abaixo dos outros genótipos é um indicativo seguro de que esses cultivares são mais resistentes que os demais genótipos avaliados.

Tabela 10 - Coeficiente de determinação (R^2) e parâmetros do modelo logístico, $Y=B_1/(1+B_2*\exp(-B_3*x))$, onde Y é a severidade da doença num determinado RLT , B_1 é estimativa da assíntota máxima e B_2 e B_3 são, respectivamente, o inóculo inicial e a taxa de progresso da doença

Época 1				
	R^2	B_1	B_2	B_3
Tianá	0,94	0,397	4648823	0,227
E-313	0,99	0,333	265317109	0,247
Época 2				
	R^2	B_1	B_2	B_3
Tianá	0,99	0,4727	2132432	0,217
E-313	0,99	0,5326	224755	0,191
Época 3				
	R^2	B_1	B_2	B_3
Tianá	0,99	0,449	100126	0,222
E-313	0,99	0.605	38712	0,153

Tabela 11 - Comparação das taxas de progresso da doença¹, estimadas com o emprego do *RLT* como variável tempo, entre cultivares e linhagens pelo Teste-t², nas épocas 1, 2 e 3 de plantio

Época 1							
	L03	Pintado	Luziânia	L01	Conquista		
L03	..	..	..	..	..
Pintado	ns	..	..	..	..
Luziânia	ns	ns	..	..	..
L01	ns	ns	ns	..	..
Conquista	**	ns	ns	ns	..		
Época 2							
	L03	Luziânia	E315	L02	Coodetec	Conquista	Pintado
L03	..	..	..	..	..	..	..
Luziânia	ns	..	..	..	..	..	..
E315	ns	ns	..	..	..	..	..
L02	**	*	ns	..	..	..	..
Coodetec	**	*	ns	ns	..	..	..
Conquista	ns	ns	ns	ns	ns	..	..
Pintado	**	**	*	*	*	ns	..
L01	**	**	**	**	**	ns	**
Época 3							
	Luziânia	E315	Pintado	Coodetec	L02	L03	Conquista
Luziânia	..	..	..	..	..	..	..
E315	ns	..	..	..	..	..	..
Pintado	*	ns	..	..	..	..	..
Coodetec	**	ns	ns	..	..	..	..
L02	**	ns	ns	ns	..	..	..
L03	**	ns	ns	ns	ns	..	..
Conquista	**	ns	ns	ns	ns	ns	..
L01	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹ parâmetro B_3 estimado pelo modelo logístico com assíntota fixa

² ns – não significativo, *significativo a 5% de significância, ** significativo a 1% de significância.

³ época 1 - plantio em 27/10/2005, época 2 – plantio em 25/11/2005, época 3 – plantio em 16/12/2005.

.. Não se aplica dado numérico

2.3.4 Análise da tolerância

Nos ensaios de avaliação de tolerância, a severidade foi estimada assim que a desfolha tornou-se visível nas subparcelas não tratadas (Tabela 12).

Tabela 12 – Severidade¹ (% da área do trifólio com sintomas²) da ferrugem asiática nas subparcelas tratadas (T) e não tratadas (NT) com fungicida, nas três épocas de plantio³, em cultivares e linhagens de soja

Cultivares	Severidade média (%)					
	Época 1		Época 2		Época 3	
	T	NT	T	NT	T	NT
L.03	3,26 a A ⁴	19,98 bc B	17,06 a A	44,14 a B	7,84 a A	44,82 a B
CDT-219	3,54 a A	17,24 abc B	12,84 a A	28,77 a B	8,96 a A	33,76 a B
Tianá	3,64 a A	9,20 a B	13,00 a A	32,26 a B	7,06 a A	32,40 a B
E-313	4,30 a A	11,38 ab B	12,04 a A	32,74 a B	10,72 a A	38,28 a B
L.02	4,50 a A	15,54 abc B	14,58 a A	34,68 a B	9,52 a A	28,68 a B
Luziânia	4,54 a A	16,96 abc B	13,64 a A	40,46 a B	10,4 a A	31,68 a B
E-315	5,62 a A	20,04 abc B	11,80 a A	33,2 a B	12,5 a A	35,18 a B
Conquista	6,42 a A	26,64 c B	14,24 a A	48,28 a B	13,38 a A	34,50 a B
Pintado	9,44 a A	20,08 bc B	20,90 a A	50,50 a B	14,2 a A	55,92 a B
C.V. ⁴ (%)	15,78		9,39		16,95	

¹ Média de 5 plantas amostradas em cada subparcela

² A severidade foi estimada em todos os trifólios da haste central das plantas amostradas

³ Época 1 - semeadura em 31/10/2005; Época 2 - semeadura em 28/10/2005; Época 3 - semeadura em 19/12/2005

³ Médias seguidas das mesmas letras minúsculas (colunas) e maiúsculas (linhas da mesma época) não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. Análise de variância realizada com dados transformados em arco seno $\sqrt{x/100}$

⁴ C.V. = Coeficiente de variação

Os resultados da Linhagem 1 não foram apresentados porque, devido à precocidade do material, a desfolha ocorreu antes da estimativa da severidade, nas três épocas de plantio. A severidade média nas subparcelas tratadas foi 5, 14 e 10% para as épocas 1, 2 e 3, respectivamente e 17, 38 e 37% nas subparcelas não tratadas das épocas 1, 2 e 3, respectivamente. As subparcelas não tratadas com fungicida apresentaram severidade significativamente superior às subparcelas tratadas, em todos os genótipos, nas três épocas de plantio. As subparcelas não tratadas apresentaram, em média, severidades 12,4, 23,9 e 26,7% superiores às tratadas, nas épocas 1, 2, e 3 de plantio, respectivamente. Entre os genótipos não houve diferença estatística dos níveis de severidade, exceto nas subparcelas não tratadas da época

1. Nesse caso, o cultivar Conquista, considerado altamente suscetível ao patógeno, apresentou severidade significativamente superior somente aos cultivares Tianá e EMGOPA-313 (E-313), os únicos genótipos de ciclo tardio. Nas épocas 2 e 3 a epidemia teve início em estádios mais precoces de desenvolvimento da cultura e a severidade das parcelas não tratadas foi estatisticamente semelhante entre os genótipos, independentemente do estágio fenológico em que se encontravam os materiais no momento em que a severidade foi estimada. Kawuki, Tukamuhabwa e Adipala (2004) e Hartman, Wang e Tschanz (1991) sugerem que a estimativa da severidade seja realizada no estágio R6, momento em que os trifólios apresentam-se mais intensamente atacados por *P. pachyrhizi* e por isso melhor se evidenciam as reações de resistência entre genótipos. No presente trabalho a estimativa da severidade foi realizada no momento em que foi observado o início da desfolha (Tabela 13). Temia-se que com o progresso da desfolha, a estimativa da severidade em R6 fosse realizada com baixa amostragem de folhas, pois era sabido, de ensaios preliminares e do breve histórico da doença na região Centro-Oeste do Brasil (ALMEIDA et al., 2005; BRASIL, 2004), que a partir do momento em que a desfolha torna-se perceptível no campo, em poucos dias ela evolui para desfolha total.

Tabela 13 – Estádio fenológico de cultivares e linhagens de soja no momento da avaliação da severidade (% da área do trifólio com sintoma) da ferrugem asiática da soja nas três épocas de plantio¹

Cultivares	Época 1	Época 2	Época 3
E-315	R 6	R 5.4	R 5.2
Luziânia	R 6	R 5.3	R 5.2
Pintado	R 6	R 5.3	R 5.2
Tianá	R 5.2	R 5.1	R 4
L.02	R 6	R 5.3	R 5.2
E-313	R 5.3	R 5.2	R 5.1
L.03	R 6	R 5.3	R 5.2
Conquista	R 6	R 5.4	R 5.2
CDT-219	R 6	R 5.4	R 5.2
Dias após a semeadura	101	96	82

¹ Época 1 - semeadura em 31/10/2005; Época 2 - semeadura em 28/10/2005; Época 3 - semeadura em 19/12/2005.

Nas Tabelas 14, 15 e 16 estão apresentados os resultados do número de trifólios e da estimativa de IAF para as três épocas de semeadura, respectivamente. Na época 1 não houve diferença significativa no número de trifólios da haste central entre as subparcelas tratadas e não tratadas com fungicida, em todos os genótipos (Tabela 14). Resultado semelhante foi observado na época 2 (Tabela 15), em que somente o cultivar Conquista apresentou diferença significativa do número de trifólios da haste central entre subparcelas tratadas e não tratadas. Como a contagem de trifólios foi feita na mesma data em que a severidade foi estimada, ou seja, logo após o início da desfolha, esses resultados forneceram a garantia de que a desfolha estava em sua fase inicial, não comprometendo a estimativa de severidade. Três dias após a contagem dos trifólios, com a ocorrência de chuvas intensas acompanhadas por ventos fortes, a desfolha tornou-se evidente nas subparcelas não tratadas, em todos os cultivares e linhagens, como pode ser observado pela diferença de IAF entre subparcelas tratadas e não tratadas (Tabelas 15 e 16). Na época 3 (Tabela 16), pode-se observar que o IAF foi mais sensível em detectar pequenas diferenças de desfolha entre subparcelas, pois, três dias antes da contagem de trifólios, um número maior genótipos apresentou diferença significativa de IAF entre o tratamento com e sem fungicida, quando comparado com o número de trifólios da haste central. A diferença de IAF entre subparcelas tratadas e não tratadas quinze dias após a estimativa de severidade foi significativa para todas as linhagens e cultivares.

Tabela 14 – Média do número de trifólios da haste central de plantas de soja¹ no momento da avaliação da severidade para linhagens e cultivares tratados (T) e não tratados (NT) com fungicida e suas respectivas diferenças, referentes à primeira época, com plantio em 31/10/2005

Cultivares	Fungicida	Nº de trifólios	Diferença T-NT
E-315	T	12,6	-0,6 ns ²
	NT	13,2	
Luziânia	T	12,2	0,0 ns
	NT	12,2	
Pintado	T	11,6	-0,6 ns
	NT	12,2	
Tianá	T	13,8	2,2 ns
	NT	11,6	
L.02	T	8,8	2,2 ns
	NT	9,0	
E-313	T	13,6	-0,6 ns
	NT	14,2	
L.03	T	11,4	1,6 ns
	NT	9,8	
Conquista	T	13,8	1,8 ns
	NT	12	
CDT-219	T	8,2	0,0 ns
	NT	8,2	

¹ Média de 5 plantas amostradas por subparcela.

² ns: não significativo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A Tabela 17 apresenta o número de dias para a maturação (NDM) das subparcelas tratadas (T) e não tratadas (NT), para as três épocas de semeadura. Independentemente do genótipo, o NDM das subparcelas tratadas foi superior (8,4 dias em média) ao das subparcelas não tratadas, nas três épocas. Analisando apenas as subparcelas tratadas, observa-se que o NDM decresceu da época 1 para a época 3, independentemente do genótipo. Na época 1, o NDM das subparcelas tratadas foi correspondente ao NDM apresentado pelos detentores desses materiais para o Estado de Goiás (CULTIVARES DE SOJA, 2007, GUIA TÉCNICO, 2007, INDICADORES...2006, MONTEIRO³, informação verbal). O ciclo de maturação do cultivar Tianá não foi até então estabelecido para esta região agrícola. Neste trabalho seu ciclo foi de 140 dias nas parcelas tratadas da época 1, o que o enquadra dentro do grupo tardio de maturação.

³ Pedro Manoel F. de Oliveira Monteiro – AGÊNCIARURAL, Goiânia, GO.

Tabela 15 – Número de trifólios da haste central (NDT) de plantas de soja no momento da avaliação da severidade e índice de área foliar (IAF) três dias após a avaliação da severidade (07/mar/2006) para as linhagens e cultivares tratados (T) e não tratados (NT) com fungicida e suas respectivas diferenças, referentes à segunda época, com semeadura em 28/11/2006

Cultivares	Tratamento	NDT	IAF (07/mar)	Diferença T-NT	
				NDT	IAF (07/mar)
E-315	T	9,0	2,39	-0,4 ns	1,17 **
	NT	9,4	1,22		
Luziânia	T	11,6	2,79	-1,2 ns	1,22**
	NT	12,8	1,57		
Pintado	T	9,8	1,97	3,0 ns	1,37**
	NT	6,8	0,60		
Tianá	T	18,4	3,10	2,3 ns	1,35**
	NT	16,1	1,75		
L.02	T	8,5	2,76	-1,7 ns	0,83*
	NT	10,2	1,93		
E-313	T	12,6	3,59	2,1 ns	2,20**
	NT	10,5	1,39		
L.03	T	11,4	2,07	3,9 ns	1,20**
	NT	7,5	0,87		
Conquista	T	9,2	1,89	4,8 **	1,22**
	NT	4,4	0,67		
CDT-219	T	8,1	2,76	1,9 ns	1,52**
	NT	6,2	1,24		

Significativo a 1% (*) e 5% (**) pelo teste de Tukey; ns: não significativo.

Provavelmente, a redução do NDM das subparcelas tratadas da época 2 seja consequência do ataque do patógeno, pois apesar das aplicações periódicas de fungicida e da baixa severidade da doença, a desfolha precoce ocorreu. Na época 3, embora a severidade média das subparcelas tratadas tenha sido 10,5% menor do que na época 2, a desfolha atingiu as plantas em estágio de desenvolvimento ainda mais precoce que na época 2, reduzindo ainda mais o ciclo de maturação. Além do efeito da doença, a data de plantio também pode ter influenciado o ciclo de maturação na época 3. A data máxima de semeadura tolerada na região é 05 de dezembro para o cultivar Conquista, 10 de dezembro para o cultivar CDT-219 e 15 de dezembro para os cultivares Luziânia, E-313 e E-315.

Tabela 16 –Número de trifólios da haste central (NDT) no momento da avaliação da severidade e índice de área foliar (IAF) três dias antes e quinze dias após a avaliação da severidade para as linhagens e cultivares tratados (T) e não tratados (NT) com fungicida e suas respectivas diferenças, referentes à terceira época com semeadura em 19/12/2005

Cultivares	tratamento	NDT	IAF (08/mar)	IAF (20/mar)	Diferença T-NT		
					NDT	IAF (08/mar)	IAF (20/mar)
E-315	T	9,7	3,83	2,24	-1,9 ns	0,99 **	1,45 **
	NT	11,6	2,84	0,79			
Luziânia	T	12,6	4,24	2,35	2,9 *	1,45 **	1,31 **
	NT	9,7	2,79	1,04			
Pintado	T	26,0	3,13	2,02	8,7 **	1,22 **	1,36 **
	NT	17,3	1,91	0,66			
Tianá	T	17,3	4,90	2,71	-2,9 ns	1,29 **	1,40 **
	NT	20,2	2,81	1,31			
L.02	T	11,6	4,13	2,59	2,8 *	0,60 ns	1,60 **
	NT	8,8	3,53	0,99			
E-313	T	14,5	4,12	1,95	2,3 ns	1,26 **	0,86 **
	NT	12,2	2,86	1,10			
L.03	T	16,9	3,72	2,20	6,4 **	1,19 *	1,25 **
	NT	10,5	2,53	0,95			
Conquista	T	14,2	3,52	1,71	4,8 **	1,49 **	0,76 **
	NT	9,4	2,03	0,95			
CDT-219	T	9,1	3,55	2,18	0,3 ns	0,31 ns	1,29 **
	NT	8,8	3,24	0,89			

Significativo a 1% (*) e 5% (**) pelo teste de Tukey; ns: não significativo.

Como a semeadura do ensaio foi realizada em 19 de dezembro, as alterações de fotoperíodo podem ter influenciado o desenvolvimento das plantas, reduzindo o ciclo de maturação (RODRIGUES et al., 2001, SPEHAR; MONTEIRO; ZUFFO, 1993). Contudo, independentemente da influência do fotoperíodo, a diferença de NDM entre parcelas tratadas e não tratadas é bastante evidente e mostra, também para a época 3, a influência da doença na redução do ciclo de maturação.

A produtividade média das subparcelas tratadas foi 11,4%, 49,8% e 77% superior à das subparcelas não tratadas nas épocas 1, 2 e 3, respectivamente (Figura 6).

Tabela 17 – Número de dias para a maturidade fisiológica de plantas de soja nas subparcelas tratadas (T) e não tratadas (NT) com fungicida, nas três épocas de plantio¹, em linhagens e cultivares de soja

Genótipos	Época 1		Época 2		Época 3	
	T	NT	T	NT	T	NT
E-315	126	113	116	112	107	100
Luziânia	137	126	121	116	113	107
Pintado	126	113	116	112	125	107
Tianá	140	137	134	132	143	143
L.02	126	113	116	112	107	100
E-313	137	130	128	121	125	107
L.03	126	113	121	112	113	107
Conquista	126	113	116	109	107	100
CDT-219	126	113	121	116	113	100

¹ Época 1 - semeadura em 31/10/2005; Época 2 - semeadura em 28/10/2005; Época 3 - semeadura em 19/12/2005.

Considerando apenas as subparcelas tratadas, a produtividade na época 1 variou de 3.186 kg.ha⁻¹ (53 sacos.ha⁻¹) para o cultivar Conquista a 1.749 kg.ha⁻¹ (29 sacos.ha⁻¹) para o cultivar Tianá. A produtividade média foi de 2.853 kg.ha⁻¹ (43 sacos.ha⁻¹) valor próximo à produtividade média de 45 sacos.ha⁻¹ obtida na região de Jataí nesse ano agrícola (RELATÓRIO...2006). A maioria dos plantios regionais concentram-se no mesmo período em que foi semeado o ensaio da época 1.

Na época 2, a produtividade das subparcelas tratadas variou de 2.726 kg ha⁻¹ (45 sacos.ha⁻¹) para o cultivar Conquista a 1.516 kg.ha⁻¹ (25 sacos.ha⁻¹) para o cultivar Tianá. A produtividade média de 2.206,6 kg.ha⁻¹ (37 sacos.ha⁻¹) é bastante baixa para a média regional. Apesar das aplicações periódicas de fungicida, a severidade média de ferrugem foi de 14,46% nas subparcelas tratadas da época 2, valor esse 65% superior à severidade média da doença observada na época 1 (Tabela 12). Embora seja um valor relativamente baixo de severidade, este ocorreu quando as plantas se encontravam nos estádios de enchimento de grãos, levando à desfolha total nesse estágio. Oliveira, Godoy e Martins (2005) obtiveram valores de severidade próximos aos observados neste trabalho, porém num momento em que as plantas já haviam atingido o estágio

de maturidade fisiológica. Nesse caso, os autores não observaram influência da doença no rendimento da cultura. Nas subparcelas tratadas da época 3, a produtividade variou de 2.191 kg.ha⁻¹ (37 sacos.ha⁻¹) para a L.02 a 1.227 kg.ha⁻¹ (20 sacos.ha⁻¹) para o cultivar Tianá. A produtividade média foi de 1.776,2 kg.ha⁻¹ (30 sacos.ha⁻¹), considerada muito baixa para a média regional. Apesar da aplicação periódica de fungicida, a severidade da doença foi de 10,5% de área foliar nos estádios iniciais da granação, o que, associado à desfolha, reduziu drasticamente o rendimento nessa época. Outro fator que pode ter contribuído para a redução da produtividade, é a semeadura tardia. O atraso na semeadura faz com que a variação do fotoperíodo reduza o ciclo da cultura e, conseqüentemente, a produtividade. As maiores produtividades, nas três épocas de cultivo, nas subparcelas tratadas e não tratadas, foram alcançadas pelos cultivares Conquista, COODETC 219 (CDT-219), EMGOPA 315 (E-315) e Linhagem 2 (L.02). Os cultivares de ciclo tardio, Tianá e E-313, foram os que apresentaram as mais baixas produtividades, nas três épocas de cultivo, tanto nas subparcelas tratadas como nas não tratadas com fungicida. O cultivar E-313, antes da chegada da ferrugem asiática, foi amplamente cultivado nesta região agrícola, principalmente em áreas recém desmatadas, sempre com bons rendimentos. Contudo, por ser um dos cultivares que apresenta maior queda de produtividade frente à doença, a área cultivada com E-313 foi drasticamente reduzida após o estabelecimento do patógeno nesta região (IVANCKO⁴, informação verbal).

⁴ Eng. Agrônomo Christovam Bittencourt Ivancko – Pró-Campo Consultoria LTDA, Jataí, GO.

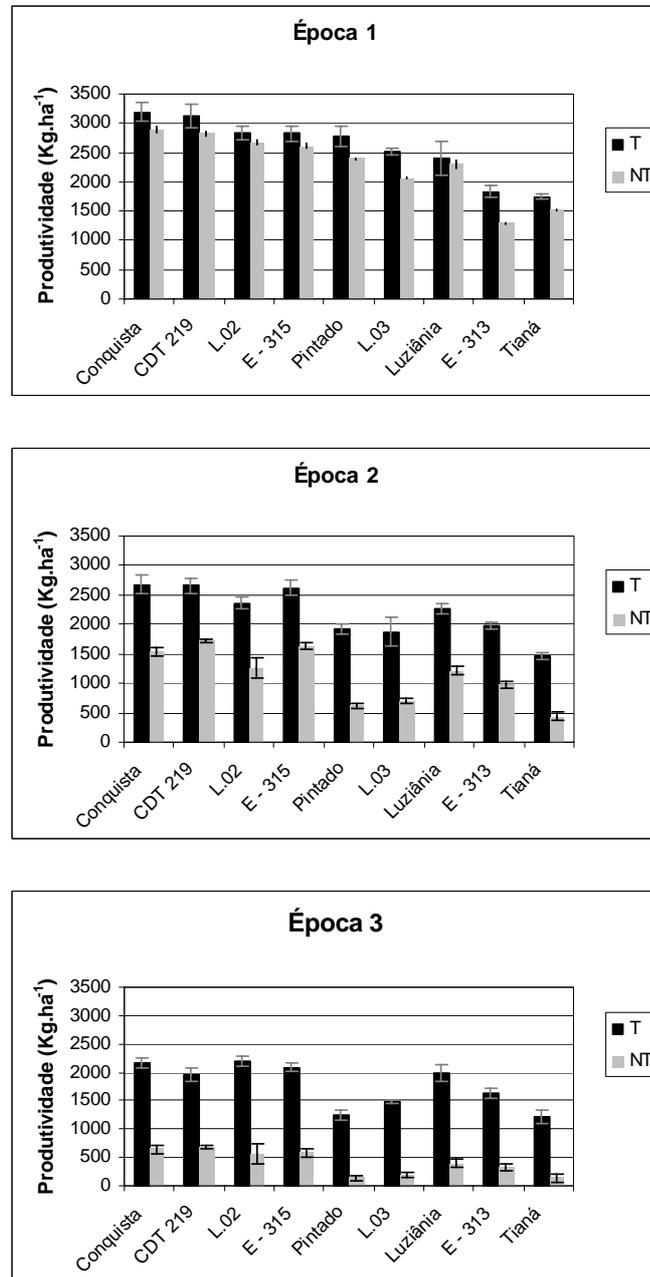


Figura 6 - Produtividade média (kg.ha⁻¹) dos cultivares e linhagens nas subparcelas tratadas (T) e não tratadas (NT) com fungicida para as três épocas de plantio. Barras representam o erro padrão da média

Oliveira, Godoy e Martins (2005) observaram que dentre os cultivares mais empregados na região de Barreiras (BA), as reduções de produtividade foram sempre superiores nos cultivares de ciclo tardio em relação aos cultivares de ciclo médio. Os autores sugerem que com o ciclo mais prolongado, as plantas dos cultivares do grupo tardio de maturação permanecem maior parte do ciclo infectadas pelo patógeno e por isso há maiores reduções de rendimento. O cultivar Tianá não é comercialmente cultivado no sudoeste goiano, mas nos Estados do Mato Grosso e Rondônia, ele apresenta elevado potencial produtivo (Embrapa soja, 2005). A baixa produtividade, mesmo nas parcelas tratadas da época 1, pode ser consequência da falta de adaptação desse material para o sudoeste de Goiás. Cultivares adaptados a regiões de baixa latitude possuem período juvenil longo, característica que impede que a soja floresça precocemente em função dos dias curtos. Contudo, quando são cultivados em regiões de latitude mais elevada, esses cultivares permanecem no estágio vegetativo por um período mais prolongado e têm sua produtividade comprometida (PALUDZYSZYN FILHO et al., 1993).

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os resultados dos componentes de produção peso de mil grãos, número total de vagens por planta e número de grãos por planta para as três épocas de cultivo, respectivamente. Observa-se que o ordenamento dos cultivares não se mantém nas três épocas de cultivo, demonstrando resposta variável das linhagens e cultivares, embora os valores de todos os componentes decresçam da época 1 para a época 3. A análise das figuras também evidencia a diferença marcante dos valores dos componentes de produção entre subparcelas tratadas e não tratadas com fungicida.

As diferenças de produtividade e dos componentes de produção entre subparcelas tratadas e não tratadas estão apresentadas nas Tabelas 18, 19 e 20, para as três épocas de semeadura, respectivamente. Na época 1, a diferença de rendimento entre subparcelas variou de 88,7 a 449,9 kg.ha⁻¹ para Luziânia e L.03, respectivamente e não houve diferença significativa entre subparcelas para os cultivares E-315, Luziânia, Tianá e L.02 (Tabela 18). Esse comportamento, contudo, não pode ser atribuído à tolerância, pois quando a doença incidiu mais precocemente no ciclo da cultura, como ocorreu nas épocas 2 (Tabela 19) e 3 (Tabela 20), a diferença de produtividade entre subparcelas tratadas e não tratadas com fungicida foi significativamente diferente em todos os genótipos. A diferença não significativa entre subparcelas tratadas e não tratadas para aqueles cultivares da época 1 pode ter sido efeito da baixa severidade da doença e da época de início da epidemia, que incidiu tardiamente em relação ao ciclo da cultura, quando os

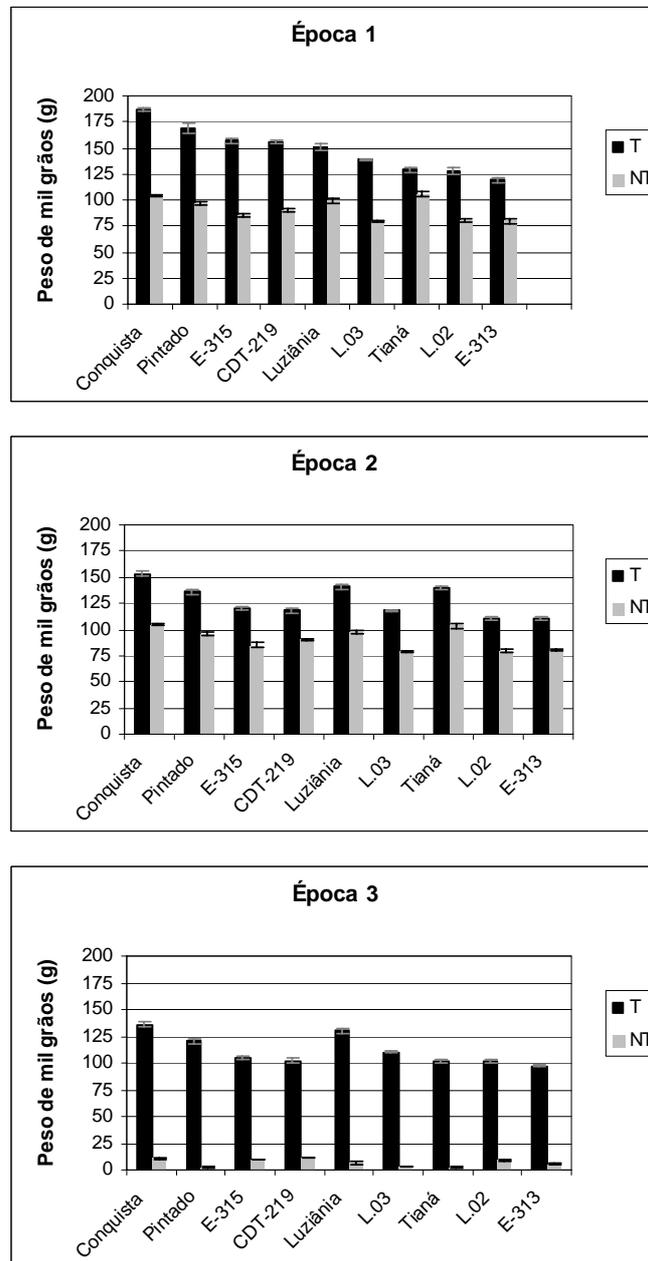


Figura 7 – Valores médios de peso de mil grãos (g) de cultivares e linhagens de soja nas subparcelas tratadas (T) e não tratadas (NT) com fungicida, para as três épocas de plantio. Barras representam o erro padrão da média

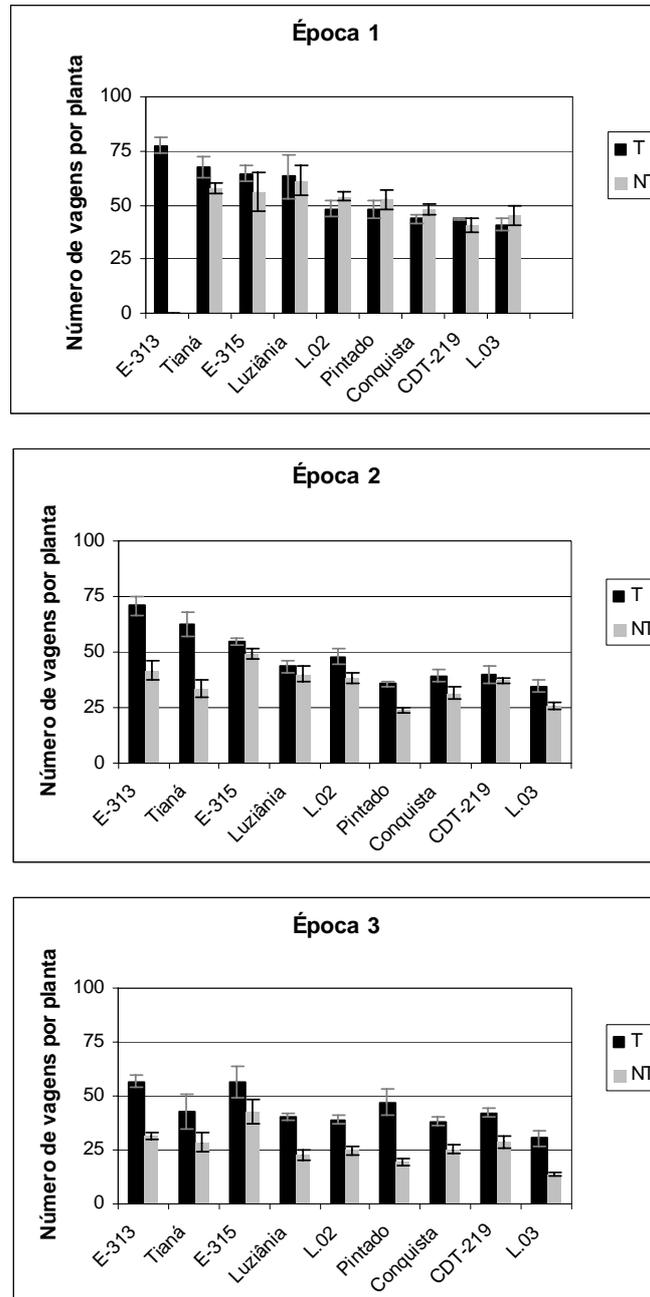


Figura 8 - Valores médios de número de vagens por planta para cultivares e linhagens de soja nas três épocas de plantio nas subparcelas tratadas (T) e não tratadas (NT) com fungicida. Barras representam o erro padrão da média

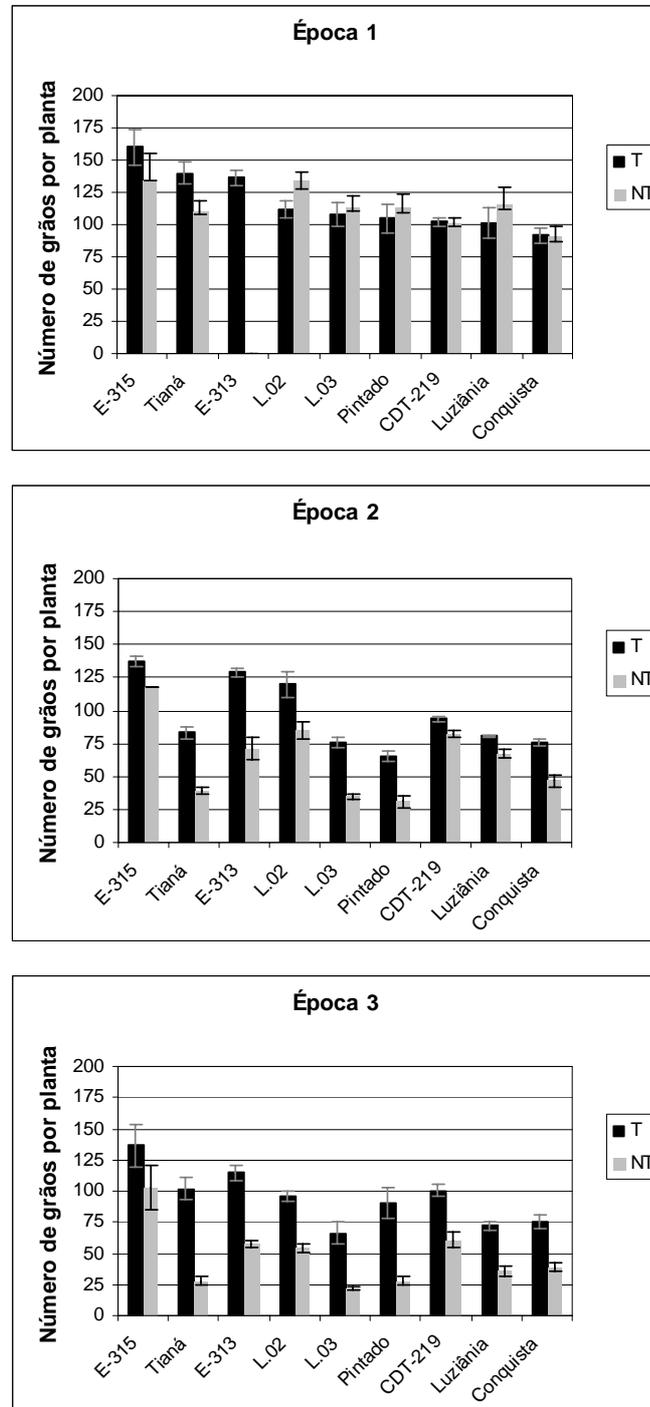


Figura 9 - Valores médios de número de grãos por planta para cultivares e linhagens de soja nas três épocas de plantio nas subparcelas tratadas (T) e não tratadas (NT) com fungicida. Barras representam o erro padrão da média

Tabela 18 – Diferenças de rendimento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), peso (g) de mil grãos (PMG), número total de vagens por planta (NTV) e número total de grãos por planta (NTG) entre subparcelas tratadas e não tratadas com fungicida para cultivares e linhagens de soja na época 1, com plantio em 31/10/2005

Cultivares	$\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	PMG	NTV	NTG
E-315	212,9 ns	71,8**	10,1 ns	29,3*
Luziânia	88,7 ns	51,4**	1,1 ns	-13,8 ns
Pintado	384,0 *	71,8**	-4,7 ns	-8,7 ns
Tianá	225,9 ns	23,3**	9,4 ns	6,4*
L.02	174,9 ns	47,5**	-5,9 ns	-18,2 ns
E-313	532,5 **	39,4**	...	...
L.03	449,9 **	59,0**	-4,1 ns	-1,2 ns
Conquista	286,3 *	82,0**	-4,1 ns	-11,0 ns
CDT 219	306,4 *	65,8**	3,5 ns	9,0 ns

Significativo a 1% (**) e 5% (*) pelo teste de Tukey; ns: não significativo.

... Dado numérico não disponível.

Tabela 19 - Diferenças de rendimento (Kg.ha⁻¹), peso (g) de mil grãos (PMG), número total de vagens por planta (NTV) e número total de grãos por planta (NTG) entre subparcelas tratadas e não tratadas com fungicida para cultivares e linhagens de soja na época 2, com plantio em 28/11/2005

Cultivares	Kg.ha ⁻¹	PMG	NTV	NTG
E-315	982,1**	34,9**	6,1 n.s.	19,5 n.s.
Luziânia	1058,8**	43,6**	3,6 n.s.	13,9 n.s.
Pintado	1313,9**	39,7**	11,7*	34,5**
Tianá	1034,5**	36,5**	13,3**	41,5**
L.02	1094,9**	30,4**	9,7 n.s.	34,6**
E-313	999,4**	29,7**	29,2**	58,3**
L.03	1176,2**	39,0**	8,6 n.s.	40,9**
Conquista	1132,5**	48,8**	8,1 n.s.	29,2**
CDT 219	942,9**	27,6**	2,2 n.s.	10,6 n.s.

Significativo a 1% (**) e 5% (*) pelo teste de Tukey; n.s.: não significativo

Tabela 20 - Diferenças de rendimento (Kg.ha⁻¹), peso (g) de mil grãos (PMG), número total de vagens por planta (NTV) e número total de grãos por planta (NTG) entre subparcelas tratadas e não tratadas com fungicida para cultivares e linhagens de soja na época 2, com plantio em 19/12/2005

Cultivares	Kg.ha ⁻¹	PCS	NTV	NTG
E-315	1508,3**	39,2**	13,4*	34,5**
Luziânia	1594,3**	48,6**	18,0**	36,4**
Pintado	1107,0**	47,7**	27,3**	61,4**
Tianá	1090,4**	47,0**	46,6**	126,4**
L.02	1625,6**	45,1**	14,1**	41,7**
E-313	1292,6**	36,4**	25,1**	56,7**
L.03	1303,4**	38,1**	16,5**	43,6**
Conquista	1510,7**	41,7**	13,1**	36,7**
CDT 219	1280,3**	33,3**	13,8**	39,8**

Significativo pelo teste de Tukey (p < 0,01)

grãos já haviam sido completamente formados. O componente de produção peso de mil grãos foi o que melhor evidenciou a diferença entre subparcelas, pois mesmo nos genótipos E-315, Luziânia, Tianá e L.02, onde a diferença de rendimento não foi significativa, a diferença entre peso de mil grãos foi estatisticamente diferente (Tabela 18). Na época 1, os componentes número de vagens e grãos por planta não apresentaram diferença significativa entre subparcelas tratadas e não tratadas. Isso se deveu ao fato da doença, na época 1, ter iniciado nos estágios finais da granação, quando vagens e sementes já estavam formadas, embora ainda verdes. Nessa fase, a severidade associada à desfolha precoce não interferiu no número de vagens e grãos, mas reduziu o peso dos grãos.

Para o complexo de doenças de final de ciclo da cultura da soja (*Septoria glycines* e *Cercospora kikuchii*), Martins (2003) também não observou efeito significativo no número de

vagens e grãos por planta entre tratamentos que receberam e não receberam fungicidas, pois os sintomas das doenças do complexo ocorreram após o estágio máximo de volume dos grãos (R6) e início da maturação fisiológica (R7). O oídio da soja (*Erysiphe diffusa*), quando ocorreu no início da floração também não reduziu o número de vagens e grãos por planta (MATTIAZZI, 2003). Na época 3 de semeadura, quando a ferrugem asiática ocorreu em estádios anteriores ou iniciais da formação de vagens e grãos, a diferença entre subparcelas foi significativa para os componentes de produção número de grãos e de vagens por planta (Tabelas 19 e 20). A ferrugem asiática, ao ocorrer em estádios precoces da cultura da soja, promoveu o aborto e queda das vagens e chegou a resultar em produtividade média de 408 kg.ha⁻¹ (7 sacos.ha⁻¹). Yang et al (1991) observaram reduções de 40 a 80% na taxa de enchimento de grãos (g.dia⁻¹) do estágio R4 ao R7 de plantas severamente atacadas pelo patógeno em relação a plantas protegidas por fungicida. O número de vagens por planta foi reduzido em 40% nas parcelas sem fungicida, sem, contudo ser observado diferença no número de grãos por vagem. O número de dias para maturação das plantas doentes foi significativamente menor em relação a plantas protegidas com fungicidas. Em plantas inoculadas em R1, Hartman, Wang e Tschanz (1991) observaram reduções de produtividade e de peso de grãos de 62% e 35% (cultiva susceptível) e 22% e 14% (cultivar com resistência parcial).

Nenhum genótipo mostrou-se tolerante à colonização por *P. pachyrhizi*, corroborando com o resultado de Oliveira, Godoy e Martins (2005) em ensaio conduzido de forma semelhante no oeste baiano. A Figura 10 apresenta a análise conjunta dos dados das três épocas de semeadura. A tolerância estaria presente se um determinado genótipo se afastasse da reta de regressão, posicionando-se claramente sob a mesma.

Para dos dados da época 3 observa-se que severidades inferiores às da época 2 levaram a maiores danos, demonstrando que o estágio fenológico da planta no momento em que a epidemia teve início influenciou na redução da produtividade.

A tolerância da soja a *P. pachyrhizi* foi relatada na Ásia por Tchanz e Tsai (1982 appud TCHANZ e WANG, 1987) e por Kawuki; Tukamuhabwa e Adipala (2004), na África. Esses autores utilizam o termo “tolerância” num sentido mais amplo em relação à definição sugerida por Schafer (1971); para aqueles autores, foram considerados tolerantes os cultivares e linhagens que, sob epidemia severa do patógeno, apresentaram boa produtividade, independentemente do nível de severidade da doença.

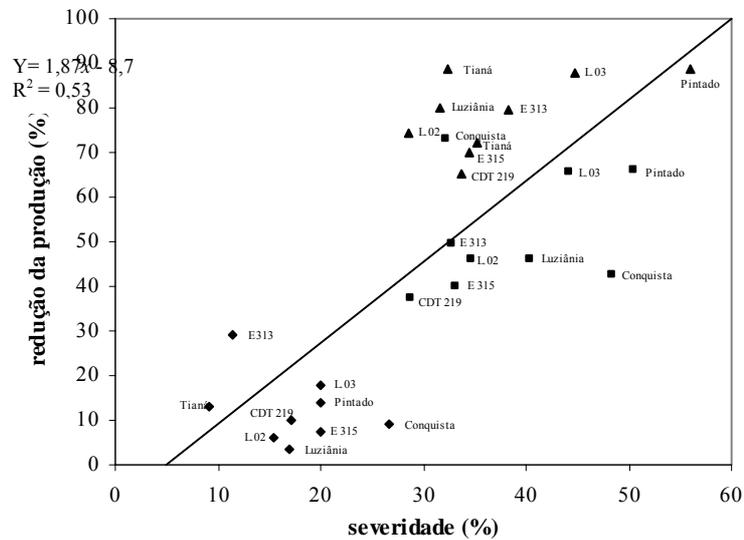


Figura 10 - Relação entre redução da produção (%) e severidade (% da área foliar com sintomas) em plantas de soja infectadas por *P.pachyrhizi* em cultivares e linhagens de soja nas épocas 1 (◆), 2 (■) e 3(▲) de plantio

Para TSCHANZ e WANG (1987), a tolerância de linhagens de soja à ferrugem inclui, também, os efeitos da resistência parcial de linhagens na redução de danos. Hartman, Miles e Frederick (2005) utilizaram o termo “estabilidade produtiva” para as linhagens identificadas como tolerantes na Ásia (TCHANZ; WANG, 1987) e sugerem que a produtividade equiparada entre parcelas com e sem fungicidas daqueles genótipos pode estar relacionada com resistência parcial, a qual não foi caracterizada nem selecionada durante os programas de melhoramento desenvolvidos no Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC), em Taiwan.

No trabalho de Kawuki; Tukamuhabwa e Adipala. (2004) as linhagens do grupo precoce de maturação foram mais tolerantes do que as linhagens de ciclos médio e tardio. A explicação dos autores para esse fato é que a duração do estágio reprodutivo (do florescimento pleno à maturidade fisiológica), período em que o ataque do patógeno causa maiores danos, é menor nas linhagens de ciclo precoce, reduzindo, assim, o efeito do patógeno na produtividade. Esse mecanismo, contudo, representa escape em relação ao patógeno (KIMATI; BERGAMIN FILHO, 1995; AGRIOS, 2005) e não tolerância propriamente dita (SCHAFER, 1971; ZADOKS; SCHEIN, 1979).

Parker et al. (2004) detectaram a ocorrência de tolerância a *Septoria tritici* em cultivares de trigo, por meio da relação entre produtividade e reduções de área foliar sadia do hospedeiro. Num cultivar tolerante, a redução de produtividade foi 30% menor que num cultivar intolerante, mas quando a tolerância foi avaliada por meio da relação entre área foliar lesionada “versus” produtividade, nenhum dos 21 cultivares de trigo testados foi tolerante. Para Politowski e Browning (1978), a tolerância de plantas a doenças é um fenômeno raro que somente pode ser determinado quando são empregados métodos precisos de quantificação da doença, quantificação do patógeno e quantificação da produtividade do hospedeiro, tornando-se impossível, na ausência de tais métodos, estabelecer se há tolerância ou resistência parcial. Os autores determinaram a ocorrência de tolerância à ferrugem da folha da aveia (*Puccinia coronata*) por meio da comparação entre a quantidade do patógeno com a produtividade e peso de grãos do hospedeiro. A quantidade do patógeno foi caracterizada pela contagem cumulativa de esporos, peso de esporos por unidade do tecido do hospedeiro, número e tamanho das pústulas. Foi considerado tolerante o cultivar que apresentou maior quantidade do patógeno, porém mesma produtividade e peso de grãos que outros cultivares com menor quantidade do patógeno. Na maior parte dos genótipos avaliados, contudo, a menor quantidade do patógeno resultou em maiores produtividades do hospedeiro, demonstrando que naqueles genótipos havia resistência parcial e não tolerância à doença. Segundo os autores, se fosse considerado apenas o aspecto visual das folhas infectadas, muitos genótipos seriam considerados tolerantes quando, na verdade, a ocorrência de resistência parcial era responsável por maiores rendimentos em determinados genótipos.

A tolerância de plantas a doenças resulta de características específicas, quantitativas e herdáveis da planta, que embora permitam que o patógeno infecte, colonize e multiplique-se no hospedeiro, este mantém a produtividade similar ao hospedeiro sadio (AGRIOS, 2005). A tolerância ao patógeno é diferente da tolerância à doença, e consiste na habilidade do hospedeiro em suportar a presença do patógeno com pouco ou mesmo nenhum sintoma da doença, um fenômeno bastante evidente em patossistemas envolvendo nematóides e vírus (SCHAFER, 1971; GAUNT, 1981, COOPER; JONES, 1983, TRUDGILL, 1991). Os mecanismos genéticos que levam à tolerância a doença são pouco conhecidos e há pouco progresso registrado nessa área desde que a primeira referência à tolerância de plantas foi feita por Cobb em 1884 (apud Schafer,

1971). No trigo, Zuckerman; Eshel e Eyal (1997) detectaram que a tolerância a *S tritici* ocorria devido ao aumento na taxa de fixação de carbono por unidade de clorofila em folhas infectadas.

Parker et al. (2004) constataram que dentre os 21 cultivares testados na Inglaterra, os tolerantes se encontravam entre os cultivares desenvolvidos há cerca de 20 anos. Todos os cultivares originários dos programas recentes de melhoramento daquele país se comportaram como intolerantes. Para os autores, o intenso programa de melhoramento genético para elevação do potencial produtivo do trigo, provavelmente levou à perda de características que conferem tolerância, sugerindo que as características que conferem tolerância são associadas a penalidades na produtividade. Simms e Triplett (1994) desenvolveram estudos com o patossistema *Ipomea purpurea* - *Colletotrichum dematium* partindo da suposição de que, evolutivamente, a resistência de plantas a doenças requer custos adaptativos da planta. Os autores constataram que a resistência à doença não apresentou nenhum custo adaptativo à espécie hospedeira, mas as progênies tolerantes à doença apresentaram menor capacidade adaptativa (redução do potencial reprodutivo) na ausência da doença. Em ensaios conduzidos no AVRDC, em Taiwan, os cultivares de soja que apresentaram os maiores níveis de tolerância a *P. pachyrhizi* eram os menos produtivos quando na ausência do patógeno (TSCHANZ e WANG, 1987). De qualquer forma há grande expectativa na busca de genótipos de soja tolerantes a *P. pachyrhizi*, principalmente em função da ineficiência da resistência “raça específica” (resistência vertical) e das dificuldades de identificação e quantificação da resistência horizontal (HARTMAN; WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997, HARTMAN; MILES; FREDERICK, 2005. Contudo, dentro dos programas de melhoramento, a tolerância é uma característica não selecionada nas etapas iniciais, quando linhagens com elevada severidade da doença são descartadas. O emprego de cultivares tolerantes tem como vantagem a redução do número de aplicação de fungicida num ciclo da cultura, mas em contrapartida, traz a desvantagem de funcionar como fonte de inóculo do patógeno, uma vez que a tolerância não reduz os processos de infecção, colonização e reprodução do patógeno. Assim, o emprego da tolerância, caso venha a fazer parte de um programa de manejo da doença, deve ser associada a práticas de redução do inóculo inicial, plantio precoce e aplicações de fungicida.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto nos ensaios para caracterização epidemiológica da resistência parcial, como nos ensaios para análise da tolerância, as epidemias de ferrugem asiática da soja apresentaram crescimento explosivo. O menor período de tempo entre o surgimento das primeiras pústulas do patógeno até a desfolha completa das plantas, foi de aproximadamente 14 dias para as épocas 1 e 2 de plantio e 21 dias para a época 3. As epidemias mais longas, sempre observadas nos cultivares Tianá e E-313, tiveram a duração de 46 (época 1), 43 (época 2) e 58 dias (época 3).

A dinâmica do crescimento da doença nos cultivares Tianá e E-313 foi diferente da dinâmica de crescimento dos demais cultivares e linhagens que fizeram parte deste trabalho. A estabilização assintótica da doença foi observada somente nos cultivares Tianá e E-313 e ela ocorreu em níveis muito inferiores a 1, o que foi um indicativo forte da ocorrência de resistência parcial nesses cultivares. Se, contudo, somente a severidade final da doença (último ponto de cada curva) for considerada, não se observa diferença marcante entre os genótipos. É por esse motivo que nos ensaios de tolerância, a severidade da doença, estimada uma única vez poucos dias antes da desfolha, foi estatisticamente semelhante para todos os genótipos. Exceção ocorreu na época 1 onde a severidade da doença nos cultivares Tianá e E-313 foi estatisticamente diferente apenas do cultivar Conquista. Esse fato reforça a necessidade de se utilizar análises de curvas de progresso da doença, que permitem a compreensão da dinâmica de crescimento da epidemia, em relação à análise de uma única estimativa da doença, para determinação mais confiável do nível de resistência parcial. Embora a ferrugem asiática da soja já tenha sido caracterizada como uma pandemia, por meio da análise do seu progresso nos Estados brasileiros, outros estudos como o do presente trabalho, que demonstram o progresso da doença em parcelas experimentais, não foram realizados. Dessa forma, comparações das curvas de progresso da doença estabelecidas neste trabalho, com outras curvas, para outros cultivares e em outras regiões de cultivo, não podem ser feitas.

Apesar do maior nível de resistência parcial, os cultivares Tianá e E-313 mostraram-se intolerantes à doença, assim como os demais cultivares e linhagens avaliados neste trabalho. Ausência de tolerância também foi constatada na Bahia, em outros genótipos (OLIVEIRA; GODOY; MARTINS, 2005). Esses resultados se tornam ainda mais desanimadores com as sugestões, da literatura científica, de que a tolerância é uma característica associada à rusticidade

dos genótipos, não sendo compatível com a seleção para elevada produtividade. De fato, em trabalhos conduzidos na Ásia, linhagens de soja consideradas tolerantes à ferrugem asiática foram as que apresentaram menores produtividades na ausência do patógeno. Pesquisadores da Ásia e da África vem utilizando o termo tolerância de forma mais abrangente que a definição de Schafer (1971) e apontam como tolerantes, as linhagens que apresentam boa produtividade mediante epidemia severa do patógeno, independentemente da determinação severidade da doença em cada genótipo. Para esses autores, tolerância inclui, também, os efeitos da resistência parcial de linhagens na redução de danos. A vantagem, é que sob esse ponto de vista, os ensaios experimentais requerem apenas a análise da redução da produtividade entre parcelas tratadas e não tratadas com fungicida, sendo desnecessária a quantificação da doença, tarefa árdua e minuciosa. A detecção da tolerância *sensu* Schafer (1971) requer ensaios mais elaborados, onde a estimativa da severidade deve ser criteriosamente realizada para posterior comparação entre cultivares. São considerados tolerantes apenas os cultivares que sob a mesma intensidade do ataque do patógeno, obtém melhores produtividades.

A ferrugem asiática da soja causou redução drástica da produtividade nas parcelas experimentais. Nas subparcelas não tratadas, a produtividade foi reduzida em 11,4%, 48,8% e 77% em relação às parcelas tratadas, nas épocas 1, 2 e 3, respectivamente. Nas subparcelas tratadas, a doença esteve presente mesmo com as aplicações periódicas de fungicida e embora a redução tenha sido menor nas subparcelas tratadas do que nas subparcelas não tratadas, somente na época 1 de plantio produtividade das subparcelas tratadas foi equivalente à produtividade média regional. Nas épocas 2 e 3, a produtividade das subparcelas tratadas foi bastante inferior à produtividade média do Estado. Esses fatos reforçam a importância da adoção do “vazio sanitário” e do estímulo à semeadura de cultivares de ciclo precoce e médio, logo no início da estação de cultivo. A redução do inoculo inicial por meio do vazio sanitário faz com que a epidemia seja atrasada, e quanto mais tarde no ciclo da cultura a ferrugem iniciar, menor será o número de pulverizações necessárias, maior será a eficiência do fungicida e conseqüentemente, menor será a redução da produtividade.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G.N. **Plant Pathology**. 5 th ed. California: Academic Press, 2005. 922p.
- AKAMATSU, M. A.; FIGUEIREDO, M. B.; HARAKAVA, R. Detecção e distinção de *Phakopsora pachyrhizi* e *P. meibomiae* em Amostras do Herbário Uredinológico do Instituto Biológico. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.29, supl., p.277-278, 2004. (Resumo).
- ALMEIDA, A.M.R.; YORINORI, J.T.; SILVA, J.F.V.; HENNING, A.A.; GODOY, C.V.; COSTAMILAN, L.M.; MEYER, M.C. Doenças da soja. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4 ed. São Paulo: Ceres, 2005. cap.64 2v. p. 569-588.
- ALVES, S.A.M. **Quantificação dos parâmetros da pré-penetração e monocíclicos relacionados ao patossistema *Phakopsora pachyrhizi*-soja**. 2007. 64 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças das plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Ceres, 1996. chap. 5, p. 73-97.
- BONDE, M.R.; BROWN, M.F. Morphological comparison of isolates of *Phakopsora pachyrhizi* from different areas of the world. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.26, p. 1443-1449, 1980.
- BONDE, M.R.; MELCHING, J.S.; BROMFIELD, K.R. Histology of the suscept-pathogen relationship between *Glycine max* and *Phakopsora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. **Phytopathology**, Lancaster, v.66, p. 1290-1294, 1976.
- BONDE, M.R.; PETERSON, G.L.; DOWLER, W.M. A comparison of isozymes of *Phakopsora pachyrhizi* from the eastern hemisphere and the new world. **Phytopathology**, Lancaster, v.78, p.1491-1494, 1988.
- BONDE, M.R.; NESTER, S.E.; AUSTIM, C.N.; STONE, C.L.; FREDERICK, R.D. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomiae* isolates. **Plant Disease**, Saint Paul, v.78, p.706-716, 2006.
- BONDE, M.R.; PETERSON, G.L.; DOWLER, W.M. A comparison of isozymes of *Phakopsora pachyrhizi* from the eastern hemisphere and the new world. **Phytopathology**, Lancaster v.78, p.1491-1494, 1988.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Consórcio anti-ferrugem**, Nov. 2004. 1 CD-ROM.

BROMFIELD, K.R. **Soybean Rust Monography**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1984. 1v.

BROMFIELD, K.R.; HARTWIG, E.E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, Madison, v.20, p.254-255, 1980.

BROMFIELD, K.R.; MELCHING, J.S.; KINGSOLVER, C.H. Virulence and aggressiveness of *Phakopsora pachyrhizi* isolates causing soybean rust. **Phytopathology**, Lancaster, v. 70, p. 17-21, 1980.

CAMARGO, L.E.A. Análise genética da resistência e da patogenicidade. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, 1995. cap. 24 p.470-491.

CAMARGO, L.E.A.; BERGAMIN FILHO, A. Controle genético. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, 1995. cap. 37, p.729-758.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley, 1990. 532p.

CARVALHO JUNIOR, A.A.; FIGUEREDO, M.B. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 26, p.197-200, 2000.

COOPER, J.; JONES, A.T. Responses of plants to viruses: proposals for the use of terms. **Phytopathology**, Lancaster, v. 73, p. 127-128, 1997.

CULTIVARES DE SOJA 2007.COODETEC, 2007. 1 folder

DESLANDES, J.A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causadas por *Phakopsora pachyrhizi* no Estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira, Brasília**, v.4, p.337-339, 1979.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; CANTERI, M.G.; REIS, E.M.; YANG, X.B. Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.533-544, 2007.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, Lancaster, v.96, p.797-803, 2006.

EMBRAPA Soja. Roraima colhe mais uma safra sem a ferrugem asiática da soja. Disponível em: < <http://www.cnpso.embrapa.br/alerta>>. Acesso em: 15 maio 2007.

EMBRAPA. Notícias EMBRAPA Soja – EMBRAPA Soja apresenta 14 novas cultivares de soja RR e convencionais na Reunião de Soja. Disponível em:< <http://www.embrapa.gov.br/noticias> > acesso em 24 ago. 2005.

FERREIRA, D.F. SISVAR versão 4.2 DEX/UFLA, 2003. 1 v.

FREDERICK, R.D.; SNYDER, C.L.; PETERSON, G.L.; BONDE, M.R. Polymerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. **Phytopathology**, Lancaster, v. 92, p. 217-227, 2002.

FURTADO, G.Q. **Ferrugem asiática da soja: métodos de preservação dos urediniósporos e fatores relacionados à infecção do hospedeiro**. 2007. 79p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

GAUNT, R.E. Disease tolerance – an indicator of thresholds? **Phytopathology**, Lancaster, v.71, p. 915-916, 1981.

GODOY, C.V.; KOGA, L.; CANTERI, M.G.. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.31, p. 63-68, 2006.

GUIA TÉCNICO 2007 – **Cultivares de soja**. EMBRAPA, EPAMIG. Uberaba: Fundação Triângulo, 2007. 36p. (1 folder)

HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, Saint Paul, v.89, p.664-666, 2005.

HARTMAN, G.L.; WANG, T.C.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust research: Progress and future prospects. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 5., 1997, Bangkok. **Proceedings**...Bangkok: Kasetsart University Press, 1997. p. 180-186.

HARTMAN, G.L.; WANG, T.C.; TSCHANZ, A.T. Soybean rust development and the quantitative relationship between rust severity and soybean yield. **Plant Disease**, Saint Paul, v.75, p.596-600, 1991.

HARTWIG, E.E. Identification of a fourth major genes conferring to rust in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 26, p.1135-1136, 1986.

INDICADORES TÉCNICOS DAS CULTIVARES DE SOJA SAFRA 2007/2008. Agrofava sementes, 2007. (1 folder)

IVANCOVICH, A. Soybean Rust in Argentina. **Plant Disease**, Sain Paul, v.89, p.667-668, 2005.

KAWUKI, R.S.; TUKAMUHABWA, P.; ADIPALA, E. Soybean rust severity, rate of rust development, and tolerance as influenced by maturity period and season. **Crop Protection**, Guildford , v. 23, p. 447-455, 2004.

KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO, A. Princípios gerais de controle. In: BERGAMIN FILHO, A., KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de Fitopatologia**: Princípios e conceitos. 3.ed. São Paulo: Ceres, 1995. cap 34 p. 692-709.

- KOCH, E.; HOPPE, H.H. Development of infection structures by the direct-penetrating soybean rust fungus (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) on artificial membranes. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v.122, p.232-244, 1988.
- KOCH, E.; EBRAHIM-NESBAT, F.; HOPPE, H.H. Light and electron microscopic studies on the development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in susceptible soybean leaves. **Phytopathologische Zeitschrift**, Berlin, v.106, p. 302-320, 1983.
- LEVY, C. Epidemiological and chemical control of soybean rust in southern Africa. **Plant Disease**, Saint Paul, v.89, p.669-674, 2005.
- MARCHETTI, M.A.; UECKER, F.A.; BROMFIELD, K.R. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. **Phytopathology**, Lancaster, v.65, p.822-823, 1975
- MARCHETTI, M.A.; MELCHING, J.S.; BROMFIELD, K.R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, Lancaster, v. 66, p. 461-463, 1976.
- MARTINS, M.C. **Produtividade da soja sob influência de ocorrência natural de *Septoria glycines* Hemmi e *Cercospora kikuchii* (Matsu. & Tomoyasa) Gardner com e sem controle químico**. 2003. 116 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- MATTIAZZI, P. **Efeito do oídio (*Microsphaera diffusa* Cooke & Peck) na produção e duração da área foliar sadia da soja**. 2003. 49p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- MELCHING, J.S.; DOWLER, W.M.; KOOGLE, D.L.; ROYER, M.H. Effect of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 73, p. 117-122, 1989.
- MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. e HARTMAN, G.L. Evaluation of soybean germoplasm for resistance to *Phakopsora pachyrhizi*. **Plant Health Progress** www doi: 10.1094/PHP-2006-0104-01-RS., 2006. acesso em: 14 maio 2007.
- OLIVEIRA, A.C.B.; GODOY, C.V.; MARTINS, M.C. Avaliação da tolerância de cultivares de soja à ferrugem asiática no Oeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 658-662, 2005.
- ONO, Y.; BURITICÁ, P. ; HENNEN, J.F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. **Mycological Research**, Cambridge, v.96, p.825-850, 1992.
- PALUDZYSZYN FILHO, E.; KIIHL, R.A.S.; ALMEIDA, L.A. Desenvolvimento de cultivares de soja na Região Norte e Nordeste do Brasil. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I. M. (Ed.). **Cultura da soja nos Cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.255-263.

PARKER, S.R.; WELHAM, S.; PAVELEY, N.D.; FOULKES, J.; SCOTT, R.K. Tolerance of Septoria leaf blotch in winter wheat. **Plant Pathology**, London, v.53, p.1-10, 2004.

PIVONIA, S.; YANG, X.B. Assessment of the potential year round establishment of soybean rust throughout the world. **Plant Disease**, Sain Paul, v.88, p. 523-529, 2004.

PIVONIA, S.; YANG, X.B. Relating epidemic progress from a general disease model to seasonal appearance time of rusts in the United States: Implications for soybean rust. **Phytopathology**, Lancaster, v.96, p. 400-407, 2006.

POLITOWSKI, K.; BROWNING, J.A. Tolerance and resistance to plant disease: an epidemiological study. **Phytopathology**, Lancaster, v.68, p.1177-1185, 1978.

REIS, E.M.; SARTORI, A.F.; CÂMARA, R.K. Modelo climático para a previsão da ferrugem da soja. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.290-292, 2004.

RELATÓRIO ANUAL DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA NO MUNICÍPIO DE JATAÍ. **SAFRA 2005/2006**. Jataí: Secretaria Municipal de Agricultura: Sindicato Rural de Jataí, 2006. 1v.

RITCHIE, S.; HANNWAY, J.J.; THOMPSON, H.E. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology; Cooperative Extension Service, 1982. 20p. (Special Report, 53).

RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHAMBY, J.C.B.; BERTAGNOLLI, P.F.; LUZ, J.S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 431-437, 2001.

ROSSI, R.L. First report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal organism of soybean rust, in the province of Misiones, Argentina. **Plant Disease**, Sain Paul, v. 87, p. 102, 2003.

SCHAFER, J.F. Tolerance to plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.8, p.235-252, 1971.

SCHNEIDER, R.W.; HOLLIER, C.A.; WHITAM, H.K. First Report of Soybean Rust Caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the continental United States. **Plant Disease**, Sain Paul, v. 89, p. 774, 2005.

SINCLAIR, J.B; HARTMAN, G.L. Soybean rust. In: HARTMAN, G.L.; SINCLAIR, J.B.;RUPE, J.C. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**. 4 th.ed. St Paul: American Phytopathology Society, 1999. p.25-26.

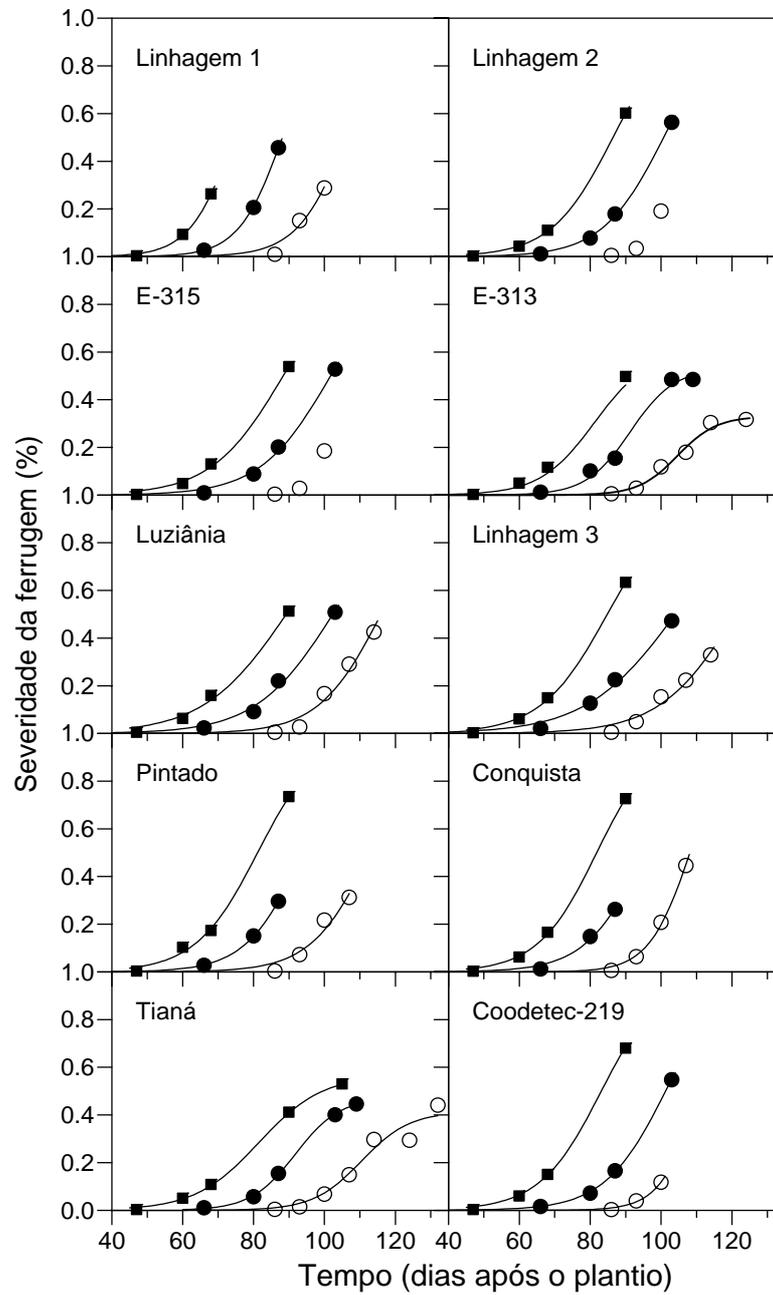
SIMMS, E.L.; TRIPLETT, J. Costs and benefits of plant responses to disease: resistance and tolerance. **Evolution**, Lancaster, v.48, p.1973-1985, 1994.

- SOUZA, P.F.C.; ALVES, E.; CASTRO, H.A. Influência da temperatura no desenvolvimento de teliósporos de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p.227-231, 2006.
- SPEHAR, C.R.; MONTEIRO, P.M.F. DE O.; ZUFFO, N.L. Melhoramento genético da soja na Região Centro-Oeste. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, MELO, P.I. (Ed.). **Cultura da soja nos Cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.229-251.
- STATSOFT INC. Statistica 6.0 Tulsa, 2001. Disponível em www.statsoft.com. Acesso em 22 nov.2001.
- TRUDGILL, D.L. Resistance to and tolerance of plant parasite nematodes in plants. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.29, p.167-192, 1991.
- TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C. Interrelationship between soybean development, resistance, and *Phakopsora pachyrhizi*. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE SOCIETY FOR THE ADVANCED OF BREEDING RESEARCH IN ASIA AND OCEANIA, 5., 1985, Bangkok, Thailand. **Proceedings**...Bangkok, 1987. p.14-20.
- YANG, X.B.; ROYER, M.H.; TSCHANZ, A.T.; TSAI, B.Y. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential planting experiments. **Phytopathology**, Lancaster, v.80, p. 1421-1427, 1990.
- YANG, X.B., TSCHANZ, A.T., DOWLER, W. M. ; WANG, T.C. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybean infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v.81, p.1420-1426, 1991.
- YORINORI, J.T. et al. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguai from 2001 to 2003. **Plant Disease**, Saint Paul, v.89, p.675-677, 2005.
- YORINORI, J.T. Soja, In: VALE, F.X.R. do; ZAMBOLIM, L. (Ed). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 1997. cap. 21, p. 953-1023.
- YORINORI, J.T. et al. Epidemia da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, em 2001 e 2002. **Fitopatologia Brasileira**, Jaboticabal, v.27 (Supl.), S.178, 2002.
- YORINORI, J.T. **Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e na América do Sul**. In: YORINORI, J.T.; LAZZAROTO, J.J.Londrina: EMBRAPA soja, 2004. 27p.
- YORINORI, J.T.; CHARCHAR, M.J.A.; NASSER, L.C.B.; HENNING, A.A. Doenças da soja e seu controle. In: ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I.M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.333-397.
- ZADOKS, J.C.; SCHEIN, R.D. Disease and crop loss assessment. In: _____ . **Epidemiology and plant disease management**. New York: Oxford University Press, 1997. chap. 8, p. 237-279.

ZAMBENEDETTI, E. B. **Preservação de *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow e aspectos epidemiológicos e ultra-estruturais da sua interação com a soja (*Glycine max* (L.) Merrill).** 2005. 92p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

ZUCKERMAN, E.; ESHEL, A.; EYAL, Z. Physiological aspects related to tolerance of spring wheat cultivars to *Septoria tritici* blotch. **Phytopathology**, Lancaster, v. 87, p. 60-65, 1997.

ANEXO



ANEXO – Curvas de progresso da ferrugem asiática da soja. Círculos vazios correspondem aos dados da época 1 de plantio (27/10/2005), círculos cheios correspondem aos dados da época 2 de plantio (25/11/2005) e quadrados cheios correspondem aos dados da época 3 de plantio (16/12/2005). Linha contínua representa o ajuste dos dados ao modelo logístico.