

ADÉLIA CRISTINA FERNANDES SILVA

REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA AO *Pratylenchus brachyurus*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas.

Orientadora:

Profa. Dra. Mara Rúbia da Rocha

Coorientador (a):

Profa. Dra. Patrícia G. Santos Melo

Goiânia, GO – Brasil
2014

AGRADECIMENTOS

Senhor Deus, obrigada por guiar meus passos e iluminar meu caminho, me dando força e sabedoria. Obrigada por me proporcionar mais essa conquista e que meus passos continuem sendo guiados pela sua luz divina. Com o coração repleto de alegria, gostaria de agradecer a todos que contribuíram para que eu chegasse até aqui. Por isso agradeço,

À minha família, com um carinho especial. Meus pais José Amando e Bárbara, meu irmão José Amando Júnior, minha cunhada Jeana e minha linda sobrinha Ana Manuela que chegou durante este período, pelo apoio, companheirismo, incentivo, orações e por estarem sempre dispostos a me ajudarem.

Ao meu namorado Matheus Fagundes, que esteve sempre me apoiando, me dando força e me auxiliando. E um agradecimento especial à sua família que tanto torcem pelo meu sucesso.

À professora Mara Rúbia da Rocha, pela orientação, amizade e colaboração na minha formação, me proporcionando conhecimento. À co-orientadora Patrícia Guimarães Santos Melo, que agora no curso de doutorado, continuou me auxiliando e me dando suporte.

Aos amigos do Laboratório de Nematologia, que juntos formamos uma equipe com a qual me orgulho de ter trabalhado. Incluo aqui os que chegaram e saíram durante o curso e aqueles que recentemente conheci. Por eles tenho carinho e gratidão imensos, pois sem essa equipe não seria possível concluir com êxito este estudo.

A todos aqueles que conheci nesta Universidade, aos colegas de curso que sempre demonstraram amizade e torceram por mim. Também aos funcionários e aos queridos professores que participaram deste período da minha vida.

Ao Curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade Federal de Goiás, pela oportunidade em realizar o Curso de Doutorado.

À CAPES e à FAPEG, pela concessão de bolsa de estudos.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	4
GENERAL ABSTRACT	6
1 INTRODUÇÃO GERAL	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 A CULTURA DA SOJA	10
2.2 OS FITONEMATOIDES NA CULTURA DA SOJA	12
2.3 NEMATOIDE DAS LESÕES RADICULARES <i>Pratylenchus</i> <i>brachyurus</i> (GODFREY, 1929) FILIPJEV & STEKHOVEN 1941	13
2.3.1 Aspectos gerais	13
2.3.2 Biologia e ciclo de vida	14
2.3.3 Influência da concentração de inóculo de <i>P. brachyurus</i>	16
2.4 MELHORAMENTO GENÉTICO PARA RESISTÊNCIA A FITONEMATOIDES.....	18
2.4.1 Resistência de soja a <i>P. brachyurus</i>	18
2.4.2 Análise dialélica na resistência a fitonematoides	21
3 REAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA E SUAS PROGÊNIES F₁ A <i>Pratylenchus brachyurus</i>	26
RESUMO	26
ABSTRACT	27
3.1 INTRODUÇÃO	27
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.3.1 Reação de cultivares de soja a <i>P. brachyurus</i> em condições de campo	34
3.3.2 Análise dialélica para resistência de genótipos de soja a <i>P.</i> <i>brachyurus</i> em condições de casa de vegetação	38
3.4 CONCLUSÃO	42
4 COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE SOJA SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE INÓCULO DE <i>Pratylenchus brachyurus</i> EM TRÊS ÉPOCAS DE PLANTIO	44
RESUMO	44
ABSTRACT	45
4.1 INTRODUÇÃO	45
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	47
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.4 CONCLUSÃO	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
6 REFERÊNCIAS	57

RESUMO GERAL

SILVA, A. C. F. **Reação de genótipos de soja ao *Pratylenchus brachyurus***. 2014. 67 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014¹.

A soja é a cultura agrícola mais importante do Brasil, o qual se destaca por ser o segundo maior produtor mundial do grão. Diversos são os problemas fitossanitários que afetam a cultura e ocasionam perdas na produção, dentre eles os fitonematoides. *Pratylenchus brachyurus* é um dos nematoides mais disseminados na cultura da soja nas áreas produtoras do Brasil. A busca por genótipos de soja que apresentem resistência a este fitonematoide tem sido muito difundida, porém, há ainda divergência em relação ao comportamento de diversas cultivares brasileiras. A avaliação de cultivares de soja em áreas infestadas não tem indicado a existência de materiais resistentes ou tolerantes. Dessa forma, neste estudo avaliou-se a reação ao *P. brachyurus* de seis cultivares de soja e de oito populações F₁ originadas por cruzamentos em esquema de dialelos parciais. Avaliou-se também o comportamento dessas cultivares, submetidas a diferentes concentrações de inóculo, em três épocas de plantio. O primeiro estudo teve como objetivo avaliar a reação das cultivares e das populações F₁ ao fitonematoide *P. brachyurus*. Para isso, foram conduzidos dois experimentos, um em condições de campo naturalmente infestado, avaliando-se as cultivares MT/BR51 (Xingu), BRSGO Caiapônia, MSOY 8360RR, BRS 8560RR, Emgopa 313RR e MSOY 7639RR, e outro em condições de casa de vegetação, em que foram avaliadas, em esquema de dialelo parcial, além destas cultivares, as progênies F₁ obtidas pelo cruzamento entre os genitores do grupo I (Xingu e BRSGO Caiapônia) e do grupo II (MSOY 8360RR, BRS 8560RR, Emgopa 313RR e MSOY 7639RR). No experimento de campo todas as cultivares comportaram-se como suscetíveis, com exceção da cultivar Xingu que apresentou comportamento de resistência na avaliação aos 60 dias após a semeadura (DAS) com um FR de 0,80. Porém, na avaliação aos 30 DAS esta cultivar possibilitou a multiplicação de *P. brachyurus*. Já em casa de vegetação, todos os genitores comportaram-se como resistentes. A análise dialélica evidenciou a presença de efeitos aditivos e não aditivos no controle da resistência. A cultivar Xingu apresentou a melhor capacidade geral de combinação e o cruzamento entre as cultivares Xingu e MSOY 8360RR foi o mais promissor em gerar progênies com reação de resistência. O segundo estudo teve como objetivo avaliar o comportamento das cultivares BRSGO Caiapônia, MT/BR 51 (Xingu), MSOY 8360RR, MSOY 7639RR, BRS 8560RR e Emgopa 313RR submetidas a diferentes concentrações de inóculo de *P. brachyurus*, em três épocas de plantio. Para isso, foram conduzidos três experimentos sob condições de casa de vegetação, para avaliar a reação das cultivares com relação às concentrações iniciais de inóculo de 200, 400 ou 600 juvenis e/ou adultos de *P. brachyurus* por parcela, semeadas em três épocas diferentes. A época de semeadura interferiu na infecção de *P. brachyurus* e, conseqüentemente, no desenvolvimento das plantas. As temperaturas registradas na segunda época de semeadura, provavelmente, favoreceram a multiplicação de *P. brachyurus* ocasionando o menor desenvolvimento das raízes das cultivares. Nesta época observou-se a maior densidade populacional de *P. brachyurus*. Na terceira época, a temperatura média do ambiente apresentou-se mais amena, quando se notou que todas as cultivares apresentaram baixas densidades populacionais de *P. brachyurus* e comportamento resistente. Observou-se tendência de aumento na densidade populacional do fitonematoide à medida que se aumentou a concentração de inóculo, nas primeira e

segunda época de plantio. Com base nesses resultados observa-se a vulnerabilidade dos genótipos brasileiros de soja ao *P. brachyurus* e a existência de variabilidade do patógeno. Mais pesquisas são necessárias visando à identificação de genótipos que possuam resistência a este nematoide, assim como estudos populacionais relacionados ao *P. brachyurus*. Nestes estudos deve-se levar em conta a variação anual da população do nematoide em razão da baixa infectividade observada em épocas de temperaturas mais amenas.

Palavras-chave: *Glycine max*, nematoide das lesões radiculares, resistência, dialelo, concentração de inóculo.

¹ Orientadora: Profa. Dra. Mara Rúbia da Rocha. EA-UFG.
Co-Orientadora: Dra. Patrícia Guimarães Santos Melo. EA-UFG

GENERAL ABSTRACT

SILVA, A. C. F. **Reaction of soybean genotypes to *Pratylenchus brachyurus***. 2014. 67f. Thesis (Doctorate in Genetics and Plant Breeding) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014¹.

Soybean is the most important crop in Brazil, which is known for being the second largest producer of the grain. There are several phytosanitary problems that affect the culture and cause losses in production, including plant nematodes. *Pratylenchus brachyurus* is one of the most widespread nematodes in soybean producing areas of Brazil. The search for genotypes that have resistance to this plant nematode has been widespread, but there is still disagreement regarding the behavior of several Brazilian cultivars. Evaluation of soybean cultivars in infested areas has not indicated the existence of materials resistant or tolerant. Thus, this study was to evaluate the reaction to *P. brachyurus* of six soybean cultivars and eight F₁ populations originated from crosses in partial diallel arrangement. We also evaluate the behavior of cultivars exposed to different inoculum concentrations in three planting dates. The first study aimed to evaluate the reaction of cultivars and F₁ populations of the plant nematode *P. brachyurus*. Experiments were conducted in naturally infested field conditions to evaluate the cultivars MT/BR51 (Xingu), BRSGO Caiapônia, MSOY 8360RR, BRS 8560RR, Emgopa 313RR and MSOY 7639RR and another in greenhouse conditions, which were evaluated in addition to these cultivars, the F₁ progenies obtained by crossing between the parents of group I (Xingu and BRSGO Caiapônia) and group II (MSOY 8360RR, BRS 8560RR, Emgopa 313RR and MSOY 7639RR). In the field experiment all cultivars were susceptible to plant nematode, except the cultivar Xingu that showed behavior of resistance in the evaluation at 60 days after planting (DAP) with a RF of 0,80. However, this cultivar enabled the multiplication of *P. brachyurus* in the evaluation at 30 DAP. In the greenhouse condition, all parents behaved as resistant. The diallel analysis revealed the presence of non-additive and additive effects in controlling resistance. The Xingu cultivar showed the best GCA and cross between the cultivars Xingu and MSOY 8360 RR was the most promising in generating progeny with resistance reaction. The second study aimed to evaluate the reaction of soybean cultivars BRSGO Caiapônia, MT/BR51 (Xingu), MSOY 8360RR, MSOY 7639RR, BRS 8560RR and Emgopa 313RR, subjected to different inoculum concentrations in three planting dates. For this, three experiments were conducted under greenhouse conditions to evaluate the reaction of soybean cultivars under initial inoculum concentrations of 200, 400 or 600 juveniles and/or adults of *P. brachyurus* per plant in three planting dates. The planting date interferes with the infection of *P. brachyurus* and in the development of plants. Temperatures recorded in the second planting date, probably favored the multiplication of the nematode resulting in the lowest root development of cultivars. In this planting date was observed the highest population density of the nematode. In the third planting date the average temperature of the environment presented milder. At this planting date it was noted that all cultivars had lower population densities of *P. brachyurus* and resistant behavior (RF<1). There was a trend towards growing the plant nematode population density increased as the inoculum concentration in the first and second planting dates. In their results, we can observe the vulnerability of Brazilian soybean genotypes to *P. brachyurus* and the existence of variability of the pathogen. More research is needed to identify genotypes that have resistance to this nematode, as well as population studies related to the nematode. These studies should take into account the

annual variation of nematode population due to low infectivity observed in dates of warmer temperatures.

Keywords: *Glycine max*, root-lesion nematode, resistance, dialell, inoculum concentration.

¹ Adviser: Profa. Dra. Mara Rúbia da Rocha
Coadviser: Profa. Dra. Patrícia Guimarães Santos Melo

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), atualmente, é a cultura agrícola mais importante no Brasil, ocupando uma área de 30 milhões de hectares no território nacional. Na safra 2013/14 o país totalizou uma produção de 86 milhões de toneladas do grão. O estado de Goiás assume o quarto lugar na produção nacional, apresentando na safra de 2013/14 uma produção de 9 milhões de toneladas em uma área de 3,1 milhões de hectares (Conab, 2014). No contexto mundial, o Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja, desempenhando papel fundamental para o desenvolvimento de várias regiões do país (Lazzarotto & Hirakuri, 2009).

Aproximadamente 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus já foram identificadas no Brasil na cultura da soja (Almeida et al., 2005). Os fitonematoides mais frequentes encontrados no país, atacando a cultura, são os nematoides das lesões radiculares do gênero *Pratylenchus*; os formadores de galha, principalmente *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 e *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885); o nematoide de cisto da soja, *Heterodera glycines* (Ichinohe, 1952) e o nematoide reniforme, *Rotylenchulus reniformis* (Linford & Oliveira, 1940).

A espécie *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev & Stekhoven, 1941 tem mostrado grande importância na cultura da soja. Na região Centro Oeste observou-se o aumento na sua incidência, segundo relatos de Ribeiro et al. (2007) e Alves et al. (2011). De acordo com Goulart (2008) há relatos frequentes de reduções de 30% a 50% na produção de soja em áreas infestadas em lavouras comerciais nesta região.

O manejo de fitonematoides abrange diferentes medidas de controle, sendo as mais recomendadas, a rotação de culturas, o uso de cultivares resistentes e, em alguns casos, o controle químico. Apesar do uso de cultivares resistentes ser o método mais econômico e eficaz de controlar as doenças, na maioria das vezes, ela não é encontrada, existe em nível baixo ou, quando existe, é quebrada devido à variabilidade do patógeno (Yorinori & Kiihl, 2001). Como a interação de *P. brachyurus* com a soja é menos complexa, não havendo necessidade de formação de nenhuma célula especializada de

alimentação, como ocorre com os nematoides de cisto (*H. glycines*) e de galhas (*Meloidogyne* spp.), as chances de se encontrar fontes de resistência são menores (Dias et al., 2010). A reação das cultivares brasileiras de soja em áreas infestadas não tem indicado a existência de materiais resistentes ou tolerantes (Ferraz, 2006; Machado, 2009; Inomoto & Silva, 2011).

Os fatores ambientais e os relacionados ao patógeno devem ser levados em consideração pelos programas de melhoramento visando à identificação de genótipos resistentes aos fitonematoides e em diferentes níveis de estresse. A temperatura e a pluviosidade estão entre os fatores ambientais que influenciam a infectividade e a patogenicidade destes patógenos (Campos, 2007), estando relacionados à época e ao local de plantio.

O nematoide *P. brachyurus* é sabidamente uma espécie muito agressiva à soja (Ferraz, 1995) e o nível de inóculo tem efeito sobre o desenvolvimento da planta e de suas raízes, além de refletir na própria densidade e multiplicação do fitonematoide. A maioria dos estudos mostra uma relação inversamente proporcional entre a concentração de inóculo e o desenvolvimento das plantas, em relação à multiplicação do fitonematoide (Ferraz, 1995; Asmus & Ferraz, 2002; Goulart et al., 2013). Obter genótipos de soja que respondam melhor, mesmo sob alta pressão de inóculo do *P. brachyurus*, é fato determinante no manejo varietal em locais de infestação deste patógeno.

Nos ensaios realizados para avaliar a resistência de genótipos de soja ao *P. brachyurus* há muita divergência nos resultados, o que resulta na inconsistência das informações relativas ao comportamento dos genótipos brasileiros a este fitonematoide. Mediante essa inconsistência dos resultados obtidos, o objetivo desse trabalho foi estudar a reação de cultivares de soja ao *P. brachyurus*, além de avaliar o efeito de pressão de inóculo e de época de plantio sobre diferentes cultivares de soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja cultivada (*Glycine max* (L.) Merrill) pertence à família Fabaceae (Leguminosae), divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, sub-classe Rosidae e ordem Fabales (Capellari Júnior et al., 1999). É uma planta autógama, ou seja, sua reprodução se dá por meio de autofecundações (Allard, 1971). A autofecundação sucessiva leva à homozigose e, assim, a cultivar é representada por um genótipo homozigoto (Souza, 2001).

Evidências históricas e geográficas indicam que a soja surgiu como uma espécie domesticada na metade leste do norte da China, em torno do século 11 a.C., onde sofreu domesticação por volta do século 17 a.C. A partir daí foi introduzida em outras regiões e países do Oriente, como Manchúria, Coréia, Japão, União Soviética e países do sudeste da Ásia (Lange, 2008). A mais antiga referência na literatura está no herbário Pent's'ao Kong Mu, do imperador Shen Nung, por volta de 2.300 a.C. (Ferreira et al., 1981).

A soja que hoje cultivamos é muito diferente dos seus ancestrais, que eram plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do rio Yangtse, na China. Sua evolução começou com o aparecimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China (Embrapa, 2010).

Apesar de conhecida e explorada no Oriente há mais de cinco mil anos, sendo uma das mais antigas plantas cultivadas do Planeta, o Ocidente ignorou o seu cultivo até a segunda década do século XX. A partir daí os Estados Unidos (EUA) iniciaram sua exploração comercial, primeiro como forrageira e, posteriormente, como grãos. Nesta mesma época o teor de óleo e proteína do grão começou a despertar o interesse das indústrias mundiais. No entanto, as tentativas de introdução comercial do cultivo do grão na Rússia, Inglaterra e Alemanha fracassaram, provavelmente, devido às condições climáticas desfavoráveis (Embrapa, 2011).

Um dos fatores determinantes para o sucesso do cultivo da soja nos EUA, nas primeiras décadas do século passado, foi o desenvolvimento de cultivares pelo

melhoramento genético, a partir de introduções originárias da China, Japão e Coreia. No período que se seguiu, os programas de melhoramento americanos passaram a obter novas cultivares por meio de cruzamentos entre genótipos-elite, em que foram obtidos grandes avanços genéticos em muitos caracteres de interesse agrônômico (Lange, 2008).

No Brasil, a primeira referência do cultivo data de 1882, na Bahia, por Gustavo D'Utra. Em 1892, resultados experimentais foram relatados pelo Instituto Agrônômico de Campinas. A partir da década de quarenta, a área plantada não parou de crescer (Câmara, 1998). De acordo com Coelho (1998), após a crise do abastecimento da agricultura, de 1961 a 1963, e a mudança da política econômica em 1964, o governo deu início a uma política de diversificação das exportações de bens agrícolas, implementando políticas de crédito rural e criando agências tecnológicas. Estes incentivos foram, em grande parte, direcionados para a produção de soja, tendo esta cultura um desenvolvimento significativo, sobretudo voltado para exportação a partir de então.

Com a grande valorização do preço internacional da soja em meados de 1970, associada à vantagem competitiva do Brasil, que obtinha melhores preços por comercializar na entressafra americana, houve grande interesse em expandir o cultivo. Essa expansão foi possível devido a um bem sucedido programa de melhoramento genético da cultura, que permitiu sua adaptação às regiões tropicais, produzindo cultivares com período juvenil longo. Essa conquista dos pesquisadores brasileiros revolucionou a história mundial da soja, e seu impacto começou a ser notado pelo mercado a partir do final da década de 1980 (Lange, 2008).

O processo de expansão da área cultivada começa a migrar da abertura de novas áreas, para a substituição de atividades produtivas, como a bovinocultura de corte e o cultivo de arroz (Lazzarotto & Hirakuri, 2009). O deslocamento da produção para a região Centro-Oeste, que hoje é a principal região produtora da oleaginosa, está ligado às melhores condições de clima, tamanho da área cultivada e nível tecnológico, onde hoje se cultivam mais de 13 milhões de hectares (Conab, 2014). No contexto mundial, o Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja, o qual vem desempenhando papel fundamental para o desenvolvimento de várias regiões do país (Lazzarotto & Hirakuri, 2009).

2.2 OS FITONEMATOIDES NA CULTURA DA SOJA

Os problemas fitossanitários na cultura da soja são vários e, dependendo da região e do patógeno envolvido, limitam a sua produção. A dificuldade de controle das doenças na soja, leva à intensificação das práticas preventivas sendo que o controle mais eficiente é o uso de cultivares resistentes. Neste contexto, os programas de melhoramento da soja buscam a incorporação de genes de resistência em variedades comerciais (Embrapa, 2011).

Segundo Dias et al. (2010) mais de cem espécies de fitonematoides, envolvendo cerca de 50 gêneros, foram associadas a cultivos de soja em todo o mundo. Entretanto, no Brasil, os fitonematoides mais prejudiciais à cultura têm sido os formadores de galhas (*Meloidogyne* spp.), o de cisto (*Heterodera glycines*), o das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e o reniforme (*Rotylenchulus reniformis*).

O gênero *Meloidogyne* compreende um grande número de espécies, entretanto, *M. javanica* e *M. incognita* são os que mais limitam a produção das grandes culturas como a soja. No Brasil a ocorrência do *M. javanica* na cultura da soja é generalizada, enquanto *M. incognita* predomina em áreas cultivadas anteriormente com café ou algodão (PR, SP, MG, MS, MT, BA). O fitonematoide *Meloidogyne* spp. tem preferência por solos arenosos ou médio-argilosos. As maiores perdas, da ordem de 10% a 40%, são observadas em soja cultivada em solos arenosos (Inomoto, 2006).

O nematoide de cisto da soja, *H. glycines*, foi diagnosticado no Brasil pela primeira vez na safra 1991/92. O patógeno foi detectado em amostras de solo e/ou raízes procedentes de lavouras de Irai de Minas, Nova Ponte e Romaria (Minas Gerais), Chapadão do Céu e Aporé (Goiás), Chapadão do Sul (Mato Grosso do Sul) e Campo Verde (Mato Grosso). Nesses locais, as perdas de produção variavam de leve (lavouras sem sintomas) a mais de 50% (Mendes, 1993). Na safra seguinte, causou prejuízos acumulados de quase 20 milhões de dólares (Silva, 1999). Devido à facilidade de disseminação deste fitonematoide, a cada safra vem aumentando o número de áreas infestadas pelo patógeno no país (Embrapa, 2011).

A partir do final da década de noventa, o nematoide reniforme (*R. reniformis*) aumentou sua importância na cultura da soja, em especial no Centro-Sul do Mato Grosso do Sul (Dias et al., 2010). Diferentemente das demais espécies que ocorrem na soja, este

fitonematoide não parece ter sua ocorrência reduzida pela textura do solo, ocorrendo tanto em solos arenosos quanto em argilosos (Embrapa, 2011).

Os nematoides das lesões radiculares (*P. brachyurus*) caracterizam-se por serem polípagos, podendo parasitar um elevado número de espécies vegetais. Esses fitonematoides já se encontravam, anteriormente, bem distribuídos em diversas regiões do Brasil, porém, recentemente, com a intensificação de cultivos, como safrinha e safra irrigada, a sua implicância econômica tem aumentado (Goulart, 2008). Levantamentos realizados em áreas de plantio de algodão e soja demonstraram que este fitonematoide foi encontrado com maior frequência (Silva et al., 2004; Ribeiro et al., 2010).

2.3 NEMATOIDE DAS LESÕES RADICULARES *Pratylenchus brachyurus* (GODFREY, 1929) FILIPJEV & STEKHOVEN 1941

2.3.1 Aspectos gerais

As espécies pertencentes ao gênero *Pratylenchus* são referidas como nematoides das lesões radiculares devido aos sintomas na forma de lesões necróticas que causam nas raízes de seus hospedeiros (Godfrey, 1929; Tihohod, 1993). É considerado, no Brasil e no mundo, o segundo gênero de fitonematoides de maior importância econômica, sendo superado apenas pelos nematoides de galhas. Causam danos econômicos em culturas de grande importância, como, por exemplo, soja, milho, algodão, cana-de-açúcar, além de diversas forrageiras, hortaliças e frutíferas (Goulart, 2008).

Existem cerca de setenta espécies do gênero *Pratylenchus* distribuídas em todo o mundo. As espécies de ocorrência mais comum nos agroecossistemas brasileiros são *P. brachyurus* Filipjev & Schuurmans Stekhoven; *P. coffeae* Filipjev & Schuurmans Stekhoven; *P. jaehni* Inserra et al.; *P. penetrans* Coob; *P. vulnus* Allen & Jensen e *P. zae* Graham. Outras espécies do gênero já foram relatadas no País, mas são de ocorrência eventual e apresentam interesse econômico mais restrito, embora por vezes de importância quarentenária (Gonzaga et al., 2012).

A primeira espécie deste gênero a ser encontrada no Brasil foi *Pratylenchus brachyurus*, atacando soja, algodão, batata e milho, entre outras importantes culturas. O fato deste fitonematoide apresentar ampla distribuição geográfica, alto grau de polifagia e ação patogênica pronunciada em várias culturas de grande interesse agrônomo, anuais e

perenes, podendo causar danos marcantes e grandes perdas econômicas, o torna uma das espécies de maior importância (Ferraz, 2006).

A intensidade dos sintomas apresentados pelas lavouras de soja atacadas por *P. brachyurus* depende, por exemplo, da textura do solo, mas em geral, o que chama a atenção é a presença, ao acaso, de reboleiras onde as plantas ficam menores, mas continuam verdes. As raízes das plantas parasitadas apresentam-se, parcialmente ou totalmente escurecidas, além de apresentar pouco volume, ocupa pequena profundidade do solo (Dias et al., 2010).

De acordo com Goulart (2008), sua ocorrência tem causado danos elevados e crescentes em várias regiões do Brasil, especialmente no Cerrado (Região Centro-Oeste) e principalmente nas culturas de soja, feijão, milho e algodão. Gielfi et al. (2003) coletaram amostras de solo em dez municípios do estado de Goiás e encontraram *P. brachyurus* em todos os municípios. Levantamentos realizados em áreas de plantio de algodão e soja demonstraram que *P. brachyurus* foi o fitonematoide mais observado, com frequências de 94 e 98 % das amostras coletadas no estado de Mato Grosso (Silva et al., 2004; Ribeiro et al., 2010). No Mato Grosso do Sul, em um levantamento feito por Asmus (2004), foi constatada expressiva presença de *P. brachyurus* nas cidades de Chapadão do Sul, Costa Rica e São Gabriel do Oeste. Na região Norte, Rosa et al. (2014) realizaram um levantamento em diferentes municípios dos estados do Acre, Amapá, Pará e Rondônia para verificarem a diversidade biológica de nematoides presentes na rizosfera da mandioca. Estes autores observaram que, das 35 amostragens realizadas nos municípios destes estados, a espécie mais prevalente foi *P. brachyurus*, presente em 37,1% das amostras.

2.3.2 Biologia e ciclo de vida

Segundo Goulart (2008), esses fitonematoides são endoparasitas migradores que causam severos danos às raízes, devido à alimentação, movimentação ativa e liberação de enzimas e toxinas no córtex radicular. A penetração na planta hospedeira e a migração no interior das raízes são, provavelmente, facilitadas por uma combinação de ações mecânica, estilete e movimentação de todo o corpo, além da ação tóxica, devido enzimas secretadas pelo patógeno.

Os nematoides das lesões radiculares são migradores em todos os estádios do ciclo de vida, movimentam-se livremente dentro das raízes e entre as raízes e o solo,

sendo todos considerados estádios infectivos. Em alguns casos, os adultos podem ser mais efetivos em iniciarem infecções. Porém, tanto os indivíduos adultos quanto os juvenis penetram nas raízes através ou entre as células, e alimentam do conteúdo celular causando necrose (Tihohod, 1993).

A caracterização morfológica e morfométrica das seis espécies mais comuns de *Pratylenchus* que ocorrem no Brasil foi realizada por Gonzaga (2006), que separou essas espécies em dois grupos, de acordo com o número de anéis na região labial. O primeiro grupo com dois anéis foi composto por *P. brachyurus*, *P. coffeae* e *P. jaehni*, e o segundo grupo com mais de dois anéis foi composto por *P. zae*, *P. penetrans* e *P. vulnus*. Das variáveis morfométricas avaliadas nesse estudo o comprimento do estilete, largura e altura da região labial foram as mais significativas para a identificação das espécies de *Pratylenchus*. Com relação à espécie *P. brachyurus* pode-se caracterizá-la, basicamente pela presença de dois anéis labiais, estilete forte, cauda conoide, fêmeas com a vulva localizada a 82-89% do comprimento do corpo, presença rara dos machos na população que, quando presentes possuem espermateca pouco visível e não funcional (Castilho & Vovlas, 2007).

As fêmeas depositam seus ovos isoladamente, no solo ou no interior das radicelas parasitadas, sendo mais comum no interior dos tecidos parasitados. Em média, cada fêmea produz 80 a 150 ovos durante toda a vida. Deles eclodem juvenis de segundo estágio (J2) que, como os posteriores estádios juvenis (J3 e J4), estarão prontos para iniciar o parasitismo (Ferraz & Monteiro, 1995). O ciclo de vida de *P. brachyurus* pode ser completado em menos de 30 dias, sob condições de temperatura entre 26,7 °C e 32,2°C (Ritzinger & Costa, 2004), porém há muita variação, dependendo principalmente da temperatura, da umidade, da espécie da planta hospedeira e da espécie de *Pratylenchus* (Tihohod, 1997; Ferraz & Monteiro, 1995; Castillo & Vovlas, 2007).

Os fitonematoides são organismos pecilotérmicos e, conseqüentemente, a temperatura influencia os processos fisiológicos, tais como movimento, crescimento, reprodução, determinação sexual e abundância relativa de alimento e os danos causados por eles nas plantas (Freckman & Caswell, 1985). Acosta & Malek (1979) mostraram que a temperatura ótima para *P. alleni*, *P. brachyurus*, *P. coffeae*, *P. neglectus*, *P. scribneri* e *P. zae* em soja foi de 30° C, enquanto para *P. penetrans* e *P. vulnus* era de 25°C. As duas últimas foram as únicas espécies que reproduziram a uma temperatura relativamente baixa, 15°C. Populações de todas as espécies apresentaram um incremento em seu

desenvolvimento com temperaturas entre 20-30°C, com exceção de *P. neglectus*, a 20°C. Somente *P. brachyurus*, *P. neglectus*, *P. scribneri* e *P. zaeae*, reproduziram a 35°C. Tihohod (1993) comenta que, em baixas temperaturas, o ciclo de vida de *Pratylenchus* no milho é retardado, quando comparado com desenvolvimento em altas temperaturas.

A época de plantio pode interferir na infectividade e patogenicidade dos fitonematoides devido influência de fatores climáticos como temperatura e pluviosidade. Em estudo realizado por O'Bannon et al. (1972), na Flórida, foi observado que a densidade populacional de *Tylenchulus semipenetrans* flutua durante o ano e varia, consideravelmente, de estação para estação. Sousa & Campos (1999), em Minas Gerais, observaram um pico de população de *T. semipenetrans* em citros do outono ao início do inverno (abril-julho).

Moura et al. (1999) verificaram que no mês de março as populações de fitonematoides associados à cana-de-açúcar, no estado do Pernambuco, foram superiores em comparação ao mês de outubro. Os autores comentam que este resultado pode estar relacionado com o fato de que no mês de março ocorreu o início das chuvas e em outubro as estiagens, levando ao correspondente aumento e diminuição da população de nematoides, respectivamente.

Em São Paulo, Campos (2007) estudou a flutuação populacional dos nematoides dos citros (*T. semipenetrans* e *P. jaehni*) em duas regiões distintas do estado, no município de Palestina, onde a temperatura foi mais elevada e as chuvas mais escassas, e outra no município de Monte Alto, com temperatura mais amena e chuvas regulares. A temperatura e a pluviosidade foram fatores que regularam a população dos fitonematoides nas duas regiões. Segundo o autor, esses fatores possuem forte influência sobre a biologia do nematoide, sendo que as curvas de tendência da flutuação de ambos os nematoides se ajustaram a um modelo quadrático com os níveis de população mais baixos, nos meses mais quentes e chuvosos do ano, enquanto os picos ocorrem nos meses mais frios e secos.

2.3.3 Influência da concentração de inóculo de *P. brachyurus*

A aptidão reprodutiva, juntamente com a virulência, são os maiores componentes da patogenicidade de espécies de *Pratylenchus* (Shaner et al., 1992), tornando-se importante para a avaliação e conhecimento das reações das plantas a esses patógenos. Os fitonematoides com alta aptidão reprodutiva podem colonizar mais o tecido

do hospedeiro e conseqüentemente causar mais danos às plantas suscetíveis. A avaliação dos danos potenciais causados por espécies de *Pratylenchus* nas diferentes culturas é normalmente baseada na densidade populacional no solo no momento do plantio ou na densidade populacional nas raízes durante o crescimento da planta (Castillo & Vovlas, 2007).

Estudos de patogenicidade sugerem que estes fitonematoides são muito bem adaptados ao parasitismo, até mesmo populações extremamente altas no solo geralmente não chegam a matar a planta hospedeira. Por sua vez, os limiares de dano são muito variáveis, dependendo da combinação das espécies de *Pratylenchus* e da planta hospedeira, variando entre 0,05 fitonematoides/cm³ e 30 fitonematoides/cm³ de solo (Castillo & Vovlas, 2007).

Ferraz (1995) realizou um estudo de patogenicidade de *P. brachyurus* em relação a três cultivares de soja (Andrews, Invicta e Ocepar-14) em Piracicaba/SP, porém sem determinar limiares de dano. O autor observou redução no crescimento das três cultivares de soja, principalmente com os níveis de 1.000 e 5.000 espécimes/planta/vaso. Os fatores de reprodução decresceram com o aumento dos níveis populacionais do inóculo, em todos os casos.

Inomoto et al. (2001) estudaram o efeito de diferentes densidades populacionais de *P. brachyurus* no crescimento do algodoeiro utilizando as cultivares IAC 20 e IAC 22, em três experimentos realizados em casa de vegetação. Ambas as cultivares se mostraram boas hospedeiras do fitonematoide, embora não afetando a altura das plantas e afetando apenas ligeiramente a massa fresca das raízes e a massa seca da parte aérea, mesmo sob a densidade populacional mais alta (acima de 9.000 fitonematoides/planta).

Objetivando estimar o efeito de densidades populacionais de *P. brachyurus* utilizando como população inicial (Pi) as concentrações de 0, 12.000, 30.000 e 75.000 fitonematoides/planta sobre o crescimento da cultivar Delta Opal, Machado et al. (2003) realizaram dois experimentos com algodão, em casa de vegetação. Os resultados mostraram acentuada redução do crescimento das plantas nas Pi de 30.000 e 75.000 indivíduos por planta. Entretanto, o fator de reprodução foi baixo considerando que as Pi utilizadas foram muito altas, o que reflete maior competição pelos locais de alimentação.

Visando avaliar os danos causados por diferentes níveis populacionais de *P. brachyurus* na cultura da soja, Goulart et al. (2013) testaram as densidades de 300, 600, 1.200, 2.400 e 4.800 juvenis e adultos por vaso e observaram que quanto maior a

população de indivíduos inoculados, maior foi o peso de raiz e de parte aérea, indicando que durante os sessenta dias de condução do experimento a população inoculada de fitonematoides não afetou a planta quanto ao peso da raiz e o desenvolvimento da parte aérea. Já o fator de reprodução encontrado foi menor quanto maior a população de indivíduos inoculados.

2.4 MELHORAMENTO GENÉTICO PARA RESISTÊNCIA A FITONEMATOIDES

2.4.1 Resistência de soja a *P. brachyurus*

De acordo com Vale et al. (2001), o controle de uma doença depende também da participação do homem no manejo do ambiente, do parasita e do hospedeiro. Para se controlar o parasita, pode-se lançar mão de produtos químicos, porém o seu efeito é efêmero devido às mudanças na população do parasita, além do que este método é caro e requer conhecimento técnico do usuário para se evitar danos à saúde e ao meio ambiente. Assim, outras formas de manejo, que não o químico, são preferidas no controle de determinados patógenos.

O controle de doenças por meio do uso de variedades resistentes merece destaque por não onerar o custo, ser de fácil utilização, além de possibilitar menor agressão ao meio ambiente, ao agricultor e ao consumidor que pode consumir produtos com menos agrotóxicos. Em um programa de melhoramento genético visando à obtenção de cultivares resistentes, algumas informações são necessárias, tais como, o controle genético da reação ao patógeno, a existência de variabilidade genética e de alternativas metodológicas para avaliação do germoplasma (Botelho, 2001; Maranha et al., 2002).

Pascholati & Leite (1995) definiram a resistência de um hospedeiro, dentro do contexto da fisiologia do parasitismo, como a capacidade da planta de atrasar ou de evitar a entrada e/ou subsequente atividade de um patógeno em seus tecidos. Embora as plantas, na natureza, estejam normalmente expostas a um número incalculável de microrganismos, como, por exemplo, fungos, bactérias, vírus e fitonematoides, a resistência mostra-se como a regra, enquanto a suscetibilidade aos agentes fitopatogênicos, a exceção. A resistência é caracterizada pela sua natureza dinâmica e coordenada, onde a efetividade da ação depende da expressão dos seus mecanismos em uma sequência lógica, após o contato do patógeno em potencial com o hospedeiro.

Uma planta é resistente a um fitonematoide quando várias de suas características atuam em detrimento do parasito, inviabilizando, por exemplo, a sua penetração, o seu desenvolvimento no interior dos tecidos ou sua reprodução. Contrariamente, um hospedeiro suscetível permite que o fitonematoide se reproduza livremente. Na prática, o conceito de resistência é relativo, originado através de comparações entre os genótipos e, frequentemente inclui uma indicação dos níveis de resistência dentro de uma interação contínua entre planta-nematoide (Boerma & Hussey, 1992).

Informações referentes ao controle genético da resistência à maioria das doenças são muito importantes para o bom direcionamento dos programas de melhoramento, pois existem formas diferenciadas de se conduzir um programa de seleção dependendo se a resistência genética for do tipo vertical ou horizontal. A resistência vertical é controlada por poucos genes, geralmente dominantes, sendo, assim, mais fácil de ser manipulada em programas de melhoramento. Por outro lado, a resistência horizontal é governada por vários genes de ação combinada, sendo de difícil identificação individual. Isso porque nenhum deles tem efeito suficientemente grande que possa ser seguido ou localizado (Vale et al., 2001).

O tipo de ação gênica predominante é indicativo da estratégia a ser adotada pelo programa de melhoramento. Isto é, caracteres com predomínio de efeitos genéticos aditivos poderão ter avanços, via seleção, por meio do aumento na frequência de alelos favoráveis. Por outro lado, em caracteres com predomínio de efeitos de dominância, o melhoramento deve focar em metodologias que maximizem os efeitos heteróticos e conduzam à obtenção de híbridos (Freire et al., 2007).

O desenvolvimento de plantas resistentes a fitonematoides é uma busca constante dos pesquisadores, sendo feitos inúmeros testes de campo e laboratório, envolvendo décadas de pesquisa. Nos casos em que tais fontes de resistência não são conhecidas, o primeiro passo é testar os genótipos já existentes e em uso, no intuito de se identificar possíveis fontes de resistência ou tolerância.

Trabalhos que estudam a resistência genética de cultivares de grandes culturas em relação a fitonematoides, tradicionalmente utilizam a variável fator de reprodução (FR) para determinar hospedeiras favoráveis ($FR > 1$) ou más hospedeiras ($FR < 1$) do fitonematoide. O FR, segundo Oostenbrink (1966) é obtido dividindo-se a população final do fitonematoide pela população inicial. Dinardo-Miranda (1994) na avaliação da reação

de oito variedades de cana-de-açúcar a *P. brachyurus* e *P. zaeae*, observou que, somente as variedades SP70-1284 e a SP70-3370 atuaram como boas hospedeiras de *P. brachyurus* ($FR > 1$), enquanto as demais se comportaram como más hospedeiras, com $FR < 1$.

Sintomas reflexos, decorrentes da interação planta-nematoide, também podem ser utilizados para avaliar a resistência de plantas. Dentre as avaliações utilizadas em ensaios de patogenicidade, para classificar os materiais, envolvendo o fitonematoide *P. brachyurus*, estão massa da parte aérea, representando o desenvolvimento da planta, população de fitonematoides nas raízes, representando o desenvolvimento do parasita (Dropkin & Nelson, 1960) e as lesões radiculares, representando o dano causado pelo fitonematoide (Dias et al., 2007; Dias et al., 2008; Andrade et al., 2009).

Vários trabalhos de reação de cultivares de soja ao fitonematoide *P. brachyurus*, em condições de casa de vegetação e de campo, já foram realizados e outros estão em andamento, tanto no Brasil como em outros países. Em condições de casa de vegetação, Ferraz (1996) avaliou a reação de 46 cultivares de soja e observou que o FR variou de 0,89 a 2,69. As cultivares Doko, IAC-PL-1, Dourados e UFV-1/M1 ficaram entre as menos favoráveis à multiplicação do fitonematoide. Ribeiro et al. (2007) avaliaram 87 genótipos de soja e observaram que diversas cultivares recomendadas para as principais regiões do país apresentaram os FR mais baixos, variando de 1,2 a 5,0, dentre elas a cultivar MSOY 8360 RR. Ribeiro et al. (2009) avaliaram 16 genótipos de soja, também em condições de casa de vegetação e, observaram variabilidade entre os mesmos, com FR variando de 2,2 a 9,9. A cultivar MSOY 8360 RR esteve entre as que apresentaram níveis mais baixos do FR.

Visando avaliar a reação de 42 cultivares brasileiras de soja ao *P. brachyurus*, Machado (2009) conduziu dois experimentos em casa de vegetação. A autora observou valores do FR variando de 1,37 a 43,04 e comenta que pelo menos cinco cultivares, dentre as quais MSOY 7639 RR e MSOY 8360 RR, poderiam ser utilizadas em áreas infestadas com o fitonematoide, uma vez que apresentaram níveis mais baixos do FR.

Em condições de campo diversos estudos também foram realizados para avaliar a reação de cultivares de soja ao *P. brachyurus*. Dias et al. (2008) avaliaram cem genótipos de soja no estado do Mato Grosso em uma área naturalmente infestada. Os autores separaram os genótipos em dois grupos, de acordo com as notas para o escurecimento das raízes. As notas que variaram de 1,1 a 1,6 indicam que os nematoides multiplicaram menos nas raízes das cultivares, destacando-se MSOY 8360 RR, MSOY

8925 RR, BRSGO Chapadões e TMG 103 RR. Em área naturalmente infestada no município de Vicentinópolis/GO, Ferreira (2010) observou que as cultivares de soja TMG 103 RR, MSOY 8411, BRS 8560RR e Emgopa 313 RR se destacaram por terem apresentado FR menor que 1,0.

Os resultados dos diversos autores indicam que, apesar da necessidade na obtenção de genótipos de soja com resistência ao fitonematoide *P. brachyurus*, poucos são aqueles que apresentaram comportamento resistente, ressaltando a importância da continuidade de tais estudos especialmente no que refere à reação dos hospedeiros.

2.4.2 Análise dialéctica na resistência a fitonematoides

O melhoramento genético de plantas é uma ferramenta importante, não apenas para o desenvolvimento de cultivares com bom desempenho agrônomico e obtenção de ganhos genéticos, como também na eliminação de fatores restritivos à produtividade, principalmente pela incorporação de resistência a doenças (Arantes et al., 1999). O desenvolvimento de cultivares resistentes está entre as alternativas mais eficazes e econômicas para solucionar problemas relacionados ao ataque de fitonematoides.

O melhoramento da soja visando resistência ao fitonematoide *P. brachyurus* vem sendo feito por meio da identificação de genótipos que multiplicam menos o fitonematoide e sua posterior introgressão em linhagens elite. Porém, estudos sobre a genética da resistência são ainda escassos no patossistema soja – *P. brachyurus*, e apresentam grande relevância para apoiar os programas de melhoramento genético que buscam cultivares resistentes a este patógeno. De acordo com Venerti & Venerti Júnior (2009) apenas as espécies *H. glycines*, *Meloidogyne* spp e *R. reniformis* tiveram a genética da resistência estudada e divulgada.

No Brasil, um determinado genótipo, uma vez lançado no mercado como cultivar, pode ser utilizado como genitor em programas de melhoramento devido à sua alta concentração de alelos favoráveis. Esta prática tem influência direta na estrutura genética das populações em melhoramento, pois, aumenta o coeficiente de endogamia e reduz a base genética dos programas de melhoramento. Diante disso, aumenta-se a probabilidade de se atingir platôs de produtividade e vulnerabilidade genética a estresses bióticos e abióticos (Hoisington et al., 1999).

A hibridação é um processo que objetiva minimizar esses problemas relacionados à base genética estreita, uma vez que de cruzamentos de parentais geneticamente distintos são

desenvolvidas populações com variabilidade genética, para aplicação de métodos apropriados de avaliação e seleção de características superiores (Borém et al., 1999). Em programas de melhoramento visando à obtenção de híbridos com resistência genética a doenças, é importante a escolha de germoplasma mais promissor, que apresente boas estimativas de heterose e de capacidade combinatória em cruzamentos entre linhagens, permitindo assim, determinar a contribuição de cada uma para a resistência, bem como para identificar combinações híbridas de interesse agrônomico (Melo et al., 2001; Silva et al., 2001; Silva & Moro, 2004).

Os cruzamentos dialélicos se destacam como uma forma de se obter informações por meio das estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação, permitindo determinar a contribuição de cada um dos genitores para a resistência, bem como identificar combinações híbridas de interesse agrônomico. As estimativas de capacidade de combinação, obtidas por meio dos cruzamentos, são importantes na escolha de genitores e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz et al., 2012). Portanto, sendo também empregadas em estudos de resistência genética a doenças e na identificação de fontes de resistência (Gravina et al., 2003; Pinheiro et al., 2005; Cruz et al., 2011).

A capacidade de combinação de linhagens ou genótipos reflete seu valor genético relativo intrínseco. Segundo Vencovsky (1987), a capacidade de combinação das linhagens corresponde ao valor obtido da diferença entre a média do caráter exibido no cruzamento e a média geral de todos os cruzamentos. De acordo com Nass et al. (2001), linhagens com maior estimativa da capacidade de combinação deverão resultar em cruzamentos superiores devido ao seu valor genético.

Sprague & Tatum (1942) propuseram os conceitos de capacidade geral e capacidade específica de combinação, para avaliação das linhagens, relacionando-os, respectivamente, aos efeitos gênicos aditivos e não aditivos (dominantes e epistáticos). Segundo estes autores, a capacidade geral de combinação (CGC) pode ser definida como sendo o comportamento médio da linhagem em combinações híbridas, principalmente devido aos efeitos aditivos dos genes; e capacidade específica de combinação (CEC) como o comportamento que leva certas combinações a serem superiores ou inferiores em relação à média dos cruzamentos, pela ação de genes dominantes ou de efeitos epistáticos.

Entre as metodologias mais comumente empregadas nas análises dialélicas estão as de Griffing (1956), pela qual são estimados os efeitos e as somas de quadrados de

efeitos da capacidade geral e específica de combinação; a metodologia proposta por Gardner & Eberhart (1966), na qual são avaliados os efeitos de variedades e heterose varietal; e a proposta por Haymam (1954), que dá informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos progenitores utilizados e do limite de seleção (Cruz et al., 2012).

Existem várias formas de composição do esquema dialélico, o dialelo balanceado, em que são inclusos os híbridos entre todos os pares de combinações, podendo incluir adicionalmente os genitores, recíprocos e até mesmo F_2 e retrocruzamentos; o dialelo parcial que envolve dois grupos de genitores e seus respectivos cruzamentos. Adaptações dos modelos de Griffing (1956) e Gardner & Eberhart (1966) maximizam as informações sobre os grupos estudados com menor número de cruzamentos; o dialelo circulante em que os genitores são representados pelo mesmo número de cruzamentos, mas inferior a $p-1$; o dialelo incompleto onde os genitores são representados por um número variável de cruzamentos, devido a falhas de certas combinações híbridas; e o dialelo desbalanceado em que todas as combinações híbridas estão representadas, porém em frequência variável, em virtude do número desigual de repetições (Cruz et al., 2012).

A mensuração da capacidade combinatória em um cruzamento dialélico contendo um número muito grande de genitores pode tornar-se inviável devido às várias combinações híbridas que necessitam ser obtidas (Russel & Eberhart, 1975). Com a finalidade de se analisar um maior número de acessos, com menor número de polinizações e menor dispêndio de recursos, foi proposta a aplicação do dialelo parcial. Este dialelo foi inicialmente estudado por Comstock & Robinson (1948, 1952), tendo sido posteriormente adaptado por Griffing (1956), Kempthorne & Curnow (1961) e Gardner & Eberhart (1966), e consiste no cruzamento entre dois grupos de genitores distintos.

O dialelo parcial proposto por Kempthorne & Curnow (1961) é uma opção que proporciona maior flexibilidade aos cruzamentos dialélicos, com relação ao número de genitores envolvidos. Esse método, embora possibilite o envolvimento de número maior de genitores, tem sido pouco utilizado, provavelmente em decorrência do ceticismo sobre a sua eficiência em relação aos dialelos completos. Todavia, Veiga et al. (2000) compararam a eficiência dos dialelos circulantes com dialelos completos e constataram que os circulantes apresentam a mesma eficiência dos completos, na classificação dos pais, na estimação da CGC e na CEC, bem como na magnitude das estimativas desses parâmetros. Pinheiro et al. (2005) realizaram cruzamentos dialélicos parciais entre genótipos de soja

resistentes e suscetíveis a insetos, com o objetivo de verificar a possibilidade de reunir, num mesmo genótipo, alelos favoráveis para resistência e para alta produtividade de grãos. Estes autores estimaram a capacidade de combinação (linhas x testadores) de acordo com a metodologia de Kempthorne descrita por Singh & Chaudhary (1977).

Utilizando o modelo I proposto por Griffing (1956) e também o modelo Hayman–Jinks (Mather & Jinks, 1982), Zhang et al. (2007) realizaram um estudo para compreender a base da genética quantitativa da resistência ao fitonematoide de galhas (*M. incognita*) em genótipos de algodão que apresentam diferentes níveis de resposta ao ataque do fitonematoide. Os autores utilizaram os dados referentes aos genitores e aos F₁'s e notaram que a resistência ao fitonematoide formador de galhas é parcialmente dominante. A CGC foi mais importante do que a CEC na resistência ao fitonematoide. As estimativas da herdabilidade no sentido amplo e restrito, para o índice de galhas do fitonematoide, foram de 0,82 e 0,65, respectivamente, indicando que a resistência nas cultivares Auburn e Nem – X é amplamente controlada por efeitos genéticos e aditivos. Foram estimados, no mínimo, dois genes envolvidos na resistência.

Thies et al. (1994) avaliaram 52 clones de alfafa para resistência a *P. penetrans*, com base na reprodução do fitonematoide. Vinte e cinco clones, representando a variação do número de fitonematoides e de ovos por planta, foram selecionados e testados novamente. Os autores identificaram quatro clones moderadamente resistentes e dois suscetíveis. A herança da resistência à *P. penetrans* foi estudada nestes seis clones através de cruzamentos dialélicos pela metodologia de Griffing (1956). Os indivíduos representados em S₁, F₁ e as progênes recíprocas diferiram para as variáveis número de fitonematoides e de ovos por grama de raiz e pesos de parte aérea e raiz secos ($P < 0,05$). Houve correlação na resistência, medida pelo número de fitonematoides nas raízes, entre os clones parentais e suas famílias S₁ ($r = 0,94$), clones parentais e suas famílias de meios-irmãos ($r = 0,81$), e S₁ e famílias de meios-irmãos ($r = 0,88$). Os efeitos da CGC foram significativos para a resistência ao fitonematoide. Os efeitos recíprocos foram significativos tanto para resistência ao fitonematoide quanto para altura de plantas, o que pode atrasar o progresso da seleção em métodos de seleção a longo prazo. No entanto, os efeitos da CGC foram grandes o suficiente de forma que, os métodos de melhoramento genético que focam nos efeitos aditivos, podem ser eficazes no desenvolvimento de cultivares de alfafa com resistência a *P. penetrans*.

Visando obter informações sobre a herança da resistência de milho à *P. brachyurus*, Sawazaki et al. (1987) utilizaram a linhagem Col 2(22), considerada como resistente, e a Ip 48-5-3, como suscetível, mais as gerações F₁, F₂ e retrocruzamentos. Os resultados mostraram que a diferença observada quanto à resistência entre as linhagens Col 2(22) e Ip 48-5-3 é, provavelmente, devida a dois pares de genes dominantes de efeitos genéticos aditivos. As herdabilidades no sentido amplo e restrito foram altas, respectivamente 82,0 e 80,8%.

Há vários estudos de análises dialélicas em soja, mas são poucos os trabalhos relacionados à resistência à fitonematoides. Mauro et al. (1999), objetivando estudar a genética da resistência de uma população de soja, derivada de cruzamentos entre os genótipos brasileiros BR 90-4722 e FT-Cristalina, ao fitonematoide do cisto da soja, raça 3, analisaram vários cruzamentos entre os genitores, além das gerações F₁ e F₂. Os resultados evidenciaram que a resistência ao fitonematoide do cisto nessa população de soja é de natureza qualitativa e governada por três genes, sendo um dominante e dois recessivos. A herdabilidade do caráter foi alta (0,96), com mínimo efeito ambiental, sugerindo que essa população é adequada para o desenvolvimento de genótipos de soja resistentes a este fitonematoide.

3 REAÇÃO DE CULTIVARES E POPULAÇÕES DE SOJA A *Pratylenchus brachyurus*

RESUMO

O fitonematoide *Pratylenchus brachyurus*, conhecido como nematoide das lesões radiculares, vem sendo motivo de preocupação aos sojicultores de diversas regiões do Brasil. Em termos práticos, o uso de cultivares resistentes seria a medida de fácil adoção pelos produtores, porém a maioria das cultivares atualmente disponíveis no Brasil não dispõe de resistência para contornar o problema. O objetivo deste estudo foi avaliar a reação de cultivares e populações de soja a *P. brachyurus*. Foram realizados dois experimentos, sendo um em condições de campo naturalmente infestado em delineamento de blocos casualizados, avaliando-se seis cultivares de soja MT/BR51 (Xingu), BRSGO Caiapônia, MSOY 8360RR, BRS 8560RR, Emgopa 313RR e MSOY 7639RR e outro sob condições de casa de vegetação, em que foram avaliadas, além das cultivares acima citadas, as populações F₁ resultantes do cruzamento entre elas. No experimento de campo, as avaliações da massa fresca de raiz, número de *P. brachyurus*/10 g de raiz e fator de reprodução (FR), que corresponde à relação entre a população final do fitonematoide e a população inicial, foram realizadas aos 30 e 60 dias após a semeadura (DAS). O experimento conduzido em casa de vegetação foi um dialelo parcial, constituído pelos genitores do grupo I (Xingu e BRSGO Caiapônia) e grupo II (MSOY 8360RR, BRS 8560RR, Emgopa 313RR e MSOY 7639RR) e as populações F₁ originadas do cruzamento entre eles. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições e cada parcela constituída de um vaso com uma planta. O caráter avaliado foi o FR, aos 60 dias após a inoculação. No experimento de campo todas as cultivares comportaram-se como suscetíveis, embora a cultivar Xingu tenha apresentado comportamento de resistência na avaliação aos 60 DAS com um FR de 0,80. Porém, esta cultivar possibilitou a multiplicação de *P. brachyurus* na avaliação aos 30 DAS. No experimento de casa de vegetação, todos os genitores comportaram-se como resistentes ao fitonematoide. A análise dialélica evidenciou a presença de efeitos aditivos e não aditivos no controle da resistência a *P. brachyurus*. A cultivar Xingu apresentou a melhor CGC e o cruzamento Xingu x MSOY 8360RR foi o mais promissor em gerar progênies com reação de resistência.

Palavras-chave: *Glycine max*, nematoide das lesões radiculares, cruzamentos, dialelo.

ABSTRACT

REACTION OF SOYBEAN CULTIVARS AND POPULATIONS TO *Pratylenchus brachyurus*

Pratylenchus brachyurus is a plant nematode known as root-lesion nematode and it has been concerning soybean farmers from several parts of Brazil. The use of resistant cultivars would be the most practical solution to overcome this problem. However, the most cultivars available in Brazil do not present the desired resistance. In this sense, the aim of this study was to evaluate the reaction of soybean cultivars and populations to *P. brachyurus*. It was carried two experiments, one in the field conditions with naturally infested soils with nematodes and other in a greenhouse. The first experiment was designed in casual blocks. It was evaluated six soybeans cultivars: MT/BR51 (Xingu), BRSGO Caiapônia, MSOY 8360RR, BRS 8560RR, Emgopa 313RR and MSOY 7639RR. In the greenhouse was evaluated besides the cultivars mentioned, also the F₁ populations resulting from the crosses among them. In the field experiment it was evaluated the fresh mass of the roots, the number of *P. brachyurus*/10 g of roots and the RF, which corresponds to the relationship between the final and initial population. The measurements were performed at 30 and 60 days after planting (DAP). The experiment carried in the greenhouse was a partial diallel, consisting of parents from group I (Xingu e BRSGO Caiapônia) and group II (MSOY 8360RR, BRS 8560RR, Emgopa 313RR e MSOY 7639RR) and the F₁ populations originated from crosses among them. In the greenhouse it was used a completely randomized design with six repetitions and each experimental plot was set up with a pot contained one plant. The character evaluated was the RF, obtained after 60 days after inoculation. In the field experiment all cultivars were susceptible to plant nematode, except the cultivar Xingu that showed behavior of resistance in the evaluation at 60 DAP with a RF of 0,80. However, this cultivar enabled the multiplication of *P. brachyurus* in the evaluation at 30 DAP. In the greenhouse, all the parents presented resistant behavior to the plant nematode. The diallel analysis evidenced additional and non-additional effects on the resistance control to *P. brachyurus*. The cultivar Xingu presented better GCC and the cross Xingu x MSOY 8360RR was the most promising to generate progenies with resistance reaction.

Keywords: *Glycine max*, root-lesion nematode, crosses, diallel.

3.1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal fonte de proteína utilizada na indústria da alimentação animal e destaca-se por ser a segunda oleaginosa mais importante do planeta, depois do dendê (*Elaeis guineenses*) (Dall'Agnol et al., 2010). O Brasil possui significativa participação na oferta e na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja, apresentando-se como o maior produtor mundial do grão. O estado de Goiás é o

quarto maior produtor nacional e na safra 2013/14 contribuiu com 8.858 mil toneladas em uma área de 3.102 mil hectares (Conab, 2014).

Os problemas fitossanitários, como o ataque de pragas e patógenos, estão entre os principais fatores que limitam a obtenção de altos rendimentos na cultura. Entre as espécies de fitonematoídes que parasitam plantas de soja em todo o mundo, destaca-se o *Pratylenchus brachyurus*, que está amplamente disseminado no Brasil, especialmente no Brasil Central, cujas perdas têm aumentado nas últimas safras (Dias et al., 2010).

A intensificação de cultivos como safrinha e safra irrigada, a monocultura, o sistema de plantio direto, entre outros fatores, tem aumentado a importância econômica deste fitonematoíde. No Distrito Federal, em Goiás e na Bahia, a situação da cultura da soja é grave, visto que grandes populações de *P. brachyurus* têm sido encontradas em amostras de solo e em raízes, havendo relatos de danos e perdas econômicas extremamente preocupantes, além de provável ocorrência associada a outros patógenos (Goulart, 2008).

O *P. brachyurus* apresenta grande número de plantas hospedeiras dificultando a rotação de culturas no manejo (Machado & Oliveira, 2007). A utilização de cultivares resistentes seria então o ideal para viabilizar o controle do patógeno (Ferraz, 2006). Porém, a maioria dos trabalhos tem mostrado comportamento de suscetibilidade dos genótipos de soja testados, procedentes de diferentes instituições e programas de melhoramento genético (Ferraz, 1996; Costa & Ferraz, 1998; Machado 2009, Ferreira, 2010; Alves et al., 2011).

A escolha do germoplasma mais promissor é processo fundamental no melhoramento genético de plantas, que se faz por métodos que permitam alcançar os objetivos traçados. Esses métodos são classificados em duas categorias, sendo que a primeira utiliza informações sobre o desempenho médio dos genitores e, a segunda utiliza informações das progênes oriundas do cruzamento. O conhecimento prévio do potencial das populações geradas evita que as pouco promissoras sejam formadas ou que estas sejam eliminadas em gerações precoces. A partir disso, maior ênfase pode ser dada à seleção dentro das populações superiores, aumentando a probabilidade de sucesso e evitando a perda de tempo e recurso financeiro (Pimentel et al., 2013). Vale ressaltar que a seleção de genitores baseada apenas em médias superiores, não indica, necessariamente, que será obtida uma boa população para a seleção (Ramalho et al., 1993).

Os cruzamentos dialélicos destacam-se como uma forma de se obter informações por meio das estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação, permitindo determinar a contribuição de cada um para a resistência, bem como

identificar combinações híbridas de interesse agrônomo. As estimativas de capacidade de combinação, obtidas por meio dos cruzamentos, são importantes na escolha de genitores e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz et al., 2012). Portanto, podem ser empregadas em estudos de resistência genética a doenças e pragas, além da identificação de fontes de resistência (Gravina et al., 2003; Pinheiro et al., 2005; Cruz et al., 2011).

Entre as metodologias empregadas nas análises dialélicas estão os dialelos parciais, os quais foram adaptados a partir das metodologias propostas para os dialelos completos (Kempthorne & Curnow, 1961; Miranda Filho & Geraldi, 1984; Geraldi & Miranda Filho, 1988). Eles foram propostos para contornar uma das principais limitações dos cruzamentos, que é o número restrito de genitores, uma vez que o aumento deste implica em maior número de cruzamentos, associados às dificuldades de avaliação dessas combinações híbridas em campo. Dessa forma os dialelos parciais possibilitam um número menor de cruzamentos, pois utilizam apenas aqueles desejáveis de um grupo de genitores (Ramalho et al., 1993).

No Brasil, existem vários estudos de análise dialélica em soja, mas são poucos os trabalhos relacionados à resistência a fitonematoides. Em relação à resistência ao *P. brachyurus* não há dados publicados desta natureza. Na cultura do algodão Zhang et al. (2007) realizaram um estudo para compreender a base da genética quantitativa da resistência ao fitonematoide de galhas (*Meloidogyne incognita*). Os autores observaram que a capacidade geral de combinação (CGC) foi mais importante do que a capacidade específica de combinação (CEC) na resistência ao fitonematoide. Thies et al. (1994), avaliando a resistência na cultura da alfafa ao *P. penetrans*, notaram que os efeitos da CGC foram altas e significativos para a resistência, assim, os métodos de melhoramento genético que focam nos efeitos aditivos, podem ser eficazes no desenvolvimento de cultivares de alfafa com resistência a este nematoide.

Tendo em vista as perdas de produtividade na cultura da soja causadas pelo fitonematoide das lesões radiculares e a carência de genótipos resistentes ou tolerantes, este estudo teve por objetivo avaliar a reação de populações segregantes e cultivares de soja ao fitonematoide *P. brachyurus*.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos, um conduzido em campo naturalmente infestado por *P. brachyurus* e o outro em condições de casa de vegetação. O experimento de campo foi instalado na safra 2012/13, sendo avaliadas seis cultivares de soja (Tabela 3.1) quanto à reação ao fitonematoide e o desenvolvimento das plantas.

Tabela 3.1. Origem, ciclo de maturação e reação a fitonematoides das cultivares utilizadas no estudo*.

Cultivar	Origem	Ciclo	Reação a fitonematoides ¹
MT/BR51 (Xingu)	Embrapa Soja e Fundação FMT	Médio	S - <i>H. glycines</i>
BRS GO Caiapônia	Embrapa, Emater/GO, CTPA	Médio	MR - <i>Meloidogyne</i> spp. S - <i>H. glycines</i>
M SOY 8360RR	Monsoy	Médio	S - <i>Meloidogyne</i> spp. S - <i>H. glycines</i>
BRS 8560RR	Embrapa, Emater/GO, CTPA	Médio	R - <i>M. incognita</i> MR - <i>M. javanica</i> S - <i>H. glycines</i>
Emgopa 313RR	Embrapa, Emater/GO, CTPA	Tardio	S - <i>Meloidogyne</i> spp. S - <i>H. glycines</i>
M SOY 7639RR ²	Monsoy	Médio	S - <i>Meloidogyne</i> spp. R - <i>H. glycines</i> (raças 1 e 3)

*Informações obtidas nas páginas eletrônicas das empresas; ¹S – Suscetível; MR – Moderadamente Resistente; R – Resistente. ²Apresenta alguma resistência a *P. brachyurus*.

O experimento foi instalado em uma propriedade rural com histórico de infestação por *P. brachyurus*, localizada no município de Acreúna/GO (17° 23' 44" S de latitude e 50° 22' 37" W de longitude, altitude 542 m). O delineamento experimental usado foi em blocos casualizados, com seis tratamentos e seis repetições, as parcelas foram constituídas por quatro linhas com seis metros de comprimento, onde foram semeadas de 20 a 24 sementes por metro linear, com espaçamento entre linhas de 45 cm. A semeadura foi realizada em 08 de dezembro de 2012, de forma manual.

No momento da instalação do experimento, a soja semeada pelo produtor, estava com aproximadamente um mês de semeadura, as quais foram arrancadas para a implantação do experimento. O controle de plantas daninhas foi efetuado no estágio fenológico de pré-emergência pela aplicação do herbicida Roundup WG [glifosato - 792,5

g i.a.L⁻¹ (granulado dispersível)] na dosagem de 1000 g.ha⁻¹. O controle de lagartas foi conduzido no estágio fenológico de folhas unifolioladas abertas com aplicações de Acefato Nortox [acefato - 750 g i.a.L⁻¹ (pó solúvel)] na dose de 430 g.ha⁻¹, utilizado também para controle de percevejo, e Curyom 550 (profenois + lufenuron - 500 + 450 g i.a.L⁻¹ CE); no estágio fenológico de três folhas trifolioladas com aplicações de Talstar (Bifentrina - 100 g i.a.L⁻¹ CE) na dose de 330 mL.ha⁻¹, utilizado também para controle de percevejo e Larvin 800 WG [tiodicarbe - 800 g i.a.L⁻¹ (granulado dispersível)] na dose de 300 mL.ha⁻¹ e no estágio fenológico de R2 com aplicações de Talisman (bifentrina + carbosulfano - 50 + 150 g i.a.L⁻¹ CE) e Premio (clorantraniliprole - 200 g i.a.L⁻¹ SC). O controle de ferrugem asiática e DFC foram conduzidos com aplicações dos fungicidas Priori Xtra (azoxistrobina + ciproconazol - 200 + 80 g i.a.L⁻¹ SC) na dose de 260 mL.ha⁻¹ nos estádios fenológicos de folhas unifolioladas abertas e de três folhas trifolioladas; Alto 100 [ciproconazol - 100 g i.a.L⁻¹ (concentrado solúvel)] na dose de 260 mL.ha⁻¹ no estágio fenológico de três folhas trifolioladas e Aproach Prima (picoxystrobina + ciproconazol - 200 + 80 g i.a.L⁻¹ SC) na dose de 315 mL.ha⁻¹ no estágio fenológico de R1.

Para determinar a população inicial de *P. brachyurus* do campo, foram coletadas, no momento da instalação do ensaio, amostras de solo na camada de 0,0-0,2 m em cada parcela. Cada amostra da parcela foi composta por quatro subamostras. Essas amostras de solo foram utilizadas tanto para a quantificação da população de *P. brachyurus*, conforme o método de Jenkins (1964), como para montagem de um bioensaio. O bioensaio serviu para avaliar, em condições de casa de vegetação, a população inicial do fitonematoide. Para isso, as amostras de solo de cada parcela foram distribuídas em saquinhos plásticos, em três repetições, semeando a cultivar de soja TMG 123. Após 60 dias de cultivo, procedeu-se a extração e contagem do número de fitonematoides nas raízes destas plantas de soja, determinando-se a população inicial.

As avaliações da densidade populacional do fitonematoide (*P. brachyurus*/10 g de raiz) foram feitas aos 30 e 60 dias após a semeadura (DAS). Foram coletadas, em cada parcela, quatro plantas localizadas em pontos equidistantes situados nas duas linhas centrais da parcela. A avaliação realizada aos 60 DAS foi considerada a população final.

No laboratório foi determinada a massa fresca das raízes e realizada a extração e a quantificação dos fitonematoides. Para a extração dos fitonematoides das raízes foi utilizado o método de Coolen & D'Herde (1972). Após a extração, os fitonematoides foram preservados em solução Golden X, conforme Hooper (1970). A quantificação dos

fitonematoides foi realizada com o auxílio de uma câmara de Peters e observação sob microscópio óptico (aumento 100 X).

Após a quantificação dos fitonematoides, foi obtido o FR (população final/população inicial) segundo método de Oostenbrink (1966). A população inicial foi aquela obtida por meio do bioensaio. A população final foi o número de fitonematoides obtidos no volume total de raízes aos 60 DAS. O comportamento de cada cultivar foi identificado como resistente ou suscetível sendo considerados resistentes os indivíduos que apresentaram $FR < 1,0$ e, suscetíveis os que apresentaram $FR > 1,0$ (Oostenbrink, 1966).

No experimento conduzido em condições de casa de vegetação foram avaliadas populações F_1 obtidas dos cruzamentos entre dois grupos de genitores divididos quanto à reação a *P. brachyurus*. Os cruzamentos para obtenção das populações foram realizados em esquema de dialelo parcial. O grupo dos genótipos identificados como bons hospedeiros ao fitonematoide (Grupo I) foi constituído pelas cultivares MT/BR51 (Xingu) e BRSGO Caiapônia. Esta escolha teve como base resultados obtidos em estudos anteriores por Ribeiro et al. (2007), Machado (2009) e Ferreira (2010). Estas cultivares foram utilizadas como genitores masculinos, fornecendo pólen. Já o grupo dos genitores identificados como maus hospedeiros ao fitonematoide (Grupo II) foi constituído pelas cultivares MSOY 7639RR, MSOY 8360RR, Emgopa 313RR e BRS 8560RR, escolhidas a partir dos resultados de Ribeiro et al. (2007), Machado (2009), Ribeiro et al. (2009) e Ferreira (2010), utilizados como genitores femininos. Os cruzamentos entre as cultivares do grupo I com o grupo II originaram oito populações.

Os cruzamentos foram realizados entre os meses de agosto a setembro de 2010, na estação experimental da Emater, em Senador Canedo/GO, localizada a 16° 43' 36.02" de latitude Sul, 49° 07' 9.22" de longitude Oeste e altitude de 801 m. Para isso os seis genótipos foram semeados em vasos plásticos de 30 cm de diâmetro e 25,5 cm de altura. Para cada genótipo foram semeados quatro vasos, com quatro covas por vaso, e duas sementes por cova, sendo que cada vaso representou uma parcela. Cada genótipo foi semeado, portanto, em quatro repetições e em quatro intervalos de semeadura, espaçados de sete dias. Em cada vaso foi realizado desbaste, após a germinação, buscando-se manter quatro plantas por vaso. Os genitores masculinos foram semeados cinco dias antes dos genitores femininos, por razão de sincronismo de florescimento. Com isso, procedeu-se as hibridações entre os genitores do grupo I e os genitores do grupo II obtendo-se as gerações

F₁. As hibridações foram feitas artificialmente, depositando o pólen do genitor masculino sobre o estigma do genitor feminino.

As sementes dos genitores e da geração F₁ resultante dos cruzamentos foram semeadas no dia 19 de dezembro de 2012 em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições, sendo que cada parcela composta por um vaso com uma planta. Foram utilizados sacos de polietileno preto (17 cm x 22 cm), contendo substrato composto por mistura de solo e areia, na proporção 1:1, previamente esterilizado por autoclavagem, por vinte minutos a 120 kgf.

O inóculo de *P. brachyurus* foi obtido de uma área naturalmente infestada do município de Vicentinópolis/GO, coletado em dezembro de 2008. O solo infestado foi mantido em casa de vegetação para a multiplicação dos fitonematoides. Para isso foi distribuído em vasos plásticos e semeado primeiramente com caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e, posteriormente, a cultivar de soja TMG 123. O inóculo foi então obtido das plantas desta cultivar de soja, as quais, no momento da extração, estavam com 54 dias de semeadura. A extração dos fitonematoides foi realizada conforme o método de Coolen & D'Herde (1972) e a suspensão ajustada para 150 juvenis e/ou adultos de *P. brachyurus* por mL.

A inoculação foi realizada no dia 28 de dezembro de 2012 depositando-se dois mililitros da suspensão aquosa contendo juvenis e/ou adultos de *P. brachyurus* por vaso. A suspensão foi depositada, com auxílio de uma pipeta, em dois sulcos próximos ao colo da planta. Durante a condução do experimento, as plantas permaneceram em casa de vegetação, sob condições controladas de temperatura até o momento da avaliação. A irrigação foi realizada de forma manual uma vez ao dia com o uso de regadores e as temperaturas máxima e mínima do ambiente foram registradas diariamente.

Decorridos sessenta dias da inoculação foram realizadas as avaliações, determinando-se a massa fresca das raízes e extração para quantificação dos fitonematoides utilizando o método de Coolen e D'Herde (1972). Após a extração, os fitonematoides foram preservados em solução Golden X, conforme Hooper (1970). A quantificação foi realizada com o auxílio de uma câmara de Peters e observação sob microscópio óptico (aumento 100x).

Após a quantificação dos fitonematoides, obtidos no volume total das raízes, foi calculado o fator de reprodução (FR), dividindo a população final (Pf) pela população inicial (Pi) ($FR = Pf/Pi$) e os genótipos classificados como resistentes ou suscetíveis segundo

Oostenbrink (1966). A população inicial considerada foi a concentração média do inóculo de 300 juvenis e/ou adultos, por planta e a população final, o número de fitonematoides obtidos no volume total de raízes.

Os dados do campo e de casa de vegetação foram transformados, quando necessário, conforme preconizado por Box & Cox (1964). Foram, então, submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a análise genético-estatística dos cruzamentos dialélicos conduzidos em casa de vegetação, utilizou-se o modelo parcial proposto por Kempthorne & Curnow (1961), de acordo com a expressão:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij} \text{ em que:}$$

Y_{ij} é a média da observação associada à combinação híbrida ij ($i \neq j$) ou ao i -ésimo genitor ($i = j$); μ é a média geral; g_i e g_j são os efeitos fixos da capacidade geral de combinação; s_{ij} é o efeito fixo da capacidade específica de combinação e ε_{ij} é o erro experimental médio.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Reação de cultivares de soja a *P. brachyurus* em condições de campo

Para a massa fresca de raiz observou-se que as cultivares não diferiram ($p > 0,05$) na avaliação aos 30 DAS. Em geral, houve incremento na massa fresca de raiz das plantas dos genótipos estudados entre a avaliação aos 30 DAS e aos 60 DAS, o que é esperado devido ao desenvolvimento das plantas (Tabela 3.2), com exceção da cultivar BRSGO Caiapônia, que não diferiu entre as duas avaliações. Na avaliação aos 60 DAS, as cultivares BRS 8560RR e MSOY 7639RR foram as que apresentaram maior massa fresca de raízes, diferindo das cultivares BRSGO Caiapônia e Xingu, que apresentaram menor massa fresca de raízes nesta época de avaliação (Tabela 3.2), essa diferença pode ser característica inerente a cada cultivar.

A densidade populacional de *P. brachyurus* não foi influenciada pelas cultivares aos 30 DAS (Tabela 3.2). Na avaliação aos 60 DAS, as cultivares que apresentaram maior quantidade de fitonematoides por 10 gramas de raízes foram BRS 8560RR e MSOY 7639RR, diferindo estatisticamente das cultivares Xingu e MSOY 8360RR, que apresentaram menor densidade.

É interessante notar que, ao se comparar a densidade populacional nas duas avaliações, a cultivar Xingu apresentou redução significativa na avaliação aos 60 DAS (Tabela 3.2). Tal fato poderia indicar que esta cultivar seja má hospedeira para o fitonematoide, no entanto houve a multiplicação de *P. brachyurus* nas raízes desta cultivar na avaliação aos 30 DAS (FR>1,0) (Tabela 3.2), caracterizando comportamento de suscetibilidade. Ribeiro et al. (2007), Machado (2009) e Alves et al. (2011) observaram, em condições de casa de vegetação, multiplicação de *P. brachyurus* nesta cultivar (FR>1,0). Uma explicação para a redução na densidade populacional do nematoide nesta cultivar e, conseqüentemente redução do FR, na avaliação aos 60 DAS, pode estar na elevada população encontrada aos 30 DAS. Embora a densidade populacional observada aos 30 DAS não diferiu entre as cultivares, na cultivar Xingu observa-se um dos maiores números de indivíduos por 10 gramas de raiz. Em um maior nível populacional ocorre competição entre os nematoides o que dificulta sua reprodução e desenvolvimento. Inomoto et al. (2006), testando as reações de plantas de cobertura a *P. brachyurus* verificou que a maior população inicial contribuiu para a menor reprodução do nematoide, pois populações mais altas causam uma competição maior. Alves (2008), avaliando as cultivares MG/BR 46 (Conquista), Emgopa 313, Tucunaré e MSOY 8866, verificou que ao aumentar o nível de inóculo nessas cultivares o FR diminuiu na avaliação aos 60 dias.

Tabela 3.2. Massa fresca de raiz, em grama, densidade populacional e fator de reprodução (FR) de *P. brachyurus* em raízes de cultivares de soja, em condições de campo, aos trinta e sessenta dias após a semeadura (DAS). Acreúna-GO, 2013.

Cultivar	Massa fresca de raiz (g)			<i>P. brachyurus</i> /10 g de raiz ¹			FR ¹	
	30 DAS	60 DAS	Média	30 DAS	60 DAS	Média	30 DAS	60 DAS
Xingu	5,66 aB	8,16 bA	6,91	2.699 aA	507 bB	1.603	3,45 aA	0,80 aA
BRS GO Caiapônia	5,16 aA	6,33 bA	5,75	1.800 aA	2.052 abA	1.926	2,60 aA	2,33 abA
MSOY 8360RR	4,50 aB	10,00 abA	7,25	1.466 aA	889 bA	1.177	1,56 aA	1,19 aA
BRS 8560RR	5,83 aB	11,66 aA	8,75	2.735 aA	2.930 aA	2.832	2,03 aB	5,20 bA
Emgopa 313RR	5,16 aB	9,66 abA	7,41	2.122 aA	1.705 abA	1.914	1,60 aA	2,42 abA
MSOY 7639RR	5,83 aB	12,16 aA	9,00	1.515 aA	2.303 aA	1.909	1,51 aB	5,77 bA
Média	5,36	9,66	7,51	2.334	1.731	1.893	2,12	2,95
CV (%)	20,70	14,08	16,76	34,16	21,19	34,86	57,64	44,86

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; ¹Valores transformados em $x^{0,5}$ para realização da análise estatística.

Observa-se que as demais cultivares apresentaram comportamento de suscetibilidade ($FR > 1,0$) nas duas avaliações. Além disso, as cultivares BRS 8560RR e MSOY 7639RR mostraram aumento significativo na avaliação aos 60 DAS (Tabela 3.2). Para as cultivares MSOY 7639RR e MSOY 8360RR, o resultado de suscetibilidade do presente estudo, corrobora os obtidos por Machado (2009), em condições de casa de vegetação. Ribeiro et al. (2007) e Ribeiro et al. (2008) também observaram o mesmo comportamento de suscetibilidade para a cultivar MSOY 8360RR.

Em estudo conduzido em condições de campo naturalmente infestado, Ferreira (2010), avaliou a reação de cultivares de soja e observou efeito contrário aos obtidos no presente estudo para as cultivares BRS 8560RR e Emgopa 313RR, as quais proporcionaram $FR < 1,0$ indicando comportamento resistente. Os resultados contraditórios obtidos entre estudos conduzidos em áreas infestadas dificultam uma recomendação segura aos produtores e, por isso, mais investigações devem ser realizadas a fim de se obterem resultados mais consistentes.

Os resultados encontrados por diversos autores que avaliaram genótipos de soja quanto à reação ao *P. brachyurus* têm se mostrado pouco consistentes. Observam-se divergências tanto entre os estudos conduzidos em condições de casa de vegetação quanto entre os estudos conduzidos em condições de campo e divergências entre esses ambientes. Diversos fatores podem explicar as discrepâncias observadas tais como, diferenças ambientais e metodológicas e aqueles relacionados ao patógeno e ao hospedeiro.

Em condições de campo o fitonematoide pode sofrer a interferência de componentes da microbiota e microfauna do solo. Muitas bactérias presentes no solo, durante a decomposição de matéria orgânica, são capazes de produzir metabólitos e toxinas, além de enzimas, que podem apresentar ação antagonista aos fitonematoides presentes no microambiente (Akhtar & Malik, 2000).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) presentes no solo também interagem com os fitonematoides, podendo resultar em aumento, redução ou nenhum efeito sobre o ataque destes patógenos, mas existem evidências de maior resistência de plantas micorrizadas e redução na reprodução dos fitonematoides em várias culturas (Moreira & Siqueira, 2002). No caso da interação dos FMAs com nematoides do gênero *Pratylenchus*, estudos mostraram que fungos do gênero *Glomus* aumentaram a tolerância de feijão (Elliot et al., 1984) e cenoura (Talavera et al., 2001) ao ataque de *P. penetrans*; de banana (Jaizme-Vega & Pinochet, 1997) e café a *P. coffeae* (Vaast et al., 1998) e milho a *P. zae*

(Jothi & Sundarababu, 1997). Acredita-se que plantas colonizadas por estes fungos apresentem melhora nutricional e possam ser mais resistentes ao ataque do patógeno, devido à ocupação das raízes e competição pelos sítios de ligação.

As maiores dificuldades na investigação de fitonematoides em áreas naturalmente infestadas estão ligadas à natureza dinâmica desses organismos no solo. O sistema ecológico em que vivem os fitonematoides é uma complexa interação entre a planta hospedeira, o microclima, as propriedades físicas e químicas do solo e os microrganismos (Laughlin & Lordello, 1977). Daí existirem flutuações populacionais do fitonematoide no tempo e nas direções vertical e horizontal, no perfil do solo (Ribeiro et al., 2009). Além disso, há influência das condições ambientais especialmente precipitação, temperatura e propriedades físico-químicas do solo (Kandji et al., 2001; Debiase et al., 2011).

Diferenças de agressividade entre as populações de fitonematoides também influenciam a patogenicidade e a multiplicação destes patógenos, interferindo na reação dos genótipos. Essa diferença pode ser observada tanto em estudos conduzidos em ambientes controlados como em áreas naturalmente infestadas. De Luca et al. (2004) encontraram variação intraespecífica em populações de *Pratylenchus*. Machado et al. (2006), Siqueira & Inomoto (2006) e Inomoto et al. (2007) relatam que as populações de *P. brachyurus* no Brasil apresentam capacidade reprodutiva diferente e desta forma, diferentes populações podem se mostrar mais ou menos agressivas, interferindo diretamente na infectividade e reprodução do patógeno.

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram a vulnerabilidade dos genótipos de soja frente a *P. brachyurus*, já que das seis cultivares avaliadas, somente a Xingu apresentou comportamento resistente. A maioria dos trabalhos mostra que este fitonematoide apresenta capacidade de reproduzir-se nas raízes de todos os genótipos de soja testados, procedentes de diferentes instituições e de programas de melhoramento genético (Ferraz, 1996; Costa & Ferraz, 1998; Machado 2009, Ferreira, 2010; Alves et al., 2011). Ribeiro et al. (2007) também observaram que as principais cultivares brasileiras de soja indicadas no Brasil Central não foram resistentes a este fitonematoide, tanto, nas avaliações em casa de vegetação quanto em área naturalmente infestada. Porém, as mesmas diferem bastante com relação às capacidades de multiplicá-lo e de tolerá-lo. Este fato mostra-se preocupante, uma vez que uma das mais eficientes formas de manejo de fitonematoides é a utilização de cultivares resistentes.

Ferraz (1996) relata que a seleção de cultivares de soja, que constituam efetivas fontes de resistência a *P. brachyurus*, é um objetivo bem difícil de concretizar. A interação deste fitonematoide com o hospedeiro é menos complexa que a dos fitonematoides de cisto e de galhas (Embrapa, 2011), não havendo necessidade de formação de células especializadas de alimentação. Este é um dos fatores que explicam a dificuldade na obtenção de cultivares resistentes. Na interação mais complexa, a planta desenvolve um mecanismo de hipersensibilidade para se proteger do ataque desses fitonematoides, provocando então a morte da célula que nutre estes patógenos e, conseqüentemente, eles morrem por inanição. Contudo, quando a planta é atacada por fitonematoide migrador, como é o *P. brachyurus*, esse mecanismo de resistência não ocorre.

3.3.2 Análise dialélica para resistência de populações de soja a *P. brachyurus* em condições de casa de vegetação

O resultado da análise de variância para o fator de reprodução do fitonematoide evidencia a presença de diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$). Foram detectadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os indivíduos F_1 's e no contraste dos genitores com os F_1 's (Tabela 3.3). Esses resultados indicam a presença de variabilidade entre as populações, porém os genitores utilizados nos cruzamentos não apresentam diversidade genética para o caráter em questão.

Tabela 3.3. Resumo da análise de variância, média e coeficiente de variação (CV) para o caráter fator de reprodução de *P. brachyurus*, avaliados por meio de um dialelo parcial envolvendo seis genitores em soja. Goiânia-GO, 2013.

FV	GL	SQ	QM
Tratamentos	13	1,43040	0,11008*
Genitores	5	0,22500	0,045000 ^{ns}
F_1	7	0,44160	0,063086*
Genitores vs F_1	1	0,76380	0,76380*
Resíduo	70	1,53860	0,021980
Total	83	2,9697	-
Média Geral	-	0,75	-
CV (%)	-	16,92	-

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}Não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Todos os genitores apresentaram comportamento de resistência de acordo com a classificação proposta por Oostenbrink (1966) (Tabela 3.4). Esse resultado confronta com os obtidos em condições de campo, neste mesmo estudo. A avaliação da reação dos genótipos em campo e em casa de vegetação está sujeita a variações intrínsecas ao ambiente e ao patógeno, o que pode levar a conclusões contrastantes, como a classificação de um mesmo genótipo ora como suscetível, ora como resistente. Essa desigualdade faz com que alguns autores recomendem a associação de estudos de campo e de casa de vegetação em programas de melhoramento para resistência aos fitonematoides (Carneiro et al., 2005).

Tabela 3.4. Médias do fator de reprodução do *P. brachyurus* nos genótipos parentais e nas populações originadas dos cruzamentos de soja, avaliados em casa de vegetação. Goiânia-GO, 2013.

Genótipos	FR
BRS 8560RR	0,22
Emgopa 313RR	0,45
MSOY 7639RR	0,57
Xingu	0,42
BRSGO Caiapônia	0,36
MSOY 8360RR	0,73
BRSGO Caiapônia/MSOY 8360RR	1,62
Xingu/MSOY 8360RR	0,67
BRSGO Caiapônia/MSOY 7639RR	1,10
Xingu/MSOY 7639RR	0,52
BRSGO Caiapônia/BRS 8560RR	1,13
Xingu/BRS 8560RR	0,94
Xingu/ Emgopa 313RR	1,10
BRSGO Caiapônia/Emgopa 313RR	0,79
Média Geral	0,75
CV (%)	16,92

Como comentado anteriormente, diversos fatores podem interferir na infectividade e patogenicidade do *P. brachyurus* podendo explicar os resultados conflitantes obtidos. Um deles pode ser uma menor agressividade da população utilizada como inóculo no presente estudo, uma vez que existe variabilidade entre as populações deste fitonematoide no Brasil e assim, apresentam capacidade reprodutiva diferente (Machado et al., 2006; Siqueira & Inomoto, 2006; Inomoto et al., 2007). Griffin et al. (1990) evidenciaram em seus estudos que as diferenças existentes entre populações de *M. hapla*, separadas geograficamente, afetam a resistência e suscetibilidade de alfafa. Estes autores observaram que diferenças fisiológicas na virulência e reprodução das populações

desta espécie e o efeito da temperatura do solo exercem influência na expressão da resistência das plantas e este fato deve ser considerado em um programa de melhoramento. Ribeiro et al. (2013) identificaram populações mistas de *Pratylenchus* e uma nova espécie do gênero, *P. bolivianus*, em diferentes campos de soja na região Central do Brasil. Os autores reforçam a necessidade de estudos de patogenicidade para que estratégias de controle eficazes possam ser desenvolvidas.

Entre as progênies F_1 's as que apresentaram comportamento resistente foram aquelas originadas dos cruzamentos entre Xingu x MSOY 8360RR, Xingu x MSOY 7639RR, Xingu x BRS 8560RR e BRSGO Caiapônia x Emgopa 313RR (Tabela 3.4).

Os quadrados médios para a CGC dos genótipos do grupo I (CGC Grupo I) e CEC foram significativos pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 3.5). Este resultado demonstra a existência de variabilidade, resultante da ação de efeitos aditivos e não-aditivos no controle da expressão gênica (Cruz & Regazzi, 2012), o que permite prever a possibilidade de obtenção de novas cultivares a partir das populações segregantes, e que alguns dos genótipos são mais promissores do que outros (Barelli et al., 2000). A significância obtida para a CGC do grupo I indica que a formação de população-base, a partir da cultivar Xingu é viável e proporcionará ganhos satisfatórios pela seleção de indivíduos em gerações segregantes (Cruz & Regazzi, 2012). Avaliando a resistência de alfafa a *P. penetrans*, Thies et al. (1994) observaram significância apenas na CGC.

Tabela 3.5. Estimativas dos quadrados médios de genótipos de soja (genitores e F_1 's), das capacidades geral (CGC) e específica de combinação (CEC) e do resíduo para fator de reprodução (FR), avaliadas em dialelo parcial. Goiânia-GO, 2013.

FV	GL	SQ	QM
Cruzamento	7	0,4416	0,063085714*
CGC Grupo I	1	0,121275	0,121275*
CGC Grupo II	3	0,056025	0,018675 ^{ns}
CEC I x II	3	0,2643	0,0881*
Resíduo	70	1,533	0,0219

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}Não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

É possível constatar que, os efeitos da CGC dos genitores no grupo I, tiveram comportamentos distintos para o fator de reprodução (Tabela 3.6). A cultivar Xingu apresentou efeito negativo para CGC apresentando estimativa de -0,05025, o que demonstra que, na média dos cruzamentos, ela contribuiu para diminuir a incidência do

fitonematoide *P. brachyurus*. A cultivar BRSGO Caiapônia apresentou efeito contrário para CGC indicando que houve uma contribuição genética significativa deste genitor para a diminuição dos níveis de resistência das progênes ao fitonematoide. Este resultado é bem compreendido quando se observa, na maioria dos cruzamentos, os valores médios do fator de reprodução das progênes originadas entre as combinações que envolvem essas cultivares (Tabela 3.4).

Tabela 3.6. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (g_i) relativas ao caráter fator de reprodução (FR), avaliado no experimento em casa de vegetação. Goiânia/GO, 2013.

Genitores	CGC
GRUPO I	
Xingu	-0,05025
BRSGO Caiapônia	0,05025
Erro padrão (g_i)	0,02136

As estimativas referentes à CEC (s_{ij}) dos oito cruzamentos, para a variável FR, estão apresentadas na Tabela 3.7. Valores baixos de s_{ij} indicam que as populações comportaram-se como seria esperado, com base na sua CGC. Já altos valores, positivos ou negativos, demonstram que algumas combinações específicas comportaram-se relativamente pior ou melhor, respectivamente, do que o esperado. Assim, a CEC é, em grande parte, dependente de genes que mostrem efeitos de dominância ou de epistasia (Sprague & Tatum, 1942). Os efeitos significativos e negativos da CEC indicam que estas combinações híbridas apresentam redução do fator de reprodução, o que não pode ser explicado pela média dos pais e suas capacidades gerais de combinação (Kostetzer et al., 2009).

Os resultados mostram que algumas combinações se destacaram pela existência de interação favorável entre os genitores, como demonstrado pelos valores altos e negativos de s_{ij} , uma vez que o interesse é nos menores valores do FR. A combinação que apresentou o valor máximo para diminuição da multiplicação do *P. brachyurus* foi Xingu x MSOY 8360RR ($s_{ij} = -0,1007$). Observa-se que essa combinação esteve entre as que apresentaram comportamento de resistência (FR=0,67) (Tabela 3.4). Outro cruzamento que favoreceu a diminuição de *P. brachyurus* foi BRSGO Caiapônia x Emgopa 313RR ($s_{ij} = -0,0993$). Nota-se que as populações originadas deste cruzamento também estão entre as que apresentaram comportamento de resistência (Tabela 3.4).

Tabela 3.7. Estimativas da capacidade específica de combinação (s_{ij}) de genótipos de soja, para o caráter fator de reprodução (FR), avaliado no experimento em casa de vegetação, Goiânia/GO.

Cultivares		Efeitos
Grupo I	Grupo II	
Xingu	BRS 8560RR	0,0323
Xingu	Emgopa 313RR	0,0993
Xingu	M SOY 7639RR	-0,0307
Xingu	MSOY 8360RR	-0,1007
BRS Caiapônia	BRS 8560RR	-0,0323
BRS Caiapônia	Emgopa 313RR	-0,0993
BRS Caiapônia	M SOY 7639RR	0,0307
BRS Caiapônia	MSOY 8360RR	0,1007
Erro padrão (s_{ij})		0,036997

Os cruzamentos que podem gerar populações que se apresentem como suscetíveis ao fitonematoide foram Xingu x Emgopa 313RR ($s_{ij} = 0,0993$), confirmando o comportamento suscetível obtido pelo $FR > 1,0$ (Tabela 3.4) e BRS Caiapônia x MSOY 8360RR ($s_{ij} = 0,1007$). Este resultado também é confirmado ao observar que as populações originadas deste cruzamento apresentaram comportamento suscetível (Tabela 3.4).

A CEC está relacionada com efeitos gênicos não aditivos (Sprague & Tatum, 1942) e indica o grau de complementaridade entre os genitores envolvidos nos cruzamentos. A significância da variância, atribuída a estes efeitos, indica a viabilidade do uso de cruzamentos, dentre os materiais avaliados, para fins comerciais, fundamentada na manifestação do efeito heterótico nestas combinações híbridas (Cruz & Regazzi, 2012). O efeito da CEC é útil para os melhoristas de plantas autógamas, pois sua magnitude indica a dimensão da variabilidade que pode ser expressa em cada população, esperando-se maior probabilidade de obtenção de segregantes transgressivos quando os efeitos da CEC forem elevados (Barelli et al., 2000).

3.4 CONCLUSÃO

Na avaliação em campo infestado, todas as cultivares apresentaram comportamento de suscetibilidade, porém na avaliação em casa de vegetação as mesmas cultivares comportaram-se como resistentes, evidenciando a presença de variabilidade do *P. brachyurus*.

A análise dialélica evidencia a presença de efeitos aditivos e não aditivos no controle da resistência a *P. brachyurus*.

O cruzamento Xingu x MSOY 8360 RR é o mais promissor em gerar progênes com reação de resistência.

4 COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE SOJA SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE INÓCULO DE *Pratylenchus brachyurus* EM TRÊS ÉPOCAS DE PLANTIO

RESUMO

O fitonematoide *P. brachyurus* tem se tornado um grande problema para sojicultura no Brasil, caracterizando-se como um patógeno polífago, agressivo e de difícil controle. O presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de cultivares de soja submetidas a diferentes concentrações de inóculo de *P. brachyurus* em três épocas de semeadura. O experimento foi conduzido sob condições de casa de vegetação no período de dezembro de 2012 a junho de 2013. Foram avaliadas as cultivares de soja BRSGO Caiapônia, MT/BR 51 (Xingu), M-SOY 8360RR, M-SOY 7639RR, BRS 8560RR e Emgopa 313RR. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 (cultivares) x 3 (concentrações do inóculo) x 3 (épocas de plantio) com seis repetições, sendo que as parcelas foram compostas de um saco plástico com duas plantas. Decorridos sessenta dias da inoculação, em cada uma das épocas de semeadura, foi realizada a determinação da massa fresca das raízes e a quantificação dos fitonematoides, além do fator de reprodução. Na segunda época de plantio foi observada menor massa fresca das raízes e maior densidade populacional de *P. brachyurus*. Na terceira época de plantio a temperatura média do ambiente apresentou-se mais amena. Nesta época notou-se que todas as cultivares apresentaram menores densidades populacionais de *P. brachyurus* e comportamento resistente (FR<1). Observou-se uma tendência no aumento da densidade populacional do fitonematoide à medida que aumentou a concentração de inóculo na primeira e segunda épocas de plantio.

Palavras-chave: *Glycine max*, nematoide das lesões radiculares, resistência genética, nível de inóculo.

ABSTRACT

**EFFECT OF INOCULUM CONCENTRATION AND PLANTING DATE ON
Pratylenchus brachyurus DEVELOPMENT IN SOYBEAN CULTIVARS**

The plant nematode *P. brachyurus* it has become a big problem for soybean-planters in Brazil, characterizing itself as non-specific pathogen, aggressive and of difficult control. The present study aimed to evaluate the response of soybean cultivars under different inoculum concentrations in three planting dates. The experiment was conducted under greenhouse conditions in the period of December of 2012 to June of 2013. They were evaluated the soybean cultivars BRSGO Caiapônia, MT/BR 51 (Xingu), MSOY 8360RR, MSOY 7639RR, BRS 8560RR and Emgopa 313RR. The experimental design used was entirely randomized, with six replications in a 6 (soybean cultivars) x 3 (inoculum concentrations) x 3 (planting dates) factorial, being that the plots were composed of a plastic bag with two plants. After 60 days of inoculation, in each planting dates, was done the determination of the fresh mass of roots and quantification of the nematode plants, beyond the factor of reproduction. In the second planting date was observed lower fresh mass of roots and higher population density of the plant nematode. In the third date planting the average temperature of the environment presented lower, influencing lower population densities of *P. brachyurus* and, consequently $RF < 1$. There was a trend towards growing the plant parasitic nematode population density increased as the inoculum concentration in the first and second planting dates.

Keywords: *Glycine max*, root-lesion nematode, genetic resistance, inoculum level.

4.1 INTRODUÇÃO

O fitonematoide *P. brachyurus* configura motivo de preocupação para os produtores de diversas culturas em todo o Brasil. Com o passar dos anos, devido o monocultivo de cultivares de soja suscetíveis, combinado com a entressafra de milho ou algodão, ocorreram aumentos consideráveis das populações do parasita no solo (Dias et al., 2010). A ocorrência deste fitonematoide na soja reduz o desenvolvimento do sistema radicular, causando amarelecimento foliar e redução na produção (Embrapa, 2011).

Na região Centro-Oeste foram registradas perdas de até 30% na produtividade da soja, atribuídas a altas infestações de *P. brachyurus* (Dias et al., 2010). Grandes populações deste fitonematoide têm sido encontradas em amostras de solo e em raízes de feijão e de soja provenientes do Distrito Federal, de Goiás e da Bahia, havendo relatos de danos e perdas econômicas extremamente preocupantes (Goulart, 2008). No Oeste da

Bahia muitas culturas anuais estão sendo seriamente prejudicadas, inclusive no sistema de integração lavoura-pecuária e/ou plantio direto.

O nível de inóculo dos fitonematoides apresenta grande variação no tempo e nas direções vertical e horizontal, no perfil do solo (Ribeiro et al., 2009), o que reflete na sua multiplicação e consequente reação dos genótipos frente ao ataque destes patógenos. Ferraz (1995) realizou um estudo de patogenicidade de *P. brachyurus* em relação a três cultivares de soja (Andrews, Invicta e Ocepar-14), mediante inoculação de zero, 200, 1.000 e 5.000 espécimes/planta/vaso, sem determinar limiares de dano e observou redução no crescimento das três cultivares, principalmente com os níveis de inóculo de 1.000 e 5.000 espécimes/planta/vaso. Os fatores de reprodução decresceram com o aumento dos níveis populacionais do inóculo, em todos os casos. Goulart et al. (2013), objetivando avaliar os danos causados por diferentes níveis populacionais de *P. brachyurus* na cultura da soja, utilizaram os níveis de inóculo de 300, 600, 1.200, 2.400 e 4.800 juvenis e/ou adultos por planta/vaso. Os autores também notaram que quanto maior a população de indivíduos inoculados, menor foi o fator de reprodução.

A temperatura é um dos fatores ambientais que exerce influência na infectividade e patogenicidade dos fitonematoides (Campos, 2007), estando relacionada à época e ao local de plantio das culturas. Variações na temperatura do ambiente e do solo alteram a velocidade de processos fisiológicos dos fitonematoides, bem como movimentação, desenvolvimento, reprodução, determinação sexual, abundância relativa de alimento e expressão dos danos às plantas (Freckman & Caswell, 1985). Koen (1967) em um estudo realizado na cultura da batata observou que populações de *P. brachyurus* no solo diminuem durante o inverno devido às baixas temperaturas (5-8 °C) e são mantidas em altas temperaturas (20-27 °C). Moura et al. (1999) verificaram que, no mês de março, as populações de fitonematoides associados à cana-de-açúcar foram superiores em comparação ao mês de outubro relacionando com o início das chuvas e o das estiagens, respectivamente. Em São Paulo, Campos (2007) estudou a flutuação populacional dos nematoides dos citros (*Tylenchulus semipenetrans* e *P. jaehni*) em duas regiões distintas do estado e observou que a temperatura e a pluviosidade foram fatores que regularam a população dos nematoides nas duas regiões, segundo o autor, esses fatores possuem forte influência sobre a biologia destes patógenos.

Os sistemas de produção em ambiente protegido, como casa de vegetação, são intrinsecamente dependentes de fatores externos e internos, além dos mecanismos de

controle climático, como ventiladores e exaustores, o que tende a compor um ambiente dinâmico e complexo (Soni et al., 2005). Mesmo em condições controladas, a temperatura pode variar significativamente com o tempo (Teruel, 2010; Omer, 2009), sendo que a radiação solar é um dos fatores que contribui diretamente para variações no comportamento da temperatura do ar (Bojacá et al., 2009).

É importante que se conheça a reação de genótipos de soja em diferentes condições de cultivo para uma recomendação mais segura aos produtores. Nesse sentido, o presente estudo buscou determinar o potencial de dano de *P. brachyurus* na cultura da soja, avaliando a reação de diferentes cultivares submetidas a três densidades populacionais do fitonematoide, em três épocas de plantio.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido experimento sob condições de casa de vegetação na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, no período de dezembro de 2012 a junho de 2013. Avaliaram-se plantas das cultivares de soja BRSGO Caiapônia, MT/BR 51 (Xingu), M-SOY 8360RR, M-SOY 7639RR, BRS 8560RR e Emgopa 313RR submetidas às concentrações iniciais de inóculo de 200, 400 ou 600 juvenis e/ou adultos de *P. brachyurus* por parcela, semeadas em três épocas diferentes. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 (cultivares) x 3 (concentrações do inóculo) x 3 (épocas de semeadura) com seis repetições, sendo que as parcelas foram compostas de um recipiente com duas plantas.

A semeadura das cultivares foi realizada em sacos de polietileno preto (17 cm x 22 cm), contendo substrato composto por mistura de solo e areia, na proporção 1:1. O substrato foi previamente esterilizado por autoclavagem. As plântulas permaneceram em casa de vegetação até o momento da avaliação, sob condições controladas de temperatura. A irrigação foi realizada de forma manual uma vez ao dia com o uso de regadores e as temperaturas máxima e mínima do ambiente eram registradas diariamente.

O inóculo de *P. brachyurus* foi obtido de uma área naturalmente infestada do município de Vicentinópolis/GO, coletado em dezembro de 2008. O solo infestado foi mantido em casa de vegetação para a multiplicação dos fitonematoides, para isso foi distribuído em vasos plásticos e semeado primeiramente caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e posteriormente, passando a ser multiplicado em plantas de soja (cultivar TMG

123). O inóculo foi então extraído das raízes desta cultivar de soja, as quais, no momento da extração, estavam com 54 dias de semeadura. A extração dos fitonematoides foi realizada conforme o método de Coolen & D'Herde (1972).

A primeira semeadura foi realizada no dia 12 de dezembro de 2012 e a inoculação nove dias após a semeadura, depositando-se uma suspensão aquosa contendo as concentrações de 200, 400 ou 600 juvenis e/ou adultos de *P. brachyurus* por parcela. A mesma metodologia foi utilizada na segunda e terceira, diferenciando apenas as datas de semeadura, inoculação e avaliação. A segunda semeadura foi realizada no dia 15 de fevereiro de 2013 e inoculado sete dias após a semeadura e a terceira semeadura foi realizada no dia 25 de abril de 2013 e inoculado sete dias após a semeadura.

Decorridos sessenta dias após a inoculação em cada uma das épocas de semeadura, foi realizada a determinação da massa fresca das raízes e da parte aérea e a extração e quantificação dos fitonematoides. Para a extração dos fitonematoides foi utilizado o método de Coolen & D'Herde (1972). Após a extração, os fitonematoides foram preservados em solução Golden X, conforme Hooper (1970). A quantificação foi realizada utilizando-se câmara de Peters e observação sob microscópio óptico (aumento 100x).

Após a quantificação dos fitonematoides foi obtido o fator de reprodução (FR), que classifica as plantas em resistentes aquelas que apresentarem um $FR < 1,0$ e, suscetíveis as que apresentarem $FR > 1,0$. Esta variável é obtida por meio da divisão da população final (Pf) pela população inicial (Pi) (Oostenbrink, 1966). A população inicial considerada foi a concentração do inóculo de 200, 400 ou 600 juvenis e/ou adultos por parcela e a população final, o total de fitonematoides obtidos no volume total de raízes.

Para a análise estatística dos dados, quando necessário, utilizou-se a transformação conforme preconizado por Box & Cox (1964). Em seguida, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando observadas diferenças significativas entre as concentrações de inóculo foi feita análise de regressão.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre cultivares de soja e épocas de semeadura ($P < 0,05$) para todas as variáveis avaliadas. Não foi observada interação entre cultivares e

concentração de inóculo, nem interação tripla (cultivares x épocas x concentração de inóculo). Para fator de reprodução e densidade populacional de *P. brachyurus* houve interação entre época de semeadura e concentrações de inóculo (Tabela 4.1).

Na segunda época de semeadura, a maioria das cultivares apresentou menor massa fresca das raízes (Tabela 4.2). Provavelmente, este fato foi consequência da maior infestação dos fitonematoides, uma vez que, nesta época observou-se a maior densidade populacional de *P. brachyurus* (Tabela 4.3).

A temperatura média do ambiente apresentou-se mais amena na terceira época de semeadura, na qual observou-se que todas as cultivares apresentaram menores densidades populacionais de *P. brachyurus* (Tabela 4.3) e fatores de reprodução inferior a um, com exceção da cultivar MSOY 8360RR (Tabela 4.5). As avaliações da reação de genótipos de soja, nesta época, podem não revelar o comportamento real da cultivar, uma vez que a infectividade do nematoide encontra-se reduzida.

Tabela 4.1. Resumo da análise de variância com estrutura fatorial para cultivares de soja (Cult.), épocas de semeadura (Ép.) e concentração de inóculo (Conc.), para massa fresca de raiz (MFR), densidade populacional de *P. brachyurus* (DENS) e fator de reprodução (FR). Goiânia-GO, 2013.

Fontes de variação	GL	QM		
		MFR ¹	DENS ¹	FR ¹
Cultivares	5	3,533258*	1839,697*	0,021714 ^{ns}
Épocas	2	10,30472*	13429,61*	3,472167*
Conc. de inóculo	2	0,273664 ^{ns}	12993,43*	0,747977*
Cult. x Épocas	10	0,795217*	625,3889*	0,363829*
Cult. x Conc. de inóculo	10	0,234809 ^{ns}	335,6041 ^{ns}	0,181887 ^{ns}
Época x Conc. de inóculo	4	0,096073 ^{ns}	2047,044*	0,857798*
Cult. x Ép. x Conc.	20	0,184992 ^{ns}	220,1311 ^{ns}	0,143089 ^{ns}
Resíduo	279	0,19142	208,6734 ^{ns}	0,112148 ^{ns}
Média		3,83	1.731,53	1,21
CV (%)		23,36	40,10	32,64

¹ - Dados transformados em raiz quadrada de x para realização da análise estatística.

* Diferenças significativas pelo Teste F (P < 0,05).

A época de semeadura interferiu na infecção de *P. brachyurus* e, conseqüentemente, no desenvolvimento das plantas. A massa fresca de raízes apresentou os menores valores na segunda época para todas cultivares (Tabela 4.2). Somente nas cultivares BRSGO 8560 RR e Xingu este efeito não foi significativo. Provavelmente, o menor desenvolvimento das raízes seja consequência do maior parasitismo dos fitonematoides observado também nesta época (Tabela 4.3). A diminuição do peso de

raízes devido à infestação do fitonematoide é esperada, pois as espécies de *Pratylenchus* provocam necrose nas raízes, atacando principalmente as secundárias e, desta forma, prejudicam o seu desenvolvimento acarretando um menor volume (Ferraz, 2006). Resultados semelhantes foram obtidos por Ferraz (1995) que observou danos significativos nas raízes das cultivares de soja devido à infestação por *P. brachyurus*.

As temperaturas registradas na segunda época de semeadura, provavelmente favoreceram a multiplicação de *P. brachyurus* ocasionando o menor desenvolvimento das raízes das cultivares. Durante a condução desta época foi registrada temperatura média de 30,2°C, variando de 19°C a 42°C. Já na condução da primeira época de semeadura, a temperatura média do ambiente foi de 29,2°C, variando de 12°C a 44°C. Durante a condução da terceira época de semeadura, foram registradas as menores temperaturas, com uma média de 25°C, variando de 13°C a 37°C. Essa variação na temperatura é esperada, devido o intervalo temporal entre as diferentes épocas, que foi de aproximadamente 60 dias entre um plantio e outro. Mesmo em condições de casa de vegetação, a temperatura pode variar significativamente com o tempo (Teruel, 2010; Omer, 2009), sendo que a radiação solar é um dos fatores que contribui diretamente para essas variações (Bojacá et al., 2009). Apesar da temperatura ambiental não afetar diretamente o fitonematoide, à medida que ela sofre decréscimo, a temperatura do solo também tende a diminuir, e vice-versa, e dessa forma altera a patogenicidade e reprodução do fitonematoide.

Tabela 4.2. Médias da massa fresca de raiz (MFR)¹, em gramas, das cultivares de soja avaliadas em diferentes épocas de semeadura. Goiânia-GO, 2013.

Época	Cultivares						Média
	BRS GO 8560 RR	Emgopa 313 RR	MSOY 7639 RR	Xingu	BRS GO Caiapônia	MSOY 8360 RR	
1	5,23 aBC	2,69 aD	4,29 aBC	8,40 aA	5,27 aB	3,85 aCD	4,96
2	3,49 bA	1,35 bB	2,29 bAB	3,53 bA	2,76 bAB	1,99 bB	2,57
3	4,09 abA	3,55 aA	3,88 aA	4,16 bA	4,50 aA	3,62 aA	3,97
Média	4,27	2,53	3,49	5,36	4,18	3,15	
CV (%)	10,23	24,18	17,42	25,40	16,48	17,62	

¹Dados transformados em *raiz quadrada* de x para realização da análise estatística;

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A densidade populacional de *P. brachyurus* foi maior na segunda época de semeadura em todas as cultivares, embora este efeito não tenha sido significativo entre as cultivares BRS 8560RR e Emgopa 313RR ao se comparar com a primeira época (Tabela

4.3). Na terceira época de semeadura, ou seja, no mês de abril, todas as cultivares apresentaram menores densidades populacionais de *P. brachyurus* e não houve diferença entre as cultivares. Este fato indica que a avaliação da reação de genótipos de soja em épocas de temperaturas amenas não é aconselhada, uma vez que, a baixa infectividade do nematoide pode interferir o comportamento das cultivares levando a falsas conclusões.

Tabela 4.3. Densidade populacional (*P. brachyurus*/10 g de raiz)¹ em cultivares de soja avaliadas em diferentes épocas de semeadura. Goiânia-GO, 2013.

Ép.	Cultivares						Média
	BRS 8560RR	Emgopa 313RR	MSOY 7639RR	Xingu	BRS GO Caiapônia	MSOY 8360 RR	
1	1.293,29 aB	3.046,55 aA	1.214,41 bB	531,40 bB	1.281,86 bB	1.059,44 bB	1.404,50
2	1.721,10 aB	4.752,36 aA	2.999,72 aAB	2.217,07 aB	2.634,91 aAB	3.265,90 aAB	2.931,84
3	552,30 bA	964,65 bA	857,49 bA	735,61 bA	688,93 bA	1.350,52 bA	858,25
Média	1.188,90	2.921,19	1.690,54	1.161,35	1.535,23	1.891,96	
CV (%)	27,92	35,76	34,42	37,17	36,51	30,15	

¹-Dados transformados em raiz quadrada de x para realização da análise estatística;

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em todas as concentrações de inóculo a densidade populacional de *P. brachyurus* também se mostrou maior na segunda época de plantio, independente das cultivares (Tabela 4.4), o que pode ser explicado pelas condições ambientais mais propícias ao desenvolvimento do nematoide. Embora as temperaturas médias registradas na primeira e segunda épocas sejam muito próximas, a variação foi menor na segunda época de plantio, o que pode ter sido um fator favorável ao nematoide. Goulart (2008) comenta que variações na temperatura são uma das diversas ameaças que nematoides do gênero *Pratylenchus* necessitam enfrentar para sobreviver no solo.

Tabela 4.4. Médias da densidade populacional (*P. brachyurus*/10 g de raiz) em cultivares de soja, submetidas a diferentes concentrações de inóculo em três épocas de semeadura. Goiânia-GO, 2013.

Época	Concentração de inóculo (juvenis e/ou adultos por parcela) ¹			Média
	200	400	600	
1	934,65 a	1.402,48 b	1.876,35 b	1.404,49
2	841,68 a	3.214,40 a	4.739,45 a	2.931,84
3	282,11 b	1.182,95 b	1.109,69 b	858,25
Média	686,15	1.933,28	2.575,16	-
CV (%)				41,82

¹Dados transformados em raiz quadrada de x para realização da análise estatística;

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se aumento linear na densidade populacional de *P. brachyurus* à medida que aumentou-se a concentração de inóculo, na primeira e segunda épocas de plantio (Figura 4.1). Esse aumento no número de indivíduos é algo esperado, uma vez que ao se elevar a concentração de juvenis e/ou adultos aumenta-se a taxa de infecção e pelo fato das cultivares, em geral, não terem apresentado comportamento resistente, o desenvolvimento do fitonematoide não é paralisado. Dessa forma, o aumento na concentração inicial de inóculo de *P. brachyurus*, tende a aumentar o número de indivíduos presentes no sistema radicular de cultivares de soja.

Os resultados encontrados corroboram com os de Goulart et al. (2013) que ao avaliarem os danos causados por diferentes níveis populacionais de *P. brachyurus* na cultura da soja, observaram que a população total de fitonematoides apresentou-se crescente de acordo com o total de fitonematoides inoculados. Barbosa et al. (2013) realizaram um estudo para averiguar a agressividade de *P. brachyurus* comparada a de *P. zae* à cana-de-açúcar com os níveis de inóculo inicial 10, 100, 1.000, 10.000 e 100.000 espécimes/planta, para os dois fitonematoides, isoladamente. Esses autores observaram que a densidade populacional de *P. brachyurus* aumentou proporcionalmente ao aumento da concentração inicial do inóculo.

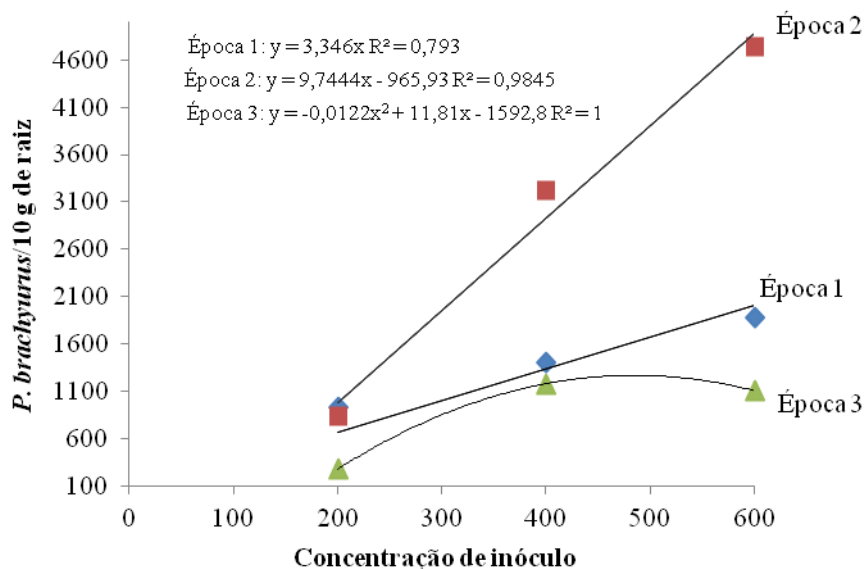


Figura 4.1. Densidade populacional de *P. brachyurus* (*P. brachyurus*/10 g de raiz) em cultivares de soja, na primeira (Época 1), segunda (Época 2) e terceira (Época 3) épocas de semeadura, em função de diferentes concentrações de inóculo. Goiânia-GO, 2013.

Na terceira época de plantio foi observado um efeito quadrático havendo aumento na densidade populacional de *P. brachyurus* até a concentração de 400 juvenis e/ou adultos por planta. A partir desta concentração, ocorreu diminuição do número de indivíduos por 10 gramas de raiz (Figura 4.1). Este comportamento poderia ser explicado pela competição entre os fitonematoídeos por sítios de alimentação conforme explicado por Asmus & Ferraz (2002), que observaram que a população, em baixos níveis iniciais, cresce exponencialmente por um pequeno período de tempo, mas devido à competição por alimento, passa a apresentar taxas cada vez menores de crescimento. No entanto, como nesta época foram observadas as menores densidades populacionais do nematoídeo, é possível que as temperaturas mais amenas observadas tenham levado à diminuição do metabolismo do fitonematoídeo, interferindo na sua taxa de crescimento.

Como consequência das menores densidades populacionais observadas na terceira época de plantio, também foram observados FR mais baixos (Tabela 4.5) sendo menor que um para todas as cultivares, exceto MSOY 8360 RR. Entretanto os fatores de reprodução apresentaram valores muito próximos não permitindo discriminar comportamentos de resistência ou suscetibilidade a *P. brachyurus* entre as cultivares testadas. Fato semelhante foi observado utilizando-se as diferentes concentrações de inóculo. Independente das cultivares, os menores valores de FR foram obtidos na terceira época, exceto na concentração de 400 juvenis e/ou adultos por planta, porém com valores muito próximos (Tabela 4.6) impedindo discriminar qual concentração e época de plantio reduzem a multiplicação de *P. brachyurus*.

Tabela 4.5. Médias do fator de reprodução (FR) de *P. brachyurus* nas cultivares de soja avaliadas em diferentes épocas de semeadura. Goiânia-GO, 2013.

Época	Cultivares ¹						Média
	BRS 8560RR	Emgopa 313RR	MSOY 7639RR	Xingu	BRS GO Caiapônia	MSOY 8360RR	
1	1,83 aA	1,63 aA	1,38 abAB	1,18 abAB	1,45 aAB	1,04 aB	1,42
2	1,21 aA	1,12 abA	1,71 aA	1,38 aA	1,52 aAB	1,45 aA	1,40
3	0,52 bB	0,82 bAB	0,72 bAB	0,76 bAB	0,72 bAB	1,28 aA	0,81
Média	1,19	1,19	1,27	1,11	1,23	1,26	-
CV (%)							32,64

¹Dados transformados em raiz quadrada de x para realização da análise estatística;

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4.6. Médias do fator de reprodução de *P. brachyurus* em cultivares de soja, submetidas a diferentes concentrações de inóculo em três épocas de semeadura. Goiânia/GO, 2013.

Época	Concentração de inóculo ¹			Média
	200	400	600	
1	1,73 aA	1,44 aAB	1,09 bB	1,42
2	1,06 bB	1,53 aA	1,60 aA	1,40
3	0,53 cB	1,21 aA	0,68 cB	0,80
Média	1,10	1,39	1,12	-
CV (%)				32,64

¹Dados transformados em raiz quadrada de x para realização da análise estatística;

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos para massa fresca de raízes, densidade populacional de *P. brachyurus* e fator de reprodução, reforçam o fato de que temperaturas amenas exercem influência sobre a patogenicidade do fitonematoide. Baixas temperaturas provocam redução no metabolismo destes patógenos e, dessa forma, ficam menos infectivos, multiplicando menos (Freckman & Caswell, 1985). Charchar e Aragão (2005) avaliaram o efeito da variação anual da população mista de *M. incognita* raça 1 e *M. javanica* em cultivos de batata no Distrito Federal. Os autores constataram que, a redução das temperaturas observadas a partir dos meses de maio e junho, baixou o FR em 97% nas parcelas em que foi aplicado nematicida e até 90% nas parcelas que não foi aplicado nematicida. Os autores ainda comentam que as baixas temperaturas podem ter interferido diretamente no processo de reprodução dos nematoides.

4.4 CONCLUSÃO

As cultivares testadas apresentaram comportamento de suscetibilidade a *P. brachyurus*.

Épocas com períodos de temperaturas amenas não são adequadas para avaliar a reação de genótipos de soja a *P. brachyurus*.

O aumento da concentração de inóculo de *P. brachyurus* resulta em aumento na densidade populacional, nas épocas que favorecem o seu desenvolvimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fitonematoide *P. brachyurus* vem se destacando como um dos patógenos de risco para a cultura da soja. Conhecer a reação dos diversos genótipos de soja em relação a este patógeno é de fundamental importância, uma vez que o uso de cultivares resistentes é uma das formas mais eficazes de manejo, já que este nematoide se caracteriza por ser uma espécie polífaga, o que dificulta a rotação de culturas. Observa-se, nos diversos estudos, a divergência de resultados em relação ao comportamento resistente ou suscetível das cultivares de soja, tanto em condições de casa de vegetação quanto em condições de campo naturalmente infestado.

Os resultados obtidos na avaliação da reação das cultivares de soja ao *P. brachyurus*, mostraram que todas as cultivares foram consideradas suscetíveis em condições de campo, com base no fator de reprodução (Oostenbrink, 1966). Porém, na avaliação em condições de casa de vegetação, todos os genitores apresentaram-se como resistentes. Este fato sugere que há diferença na agressividade da população utilizada como inóculo na casa de vegetação. A resistência da soja ao *P. brachyurus* apresenta efeitos genéticos aditivos e não aditivos demonstrando a existência de variabilidade, o que permite prever a possibilidade de obtenção de novas cultivares a partir das populações segregantes e, que alguns genótipos são mais promissores que outros.

A época de plantio interfere a patogenicidade e multiplicação de *P. brachyurus*, o qual apresenta flutuações populacionais nas diferentes épocas do ano, um dos fatores relacionados a esse comportamento é a temperatura. No mês de fevereiro o nematoide encontra boas condições para seu desenvolvimento e apresenta maior reprodução nas cultivares de soja, acarretando o menor desenvolvimento de suas raízes. Quando as temperaturas começam a registrar quedas, entre os meses de abril-junho, o metabolismo do nematoide diminui e, conseqüentemente, tornam-se menos infectivos. Portanto, avaliações da reação de genótipos de soja nesta época podem não revelar o comportamento real da cultivar, uma vez que a infectividade do nematoide encontra-se reduzida.

O aumento da concentração inicial de inóculo de *P. brachyurus* é acompanhado por um aumento na população final do nematoide, nas épocas que favorecem o seu desenvolvimento. Já em época de temperaturas mais amenas, observa-se aumento na densidade populacional até um limite e depois a redução, o que pode estar relacionado à redução da sua infectividade. Com estes resultados, ressalta-se a importância da continuidade de estudos visando à identificação de genótipos de soja resistentes ao *P. brachyurus*, uma vez que, ao serem identificados, estes sejam testados sob condições de pressão de inóculo, para verificar se a reação de resistência se manterá nestas condições.

6 REFERÊNCIAS

- ACOSTA, N.; R. B. MALEK. Influence of temperature on population development of eight species of *Pratylenchus* on soybean. **Journal of Nematology**, Saint Paul, v. 11, n. 3, p. 229-232, 1979.
- AKHTAR, M.; MALIK, A. Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: A review. **Bioresource Technology**, Texas, v. 74, n. 1, p. 35-47, 2000.
- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético de plantas**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1971. 381 p.
- ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; 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 de plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 569-588.
- ALVES, T. C. U. **Reação de cultivares de soja ao nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus***. 2008. 41f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2008.
- ALVES, T. C. U.; SILVA, R. A. DA.; BORGES, D. C.; MOTTA, L. C. C.; KOBAYASTI, L. Reação de cultivares de soja ao nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus*. **Revista Biodiversidade**, Rondonópolis, v. 10, n. 1, p. 73-79, 2011.
- ANDRADE, V.; CELLA, V.; DAROIT, L.; SILVA, J. F. Reação de diferentes genótipos de soja ao nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 5., 2009, Goiânia. **Anais....** Londrina: Embrapa Soja, 2009. Seção Trabalhos, t. 3. 1 CD-ROM.
- ARANTES, N. E.; KIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A. Melhoramento genético visando à resistência. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA (Ed.). **O nematoide de cisto da soja: a experiência brasileira**. Jaboticabal: Artsingner Editores, 1999. p. 105-117.
- ASMUS, G. L. Ocorrência de nematoides fitoparasitos em algodoeiro no Estado de Mato Grosso do Sul. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 77-86, 2004.
- ASMUS, G. L.; FERRAZ, L. C. C. B. Effect of population densities of *Heterodera glycines* race 3 on leaf area, photosynthesis and yield of soybean. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 273-278, 2002.

BARELLI, M. A. A.; VIDIGAL, M. C. G.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; SAGRILO, E. Diallel analysis for grain yield and yield components in *Phaseolus vulgaris* L. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 22, n. 4, p. 883-887, 2000.

BOERMA, H. R.; HUSSEY, R. S. Breeding plants for resistance to nematodes. **Journal of Nematology**, College Park, v. 24, n. 2, p. 242-252, 1992.

BOJACÁ, C. R., GIL, R., COOMAN, A. Use of geostatistical and crop growth modelling to assess the variability of greenhouse tomato yield caused by spatial temperature variations. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 219-227, 2009.

BORÉM, A.; ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S. Hibridação em soja. In: BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 443-462.

BOTELHO, F. H. C. **Estratégias de análise da reação de cultivares de algodoeiro a patógenos**. 2001. 73 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.

CÂMARA, G. M. de. Origem, difusão geográfica e importância da soja. In: CÂMARA, G.M. de S. (Coord.). **Soja: Tecnologia de produção**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. p. 1-25.

CAMPOS, A. S. **Dinâmica populacional de distribuição vertical dos nematoides dos citros no estado de São Paulo e efeito da aplicação de aldicarb no verão**. 2007. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

CAPELLARI JÚNIOR, L.; RODRIGUES, R. R.; SOUZA, V. C. **Apostila de botânica sistemática**. Piracicaba: Departamento de Botânica, ESALQ/USP, 1999. 95 p.

CARNEIRO, R. M. D. G.; NEVES, D. I.; FALCÃO, R.; PAES, N.S.; CIA, E.; GROSSI DE SÁ, M. F. Resistência de genótipos de algodoeiro a *Meloidogyne incognita* raça 3: reprodução e histopatologia. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 1-10, 2005.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. N. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management**. Brill, 2007. 555 p.

CHARCHAR, J. M.; ARAGÃO, F. A. Variação anual da população mista de *Meloidogyne incognita* raça 1 e *M. javanica* em cultivos de Batata 'Bintje' no campo. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 225-231, 2005.

COELHO, C. N. O princípio do desenvolvimento sustentado na agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 7, n. 2, p. 7-16, 1998.

- COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Nematology and Entomology Research Station, 1972. 77 p.
- COMSTOCK, R. E.; ROBINSON, H. F. The components of genetic variance in populations. **Biometrics**, Raleigh, v. 4, n. 4, p. 254-266, 1948.
- COMSTOCK, R. E.; ROBINSON, H. F. Estimation of average dominance of genes. In: GOWEN, J. W. (Ed.). **Heterosis**. Iowa State College Press: Ames, Iowa, p. 494-516, 1952.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Sétimo Levantamento Safra 2013/14**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2014. 45 p.
- COSTA, D. C.; FERRAZ, S. Avaliação da resistência de cultivares de linhagens de soja a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.13, p. 4-5, 1998.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. 480 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514 p.
- CRUZ, M. F. A. da; SOUZA, G. A. de; RODRIGUES, F. A.; SEDIYAMA, C. S.; BARROS, E. G. de. Reação de genótipos de soja à infecção natural por ferrugem asiática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 215-218, 2011.
- DALL'AGNOL, A.; LAZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Desenvolvimento, mercado e rentabilidade da soja brasileira**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20 p. (Circular Técnica 74). Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/CT74_eletronica.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2013.
- DEBIASI, H. ; MORAES, M. T. ; FRANCHINI, J. C. ; DIAS, W. P. ; SILVA, J. F. V. ; RIBAS, L. N. Manejo do solo para controle cultural do nematoide das lesões radiculares na entressafra da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2011. Uberlândia. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2011. 1 CD-ROM.
- DE LUCA, F.; FANELLI, E.; DI VITO, M.; REYES, A.; DE GIORGI, C. Comparison of the sequences of the D3 expansion of the 26S ribosomal genes reveals different degrees of heterogeneity in different populations and species of *Pratylenchus* from the Mediterranean region. **European Journal of Plant Pathology**, Wageningen, v. 110, n. 9, p. 949-957, 2004.
- DIAS, W. P.; RIBEIRO, N. R.; PIVATO, A.; MOLINA, D. Avaliação da reação de genótipos de soja ao nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*). In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 29., 2007, Campo Grande. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja/Uniderp, 2007. p. 62-63.

DIAS, W. P.; RIBEIRO, N. R.; PIVATO, A.; MOLINA, D. Avaliação da reação de genótipos de soja ao nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*). In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30., 2008, Rio Verde. **Resumos...** Londrina: Embrapa, 2008, p. 137-139.

DIAS, W. P.; GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. E. de S. **Nematoides em soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8 p. (Circular Técnica 76).

DINARDO-MIRANDA, L. L. Hospedabilidade de oito variedades de cana-de-açúcar a *Pratylenchus brachyurus* e *P. zaeae*. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 18, p. 67-72, 1994.

DROPKIN, V. H.; NELSON, P. E. The histopathology of root-knot nematodes infections in soybeans. **Phytopathology**, Lancaster, v. 50, n. 6, p. 442 - 447, 1960.

ELLIOT, A. P.; BIRD, G. W.; SAFIR, G. R. Joint influence of *Pratylenchus penetrans* (Nematoda) and *Glomus fasciculatum* (Phycomyceta) on the ontogeny of *Phaseolus vulgaris*. **Nematopica**, Flórida, v.14, n. 12, p. 111-119, 1984.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261 p.

FERRAZ, L. C. C. B. Patogenicidade de *Pratylenchus brachyurus* a três cultivares de soja. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 01-08, 1995.

FERRAZ, L. C. C. B. Reações de genótipos de soja a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 22-31, 1996.

FERRAZ, L. C. C. B. O nematoide *Pratylenchus brachyurus* e a soja sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 96, p. 23-27, 2006.

FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematoides. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, cap. 8, p. 168-201.

FERREIRA, A. D. **Reação de genótipos de soja e milho ao nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus***. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

FERREIRA, L. P.; LEHMAN, P. S.; ALMEIDA, A. M. R. Moléstias e seu controle. In: MIYASAKA, S.; MEDINA (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: IAC, 1981. p. 603-627.

FRECKMAN, D. W.; E. P. CASWELL. The ecology of nematodes in agroecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 23, p. 275-296, 1985.

FREIRE, E. C.; MORELLO, C. L.; FARIAS, F. J. C. Melhoramento do algodoeiro no cerrado. In: FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**, Brasília: ABRAPA, 2007, cap. 8, p. 267-318.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, Tucson, v. 22, n. 3, p. 439-452, 1966.

GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B. de. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 419-430, 1988.

GIELFI, F. S.; SANTOS, J. M.; ATHAYDE, M. L. F. Reconhecimento das espécies de fitonematoides associados ao algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) no Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Fialgo e Embrapa Algodão, 2003. 1 CD-ROM.

GODFREY, G. H. A destructive root disease of pineapples and other plants due to *Tylenchus brachyurus* n.sp. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 19, n. 6, p. 611-629, 1929.

GONZAGA, V. **Caracterização morfológica, morfométrica e multiplicação in vitro das seis espécies mais comuns de *Pratylenchus* Filipjev, 1936 que ocorrem no Brasil**. 2006. 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

GONZAGA, V.; SANTOS, J. M.; SOARES, P. L. M. **Chave ilustrada para a identificação das seis espécies de *Pratylenchus* mais comuns no Brasil**. Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://nematologia.com.br/wp-content/uploads/2012/08/chavigo.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2014.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematoides das lesões radiculares (Gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 30 p. (Documentos 219).

GOULART, M. M. P.; CARMO, E. L. do.; SANTOS, C. B.; SILVA, V. R. da.; CAMPOS, H. D. Avaliação do efeito de diferentes populações de *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja. **Global Science Technology**, Rio Verde, v. 6, n. 2, p. 8-14, 2013.

GRAVINA, G. de A.; SEDIYAMA, C. S.; FILHO, S. M.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. de. Diallel analysis for frog-eye leaf spot resistance in soybean. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 673-680, 2003.

GRIFFIN, G. D.; RUMBAUGH, M. D.; CREBS, D. L. Northern Root-Knot Nematode Populations and Soil Temperature Effect on Alfalfa. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 3, p. 541-544, 1990.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, n. 4, p. 463-493, 1956.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v. 39, n. 6, p. 789-809, 1954.

HOISINGTON, D.; KHAIRALLAH, M.; REEVES, T.; RIBAUT, J. M.; SKOVMAND,

- B.; TABA, S.; WARBURTON, M. Plant genetic resources: What can they contribute toward increased crop productivity? **Proceedings of the National Academy of Sciences of de USA**, Washington, v. 96, n. 11, p. 5937-5943, 1999.
- HOOPER, D. J. Handling, fixing, staining, and mounting nematodes. In: SOUTHEY, J. F. (Ed.). **Laboratory Methods with Nematodes**. London: Commonwealth Agricultura, 1970. p. 5-30.
- INOMOTO, M. M. **Principais nematoides na cultura da soja e seu manejo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. Disponível em: <http://www.monsanto.com.br/monsanto/brasil/newsletter/agricultores/07_2006janeiro/02artigo.asp>. Acesso em: 21 nov. 2013.
- INOMOTO, M. M.; GOULART, A. M. C.; MACHADO, A. C. Z.; MONTEIRO, A. R. Effect of population densities of *Pratylenchus brachyurus* on the growth of cotton plants. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 192-196, 2001.
- INOMOTO, M. M.; MOTTA, L. C. C.; MACHADO, A. C. Z.; SAZAKI, C. S. S. Reação de dez coberturas vegetais a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p.151-157, 2006.
- INOMOTO, M. M.; MACHADO, A. C. Z.; ANTEDOMENCIO, S. R. Reação de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* a *Pratylenchus brachyurus*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p. 341-344, 2007.
- INOMOTO, M. M.; SILVA, R. A. **Importância dos nematoides da soja e influência da sucessão de cultura**. Boletim de Pesquisa de Soja, Rondonópolis, n. 15, p. 392-399, 2011.
- JAIZME-VEGA, M. C.; PINOCHET, J. Growth response of banana to three mycorrhizal fungi in *Pratylenchus goodeyi* infested soil. **Nematopica**, Flórida, v. 27, n. 1, p. 264-266, 1997.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, Saint Paul, v. 48, n. 4, p. 692, 1964.
- JOTHI, G.; SUNDARABABU, R. Studies on the management of root lesion nematode, *Pratylenchus zae* with the endomycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum* on corn. **Indian Journal of Nematology**, New Delhi, v. 27, n. 1, p. 264-266, 1997.
- KANDJI, S.; CALLISTUS, K.; OGOL, P.; ALBRECHT, A. Diversity of plant parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in western Kenya. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 143-157, 2001.
- KEMPTHORNE, O; CURNOW, R. N. The partial diallel cross. **Biometrics**, Raleigh, v. 17, n. 2, p. 229-250, 1961.
- KOEN, H. Notes of the host range, ecology and population dynamics of *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologica**, Leiden, v. 13, n. 1, p. 118-124, 1967.

KOSTETZER, V.; MOREIRA, R. M. P.; FERREIRA, J. M. Cruzamento dialélico parcial entre variedades locais do Paraná e variedades sintéticas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1152-1159, 2009.

LANGE, C. E. Soja. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. (Ed.). **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília: Embrapa Clima Temperado, 2008. p. 779-802.

LAUGHLIN, C. W.; LORDELLO, L. G. E. Sistemas de manejo de nematoides: relações entre a densidade de população e os danos à planta. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 2, p.15-24, 1977.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 58p. (Documentos, 319).

MACHADO, A. C. Z.; BELUTI, D. B.; INOMOTO, M. M. Efeito de densidades populacionais iniciais de *Pratylenchus brachyurus* no crescimento do algodoeiro cv. Delta Opal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4., 2003, Goiânia. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 1 CD-ROM

MACHADO, A. C. Z.; BELUTI, D. B.; SILVA, R. A.; SERRANO, M. A. S.; INOMOTO, M. M. Avaliação de danos causados por *Pratylenchus brachyurus* em algodoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 31, n. 1, p. 11-16, 2006.

MACHADO, A. C. Z.; OLIVEIRA, C. M. G. **Diagnóstico molecular do nematoide das lesões *Pratylenchus brachyurus***. 2007. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=51>. Acesso em: 04/11/2013.

MACHADO, A. C. Z. Host status of some selected brazilian soybean cultivars to *Pratylenchus brachyurus*. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF TROPICAL NEMATOLOGY, 2.; CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 28., 2009, Maceió. **Resumos...** Piracicaba: ONTA/Sociedade Brasileira de Nematologia, 2009. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/sbn/nbonline/ol%20334/286-436%20co.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

MARANHA, F. G. C. B.; RAMALHO, M. A. P.; FARIAS, F. J. C. Estratégias de análise da reação de cultivares de algodoeiro a patógenos. **Revista Brasileira Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 565-575, 2002.

MATHER, K.; JINKS, J. L. **Biometrical Genetics**. 3. ed. London: Chapman e Hall, 1982, 430 p.

MAURO, A. O.; OLIVEIRA, A. L DE.; MAURO, S. M. Z. Genetics of Resistance to Soybean Cyst Nematode, *Heterodera glycines* Ichinohe (RACE 3), in a Brazilian Soybean Population. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 22, n. 2, São Paulo, 1999.

MELO, W. M. C.; PINHO, R. G. V.; FERREIRA, D. F. Capacidade combinatória e divergência genética em híbridos comerciais de milho. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.25, n.4, p.821-830, 2001.

MENDES, M. L. O nematoide do cisto da soja. In: ARANTES, N. E.; MELO DE SOUZA, P. I. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafós, 1993. p. 399-416.

MIRANDA FILHO, J. B.; GERALDI, I. O. An adapted model for the analysis of partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 677-688, 1984.

MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R.; MARANHÃO, S. R. V. L.; MOURA, A. M.; MACEDO, M. E. A.; SILVA, E. G. Nematoides associados à cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 23, n. 2, p. 92-99, 1999.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.

NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARIS-INGLIS, M. C. **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. 1183 p.

O'BANNON, J. H.; RADEWALD, J. D.; TOMERLIN, A. T. Population fluctuation of three parasitic nematodes in Florida citrus. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 4, n. 3, p. 194-199, 1972.

OMER, A. M. Constructions, applications and the environment of greenhouses. **African Journal of Biotechnology**. v. 8, n. 25, p. 7205-7227, 2009.

OOSTENBRINK, M. **Major characteristics of the relation between nematodes and plants**. Mendelingen Landbouwhogeschool, Wageningen, v. 66, n. 4, p. 1- 46, 1966.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro: mecanismos de resistência. In.: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1995. v. 1, cap. 22, p. 417-452.

PIMENTEL, A. J. B.; RIBEIRO, G.; SOUZA, M. A.; MOURA, L. M.; ASSIS, J. C.; MACHADO, J. C. Comparação de métodos de seleção de genitores e populações segregantes aplicados ao melhoramento de trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 2, p. 113-121, 2013.

PINHEIRO, J. B.; VELLO, N. A.; ROSSETTO, C. J.; ZUCCHI, M. I. Potential of soybean genotypes as insect resistance sources. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, n. 3, p. 293-300, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RIBEIRO, N. R.; DIAS, W. P.; HOMECHIN, M.; SILVA, J. F. V.; FRANCISCO, A. Avaliação da reação de genótipos de soja ao nematoide das lesões radiculares. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 29., 2007, Campo Grande. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja/Uniderp, 2007. p. 62-63. Embrapa Soja. Documentos, 287.

RIBEIRO, N. R.; BEZERRA, F. F.; SILVEIRA, T. F.; LIMA, C. P.; SILVA, C. S.; SILVA, A. P. L. Avaliação da resistência de genótipos de soja (*Glycine max*) ao nematoide *Pratylenchus brachyurus*. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF TROPICAL NEMATOLOGY, 2.; CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 28., 2009, Maceió. **Resumos...** Piracicaba: ONTA/Sociedade Brasileira de Nematologia, 2009. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/sbn/nbonline/ol%20334/286-436%20co.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2014.

RIBEIRO, R. C. F.; XAVIER, F. R. P.; XAVIER, A. A.; ALMEIDA, V. F.; MIZOBUTSI, E. H.; CAMPOS, V. P.; FERRAZ, S.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Flutuação populacional e efeito da distância e profundidade sobre nematoides em bananeira no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, 2009.

RIBEIRO, N. R.; DIAS, W. P.; SANTOS, J. M. Distribuição de fitonematoides em regiões produtora de soja do Estado de Mato Grosso. In: HINOMOTO, D. M.; CAJU, J.; CAMACHO, S.A. (Ed.). **Boletim de Pesquisa de Soja 2010**. Rondonópolis: Fundação MT, 2010, p. 289-296.

RITZINGER, C. H. S. P., COSTA, D. C. Nematoide das lesões (*Pratylenchus* spp.) em abacaxizeiro. **Abacaxi em foco**, Cruz das Almas, v. 31, dez. 2004. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/produto_em_foco/abacaxi_31.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2014.

ROSA, J. M. O.; OLIVEIRA, S. A. de; JORDÃO, A. L.; SIVIERO, A.; OLIVEIRA, C. M. G. de. Nematoides fitoparasitas associados à mandioca na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 44, n. 2, p. 271-275, 2014.

RUSSELL, W. A.; EBERHART, S. A. Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent selection and testcross selection programs. **Crop Science**, Madison, v. 15, n.1, p. 1-4, 1975.

SAWAZAKI, E. ; LORDELLO, A. I. L.; LORDELLO, R. R. A. Herança da resistência de milho a *Pratylenchus* spp. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 1, p. 27-33, 1987.

SHANER, G.; STROMBERG, E. L.; LACY, G. H.; BARKER, K. R.; PIRONE, T. P. Nomenclature and concepts of pathogenicity and virulence. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, n.1, v. 30, p. 47-66, 1992.

SIQUEIRA, K. M. S.; INOMOTO, M. M. Reação de genótipos de feijão corda (*Vigna unguiculata*) a isolados de *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

NEMATOLOGIA, 26., 2006, Campos dos Goyacatazes. **Resumos...** Campos dos Goyacatazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006, Resumo 92.

SILVA, J. F. V. Um histórico. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA (Ed.). **O nematoide de cisto da soja: a experiência brasileira**. Jaboticabal: Artsinger Editores, 1999. p. 15-23.

SILVA, R. A.; SERRANO, M. A. S.; GOMES, A. C.; BORGES, D.C.; SOUZA, A. A.; ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M. Ocorrência de *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne incognita* na cultura do algodoeiro no Estado do Mato Grosso. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 29, n. 3, p. 337-337, 2004.

SINGH, R. K.; CHAUDHARY, B. D. **Biometrical methods in quantitative genetic analysis**. New Delhi: Kalyani Publishers, 1977. 304 p.

SONI, P.; SALOKHE, V. M.; TANTAU, H. J. Effect of Screen Mesh Size on Vertical Temperature Distribution in Naturally Ventilated Tropical Greenhouses. **Biosystems Engineering**, v. 92, n. 4, p. 469-482. 2005

SOUZA, A. P. Biologia Molecular Aplicada ao Melhoramento. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, v. 1, cap. 29, p. 939-966.

SOUZA, J. T.; CAMPOS, V. P. Flutuação populacional de fitonematoides associados a *Pasteuria* spp. em duas áreas naturalmente infestadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, p. 339-344, 1999.

SOUZA, R. A. de. **Quantificação de *Pratylenchus brachyurus* em genótipos de soja (*Glycine max* L.) Merrill, em Tupirama-To**. 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitopatologia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General versus specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.

TALAVERA, M.; ITOU, K.; MIZUKUNO, T. Reduction of nematode damage by root colonization with arbuscular mycorrhiza (*Glomus* spp.) in tomato-*Meloidogyne incognita* and carrot-*Pratylenchus penetrans* pathosystems. **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 36, n. 3, p. 387-392, 2001.

TERUEL, B. J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 237-245, 2010.

THIES, J. A.; BASIGALUP, D.; BARNES, D. K. Inheritance of Resistance to *Pratylenchus penetrans* in Alfalfa. **Journal of Nematology**, Saint Paul, v. 26, n. 4, p. 452-459, 1994.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 372 p.

TIHOHOD, D. **Guia prático de identificação de fitonematóides**. Jaboticabal: FCAV: FAPESP, 1997. 246 p.

VAAST, P.; CASWELL-CHEN, E. P.; ZASOSKI, R. J. Influences of a root-lesion nematode, *Pratylenchus coffeae*, and two arbuscular mycorrhizal fungi, *Acaulospora mellea* and *Glomus clarum* on coffee (*Coffea Arabica* L.). **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v. 26, n. 2, p.130-135, 1998.

VALE, F. X. R.; PARLEVLIT, J. E.; ZAMBOLIM, L. Concepts in plant disease resistance. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p.577-589, 2001.

VEIGA, R. D.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência dos dialelos circulantes na escolha de genitores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.7, p. 1395-1406, 2000.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, p. 137-214.

VERNETTI, F. J.; VERNETTI JÚNIOR, F. J. **Genética da soja: caracteres qualitativos e diversidade genética**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 221 p.

ZHANG, J. F.; WADDELL, C.; SENGUPTA-GOPALAN, C.; POTENZA, C.; CANTRELL, R. G. Diallel analysis of root-knot nematode resistance based on galling index in upland cotton. **Plant Breeding**, Malden, v. 126, n. 2, p. 164-168, 2007.

YORINORI, J. T. Situação atual das doenças potenciais no cone sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 171-187.

YORINORI, J. T.; KIIHL, R. A. de S. Melhoramento de plantas visando resistência a doenças. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento**: plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, cap. 23, p. 715-736.