

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FAULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ EM VARIEDADES DE SOJA
ASSOCIADA A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E DE COMPACTAÇÃO
DO SOLO**

**Helena Baroni Junqueira Franco De Luca
MSc. Engenheira Agrônoma**

**JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Janeiro de 2012**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FAULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ EM VARIEDADES DE SOJA
ASSOCIADA A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E DE COMPACTAÇÃO
DO SOLO**

Helena Baroni Junqueira Franco De Luca

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion

Co-Orientador: Prof. Dr. José Frederico Centurion

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Janeiro de 2012

F825p De Luca, Helena Baroni Junqueira Franco
Podridão vermelha da raiz em variedades de soja associada a níveis de irrigação e de compactação do solo. / Helena Baroni Junqueira Franco De Luca. -- Jaboticabal, 2012
xii, 87 f.: il. ; 28 cm

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientadora: Maria Aparecida Pessoa da Cruz Centurion
Banca examinadora: Maria Aparecida Pessoa da Cruz Centurion, Itamar Andrioli, Ivana Marino Bárbaro, Cláudia Fabrino Machado Mattiuz, Rita de Cássia Panizzi.

Bibliografia

1. Síndrome da morte súbita 2. *Glycine max* (L.) Merrill. 3. Manejo do solo e da água. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.34:632.25

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

HELENA BARONI JUNQUEIRA FRANCO – nascida em 20 de maio de 1982, em Monte Azul Paulista – SP. Em 2000 ingressou no curso de Agronomia, na Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Jaboticabal – SP, obtendo o título de Engenheira Agrônoma em 4 de março de 2005. Durante a graduação estagiou no Departamento de Produção Vegetal, sob orientação da professora Dra. Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion, e foi bolsista da FAPESP (Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo). Desenvolveu trabalhos científicos envolvendo o manejo da cultura da soja. Em 7 de março de 2005 ingressou no mestrado, no curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Jaboticabal – SP, mantendo a mesma linha de pesquisa iniciada durante a graduação, com auxílio financeiro da FAPESP. Obteve título de mestre em 18 de maio de 2007. Iniciou o doutorado em março de 2008 na FCAV/UNESP/Jaboticabal.

"Nos campos da observação, o
acaso favorece apenas as
mentes preparadas."
(Louis Pasteur)

"Se eu soubesse o que eu
estava fazendo, não seria
chamada pesquisa."
(Albert Einstein)

A minha filha, Helena, que é a razão da minha vida, a minha luz e o meu incentivo para que eu conseguisse cumprir mais esta etapa,
DEDICO.

Ao Miguel, pelo grande companheirismo e aos meus pais, irmãos e minha querida avó, pelo carinho e apoio, como prova de meu amor,

OFEREÇO.

À Professora, Maria Aparecida, pela orientação, confiança e pelo constante apoio e amizade,
HOMENAGEIO.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Jaboticabal – SP e ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

À FAPESP, pela concessão da bolsa para realização deste trabalho.

A Profa. Dra. Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion, pela competência com que orientou esta tese, pela confiança, conhecimentos compartilhados, e pela amizade.

Ao Prof. Dr. José Frederico Centurion, pela co-orientação, auxílio, uso do laboratório do Departamento de Ciências do Solo, ensinamentos principalmente na área de manejo de solos.

Ao Prof. Barbosa, pela ajuda com as análises estatísticas.

A todos professores e funcionários do Departamento de Produção Vegetal e Ciência do Solo que ajudaram na realização deste trabalho (Sr. Sebastião, Osmar, Gomes).

À secretária Mônica, por sempre tornar as coisas menos difíceis.

Aos amigos dos Departamentos de Produção Vegetal e Ciência do Solo Lucas, Laerte, Gisele, Beatriz e Paula, sem eles este trabalho não seria concluído....

Aos meus pais e irmãos, pela luta, apoio e incentivo.

Ao Miguel pelo amor, carinho, paciência, incentivo e compreensão nestes anos.

A banca examinadora, pelas sugestões e correções para a melhoria da tese.

À Deus, que pela fé e crença que temos, permite que as dificuldades e obstáculos da vida sejam enfrentados de maneira mais serena.

À todos aqueles que de alguma forma contribuíram e consideram-se responsáveis pela realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADA.....

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO.....	vii
SUMMARY	viii
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	01
1.1. Introdução	01
1.2. Distribuição geográfica e importância econômica da podridão vermelha da raiz da soja (PVR).....	02
1.3. Etiologia, epidemiologia e sintomatologia.....	05
1.4. Identificação da reação de cultivares de soja a PVR	10
1.5. Controle.....	14
1.6. Influência de manejo do solo na incidência da PVR.....	16
CAPÍTULO 2. Severidade da podridão vermelha da raiz da soja sob efeito da época de semeadura, da compactação e do conteúdo de água no solo	18
Resumo	18
Introdução	19
Material e métodos.....	20
Resultados e discussão.....	23
Conclusões.....	31
CAPÍTULO 3. Severidade da podridão vermelha da raiz da soja, e o desenvolvimento radicular	32
Resumo	32
Introdução	33
Material e métodos.....	34
Resultados e discussão.....	38
Conclusões.....	47

CAPÍTULO 4. Severidade da podridão vermelha da raiz da soja cultivada em casa de vegetação sob diferentes manejos.....	48
Resumo.....	48
Introdução.....	49
Material e métodos.....	50
Resultados e discussão.....	57
Conclusões.....	68
REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE.....	84
Apêndice 1. Resultados das análises química e física da amostra de terra representativa da área experimental destinada ao ensaio de campo (época outono/inverno 2009).....	85
Apêndice 2. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao período em que o experimento outono/inverno 2009 foi conduzido.....	85
Apêndice 2A. Precipitação e temperatura média diárias, no período de maio de 2009 a outubro de 2009.....	86
Apêndice 3. Resultados das análises química e física da amostra de terra representativa da área experimental destinada ao ensaio de campo (época primavera/verão 2009/10).....	86
Apêndice 4. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao período em que o experimento de primavera/verão 2009/2010 foi conduzido.....	87
Apêndice 4A. Precipitação e temperatura média diárias, no período de dezembro de 2009 a abril de 2010.....	87

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO 2.

- Tabela 1.** Número de plantas mortas e severidade de sintomas de podridão radicular das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos no outono/inverno 200924
- Tabela 2.** Porcentagem de plantas mortas, número de plantas com folha carijó e severidade de sintomas de podridão radicular das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos na primavera/verão 2009/201025
- Tabela 3.** Altura de plantas, altura de inserção da 1ª vagem, número de vagens/plantas, massa de 100 grãos e produtividade, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos no outono/inverno 200927
- Tabela 4.** Altura de plantas, altura de inserção da 1ª vagem, massa de 100 grãos, número de vagens/planta e produtividade, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1, cultivadas sob diferentes manejos na primavera/verão 2009/201028

CAPÍTULO 3.

- Tabela 1.** Média de resistência a penetração (MPa), densidade (g cm^{-3}), macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e porosidade total do solo nas três compactações em que foi instalado o experimento de campo (outono/inverno 2009)36
- Tabela 2.** Média de resistência a penetração (MPa), densidade (g cm^{-3}), macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e porosidade total do solo nas quatro compactações em que foi instalado o experimento de campo (primavera/verão 2009/2010).....37
- Tabela 3.** Área (mm^2), diâmetro (mm), comprimento (cm), densidade de comprimento (cm/cm^3) e massa seca (mg) de raízes coletadas na profundidade de 0-10

	cm, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas no campo sob diferentes manejos no outono/inverno 2009	43
Tabela 4.	Área (mm^2), diâmetro (mm), comprimento (m), densidade de comprimento (cm/cm^3) e massa seca (mg) de raízes coletadas na profundidade de 10-20 cm, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas no campo sob diferentes manejos no outono/inverno 2009.....	44
Tabela 5.	Área (mm^2), diâmetro (mm), comprimento (cm), densidade de comprimento (cm/cm^3), massa seca (mg) e densidade de massa seca (mg/cm^3) de raízes coletadas na profundidade de 0-10 cm, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas no campo sob diferentes manejos na primavera/verão 2009/10	45
Tabela 6.	Área (mm^2), diâmetro (mm), comprimento (cm), densidade de comprimento (cm/cm^3), massa seca (mg) e densidade de massa seca (mg/cm^3) de raízes coletadas na profundidade de 10-20 cm, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas no campo sob diferentes manejos na primavera/verão 2009/10	46

CAPÍTULO 4.

Tabela 1.	Valores de resistência a penetração (MPa), densidade (g cm^{-3}), macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e microporosidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) do solo nos diferentes graus de compactação obtidos nos vasos do experimento de primavera/verão 2009/2010.....	53
Tabela 2.	Valores de resistência a penetração (MPa), densidade (g cm^{-3}), macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e microporosidade ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) do solo nos diferentes graus de compactação obtidos nos vasos do experimento de outono/inverno 2010	53
Tabela 3.	Severidade da podridão vermelha da raiz (<i>Fusarium tucumaniae</i>), nas raízes e parte aérea, das variedades FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos, em casa de vegetação, na primavera/verão 2009/2010	58

- Tabela 4.** Severidade da podridão vermelha da raiz (*Fusarium tucumaniae*), nas raízes e parte aérea, das variedades FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos, em casa de vegetação, no outono/inverno 201059
- Tabela 5.** Altura de plantas (cm), altura de inserção da 1ª vagem (cm), número de vagens/planta, número de vagens chochas/planta e massa de 100 grãos (g), nas variedades FT-Cristalina e CAC-1, cultivadas sob diferentes manejos em casa de vegetação, na primavera/verão 2009/2010.....61
- Tabela 6.** Altura de plantas (cm), altura de inserção da 1ª vagem (cm), número de vagens/planta, número de vagens chochas/planta e massa de 100 grãos (g), nas variedades FT-Cristalina e CAC-1, cultivadas sob diferentes manejos, em casa de vegetação, no outono/inverno 2010.....63
- Tabela 7.** Área (mm²), diâmetro (mm), comprimento (mm) e densidade (cm/cm³) de comprimento de raízes, massa seca de raízes (mg) e densidade de raiz (mg/cm³) das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas em casa de vegetação na primavera/verão 2009/201065
- Tabela 8.** Área (mm²), diâmetro (mm), comprimento (mm) e densidade (cm/cm³) de comprimento de raízes, massa seca de raízes (mg) e densidade de raiz (mg/cm³) das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas em casa de vegetação no outono/inverno 201066

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 4.

Figura 1. Esquema da compactação do solo no vaso (a) e vaso utilizado para o cultivo da soja (b)	51
Figura 2. Compactação dos vasos do experimento de casa de vegetação.....	54
Figura 3. Infestação do solo, nas covas de semeadura, com grãos de sorgo colonizados com <i>Fusarium tucumaniae</i>	55
Figura 4. Visão geral do experimento no dia da semeadura (primavera/verão)	55
Figura 5. Visão geral do experimento 15 dias após a semeadura, época da 2ª infestação do solo com grãos de sorgo colonizados com <i>Fusarium tucumaniae</i>	55
Figura 6. Escala de notas utilizada (FRONZA, 2003).....	56
Figura 7. Visão geral do experimento dois meses após a semeadura, primavera/verão – a e outono/inverno – b.....	56
Figura 8. Pré-lavagem de raízes	57

PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ EM VARIEDADES DE SOJA ASSOCIADA A NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

RESUMO – Objetivou-se verificar se a época de semeadura, o grau de compactação do solo e o conteúdo de água no solo influenciam o comportamento de duas cultivares de soja (CAC-1, classificada como resistente e FT-Cristalina, como suscetível), em relação a severidade da podridão vermelha da raiz (PVR). Os experimentos foram desenvolvidos na FCAV/UNESP/Jaboticabal, envolvendo etapas de casa de vegetação e de campo. No campo, as cultivares FT-Cristalina e CAC-1 apresentaram níveis de doença variáveis conforme a época de semeadura, sendo que no outono/inverno 2009, na cultivar CAC-1 foi observado maior número de plantas com sintomas da PVR na parte aérea. Na primavera/verão 2009/10, a cultivar FT-Cristalina apresentou maior número de plantas com sintomas. Graus mais elevados de compactação e de umidade do solo (-0,001 MPa) favoreceram a ocorrência da PVR, e reduziram o desenvolvimento e produtividade da soja. Houve maior desenvolvimento radicular na camada superficial (0,0-0,10 m) onde a compactação foi menor comparada a camada de 0,10-0,20 m. Tanto na cultivar resistente quanto na suscetível à PVR, observaram-se maiores áreas, comprimentos, densidades e massas seca de raízes nas plantas inoculadas. Em casa de vegetação, na primavera/verão de 2009/10, o maior grau de compactação (resistência a penetração = 0,602 MPa) foi o qual proporcionou menor desenvolvimento radicular. No outono/inverno de 2010, a PVR foi influenciada pela irrigação, sendo que nas menores tensões de água observaram-se maiores severidades dos sintomas na parte aérea em ambas cultivares. Os tratamentos infestados, nesta época, tiveram a altura de plantas reduzida em relação aos não infestados. A infestação do solo com *F. tucumaniae* promoveu redução significativa do desenvolvimento do sistema radicular.

Palavras-Chave: síndrome da morte súbita (SMS), *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, *Fusarium tucumaniae*, *Glycine max* (L.) Merrill, manejo do solo e da água.

SUDDEN DEATH SYNDROME IN SOYBEAN CULTIVARS AS INFLUENCED BY IRRIGATION AND SOIL COMPACTION

SUMMARY - The objective of this experiment was to assess the influence of sowing time, soil compaction level, and soil water content on the severity level of sudden death syndrome (SDS) in two soybean cultivars – one (CAC-1), classified as resistant and another (FT-Cristalina) as susceptible. Experiments were carried out in Jaboticabal, a campus of the Paulista State University, in Jaboticabal, state of São Paulo, Brazil. The experiments were conducted both in the field and under green house conditions. In the field both cultivars showed variable levels of SDS, depending on sowing time. When sowing was made during the 2009 Fall/Winter period, CAC-1 cultivar showed the highest number of plants with the sudden death syndrome. When sowing took place during the 2009/10 Spring/Summer period, FT-Cristalina was the cultivar with the highest number of plants exhibiting the symptoms. High soil compaction and moisture (-0.001 MPa) degrees favored the occurrence of SDS and this resulted in plant growth and yield reductions. Plant root system, due to soil compaction, was more developed at the depth of 0.0 – 0.10 m than at 0.10 – 0.20. Plants of both cultivars showed root larger areas, lengths, densities, and dry matter when they had been previously inoculated. Under green house conditions, during the 2009/10 Spring/Summer period, the highest degree of soil compaction (penetration resistance of 0.602 MPa) was the factor causing the lowest root development. During the 2010 Fall/Winter period, SDS was influenced by irrigation – the lower soil water's tensions (high irrigation level), the more severe the symptoms in both cultivars. Infected plants were shorter than the non infected ones. Soil infection with *F. tucumaniae* caused significant reductions in root system development.

Keywords: sudden death syndrome (SDS), *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, *Fusarium tucumaniae*, *Glycine max* (L.) Merrill, soil and water management

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. Introdução

O volume de produção mundial da soja reflete a importância que esse grão representa. Em 2010, 258,4 milhões de toneladas de soja foram produzidas no mundo, contabilizando 58% da produção mundial de oleaginosas (AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION, 2011). Os três maiores produtores de soja são Estados Unidos, Brasil e Argentina, sendo que o Brasil tem ocupado a posição de segundo maior produtor, com produção de 75 milhões de toneladas, numa área de 24,2 milhões de hectares e produtividade de 3.106 kg/ha, em 2011 (PORTO et al., 2011).

Apesar de cultivares de soja terem sido desenvolvidas para diferentes latitudes e os mais variados tipos de solo e condições climáticas, a exploração econômica do seu potencial produtivo, que permite rendimentos superiores a 4.000 kg/ha, dificilmente tem sido alcançada pelos agricultores.

Entre os principais fatores limitantes à obtenção de elevados rendimentos, está a ocorrência de doenças. Cerca de 40 doenças da soja já foram identificadas no Brasil, abrangendo aquelas provocadas por fungos, bactérias, vírus e nematóides. A expansão de áreas irrigadas no cerrado tem possibilitado o cultivo da soja no outono/inverno para a produção de sementes, favorecendo a sobrevivência de fitopatógenos, como os nematóides de galhas (*Meloidogyne* sp.), o nematóide de cisto (*Heterodera glycines*) e os fungos causadores da antracnose (*Colletotrichum truncatum*), do cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f.sp. *meridionalis*), da podridão de Sclerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*) e da podridão vermelha da raiz (PVR), causada por *Fusarium solani* f.sp. *glycines* (EMBRAPA, 2011).

Uma doença que atualmente tem merecido atenção dos fitopatologistas e melhoristas é a podridão vermelha da raiz (PVR), também conhecida por síndrome da morte súbita (SMS), por causar severas perdas na produção de soja nas Américas do Norte e do Sul. Observada pela primeira vez no Brasil na safra 1981/82 em São

Gotardo - MG (YORINORI et al., 1993), tem apresentado crescente aumento em área e severidade desde sua constatação. Segundo estimativa de YORINORI (2000a) mais de 2 milhões de hectares foram infectados na safra 1999/2000. A exemplo de outras doenças do sistema radicular, ainda não estão disponíveis formas eficientes de controle da PVR, sendo o uso de cultivares resistentes a melhor expectativa de controle da PVR e de convivência com o patógeno causador da doença (FARIAS NETO et al., 2006). Porém tem sido reportada a dificuldade de detecção dessa resistência, em função da influência exercida pelo ambiente.

Segunda YORINORI (2000a) é importante salientar que ainda não foi encontrado genótipo imune ao ataque do patógeno causador da PVR, então, mesmo cultivares consideradas resistentes irão apresentar algum sintoma da doença, pelo menos nas raízes. Pela provável natureza poligênica do controle da resistência e pela grande influência do ambiente na intensidade de manifestação dos sintomas, aliados ao fato da inexistência de um método de controle químico ou cultural eficiente, a PVR tornou-se, sem dúvida, uma grande preocupação para os sojicultores, técnicos e pesquisadores nas regiões onde sua ocorrência foi constatada (FRONZA, 2003).

1.2. Distribuição geográfica e importância econômica da podridão vermelha da raiz da soja (PVR)

A podridão vermelha da raiz (PVR), é uma doença relativamente nova, tendo sido observada pela primeira vez em Arkansas em 1971, por H. J. Walters. Parecia estar limitada ao Arkansas, até que foi constatada em várias províncias do Mississipi, Missouri, Kentucky e Tennessee em 1984 (RUPE et al., 1989; YANG & RIZVI, 1994; ROY et al., 1997). Esta doença tem sido relatada nas maiores regiões produtoras de soja desde a América do Norte até a América do Sul (NAKAJIMA et al., 1993; RUPE et al., 2001). Por volta de 1986, a PVR foi encontrada em Illinois (EATHINGTON et al., 1993) e Indiana, e sua distribuição nos E.U.A posteriormente, também inclui Alabama, Georgia, Iowa, Kansas, Ohio e Wisconsin (ROY et al., 1989; ROY et al., 1991; ROY et

al., 1997; RUPE, 1989; RUPE et al.; 1989; JARDINE & RUPE, 1993; YANG & RIZVI, 1994). Em 2003, a PVR foi identificada em Minnesota (KURLE et al., 2003), Wisconsin em 2007 (BERNSTEIN et al., 2007), e Michigan em 2008 (CHILVERS & BROWN-RYTLEWSKI, 2010). No verão de 2011 mais quatro condados foram adicionados a lista de campos com PVR, e são eles Lenawee, Kalamazoo, Clinton e Huron (CHILVERS et al., 2011). SCHERM & YANG (1999) concluíram que as condições do centro norte dos Estados Unidos são favoráveis para desenvolvimento da doença, e que a área principal da doença não será restrita a estados do sul. Perdas devido a PVR são tipicamente mais graves no norte dos Estados Unidos, devido ao clima mais frio, mais úmido e condições do solo (SCHERM & YANG, 1999). De 2003 a 2005, a PVR reduziu a produção em 1.721.000 toneladas nos estados do norte e apenas 173.000 toneladas nos estados do sul (WRATHER & KOENNING, 2006).

Até meados da década de 90, além dos Estados Unidos, a PVR só era encontrada na Argentina (ROY et al., 1997) e no Brasil (NAKAJIMA et al., 1993), causando prejuízos consideráveis aos sojicultores. Posteriormente, foi identificada também no Canadá (ANDERSON et al., 1998) e, na safra de outono/inverno de 2001, foi constatada pela primeira vez na Bolívia (YORINORI, 2002).

As perdas de produção decorrentes da PVR dependem especialmente do estágio de desenvolvimento da planta por ocasião da infecção, da reação da cultivar, e das condições ambientais. Nos E.U.A, perdas de até 80% em campos individuais têm sido atribuídas a esta doença, mas perdas em torno de 5 a 15% são mais comuns (RUPE et al., 1989; HERSHMAN et al., 1990). Em 1994, na Argentina, a PVR causou perdas estimadas em até 90% em campos individuais e uma perda de 134.000 toneladas (WRATHER et al., 1997), equivalendo a, aproximadamente US\$ 30 milhões. Em 1996, plantas com sintomas da PVR, foram observadas em seis campos de municípios do Canadá, e embora as perdas de produção tenham sido difíceis de avaliar devido a distribuição espalhada das plantas doentes, observaram-se poucas vagens mal granadas. Embora as perdas de produção sejam atualmente baixas é evidente que *F. solani* f. sp. *glycines* distribuiu-se amplamente no sudoeste de Ontario/Canadá e a

doença está se disseminando rapidamente, concluíram, ainda na década de 1990, ANDERSON et al. (1998).

No Brasil, durante muitos anos a PVR ficou restrita às lavouras da região de São Gotardo, onde foi inicialmente constatada. A partir de 1990, passou a chamar a atenção em diversas lavouras do Sul do Paraná, Mato Grosso do Sul (Chapadão do Sul) e Goiás (Chapadão do Céu) (YORINORI, 2000a; EMBRAPA, 2001). Perdas decorrentes da PVR aumentaram consideravelmente no Brasil entre 1991 e 1994, chegando a atingir 40%. Na safra 1994/95, as perdas provocadas pela doença no Brasil foram estimadas em 15.000 t, equivalendo a US\$ 3,2 milhões (WRATHER et al., 1997; YORINORI, 1997). Em levantamentos feitos em diversas propriedades e áreas experimentais na safra 1996/97, a incidência da PVR, avaliada pela porcentagem de plantas mortas ou com raízes atacadas, alcançou níveis de 100%, com as perdas variando de insignificantes a mais de 30% (YORINORI & HIROMOTO, 1998).

Segundo GÁSPERI (2000), comparando-se parcelas experimentais de plantas sintomáticas com assintomáticas, em quatro lavouras comerciais, as perdas de rendimentos dos grãos variaram de 29 a 51%, enquanto a massa de mil sementes foi reduzida de 6 a 19%. Em levantamento feito na safra 1999/2000, estimaram-se perdas de US\$ 52,9 milhões em área afetada de mais de dois milhões de hectares localizados em 99 municípios brasileiros (YORINORI, 2000b; YORINORI, 2002). Pela dificuldade de controle, o autor comentou que, a PVR é a doença mais preocupante na cultura da soja no Brasil, colocando-a até mesmo à frente da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), considerada a doença mais temida em termos mundiais e, cuja ocorrência, foi constatada no Brasil na safra 2000/01.

A PVR é encontrada desde o Rio Grande do Sul até o Maranhão, sendo o Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais os estados mais afetados (EMBRAPA, 2001). A doença é mais severa na região sul e no cerrado, acima de 700 m de altitude. Além da soja, lavouras de feijão, irrigadas com pivô central em Patos de Minas e Coromandel (MG) e em Luziânia (GO), já foram seriamente afetadas pela PVR (EMBRAPA, 1996). Em Monte Carmelo (MG),

foram observadas lavouras com até 100% de plantas infectadas, com redução no rendimento da ordem de 64%.

Dependendo da época de disseminação e da severidade, a PVR pode causar perda pequena ou total da produção, resultante da queda prematura de flores e vagens, seca de vagens e redução do tamanho das sementes (RUPE et al., 1989; STEPHENS et al., 1993c).

No futuro, o controle da PVR deverá ser conseguido através do uso de cultivares resistentes em conjunto com práticas de manejo (YORINORI, 1997). Hoje há poucos genótipos de soja adaptados a região do cerrado com resistência à podridão vermelha da raiz. A identificação de outros genótipos tolerantes certamente trará grande contribuição, visto que poderá minimizar os prejuízos causados aos produtores.

1.3. Etiologia, epidemiologia e sintomatologia

O gênero *Fusarium* possui uma taxonomia complexa dividida em seções, *formae specialis* e raças. Dentro de um alto nível de especialização, *formae specialis* é associada a patogenicidade de apenas uma espécie hospedeira (especialização inter-específica) (SNYDER & HANSEN, 1940). Esta complexidade é o principal obstáculo para a sua identificação. Este patógeno tem sido amplamente relatado no Brasil como agente causal de doenças radiculares no feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e na soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (KIMATI et al., 1997).

A PVR era associada ao fungo *Fusarium solani* f.sp. *glycines* (Mart.) Sacc. (SINCLAIR & BACKMAN, 1989) pertencente a classe dos Deuteromycetes (fungos que possuem micélio septado, e não apresentam a fase sexuada no ciclo de vida), a ordem Moniliales (fungos que produzem conídios em conidióforos livres), família Tuberculariaceae (que possuem como principal característica a presença de esporodóquios), gênero *Fusarium* que produzem macroconídios multiseptados, curvos, em esporodóquios e microconídios em cadeia ou agrupados em falsas cabeças (MENEZES & OLIVEIRA, 1993). Mais recentemente foi determinado que, na América

do Sul, essa doença é causada pela espécie *F. tucumaniae* sp. nov., que é filogeneticamente e morfológicamente diferente de *F. virguliforme* sp. nov., causador da doença na América do Norte (AOKI et al., 2003; ARRUDA et al., 2005). A partir das publicações de 2006 a EMBRAPA apresenta *Fusarium tucumaniae* como agente causal da podridão vermelha da raiz (PVR) (EMBRAPA, 2006).

Segundo AOKI et al. (2005), a PVR na América do Sul é causada por quatro espécies de *Fusarium*: *Fusarium brasiliense* sp. nov., *F. cuneirostrum* sp. nov., *F. tucumaniae* e *F. virguliforme*. No Brasil, além do *F. tucumaniae*, duas espécies foram formalmente descritas como agentes causais da PVR em soja, *F. brasiliense* e *F. cuneirostrum*. Além disso, AOKI et al. (2005), revelam que a morfologia de conídios permite identificar as quatro espécies de *Fusarium*.

Fusarium brasiliense caracteriza-se por conídios esporodoquiais; cilíndricos; septados com extremidades arredondadas. Em contrapartida, *F. cuneirostrum* produz conídios esporodoquiais com uma célula apical rostrada e uma célula basal distinta (célula pé). *Fusarium virguliforme* é diferenciado pela produção de conídios com célula apical e basal simétricas e em formato de vírgula. Já *F. tucumaniae* produz conídios esporodoquiais mais longos e estreitos do que as outras três espécies. Em geral, quando cultivados em meio SNA (“synthetic nutrient agar”) podem apresentar conídios com três septos (três septos: superiores a 50µm de comprimento e largura de 4,5-5,0µm; quatro septos: apresentam normalmente 60 µm de comprimento e 4,5-5,0µm de largura) (AOKI et al., 2005).

Fusarium virguliforme sp. nov, formalmente conhecido como *F. solani* f. sp. *glycines*, é descrito como agente causal da PVR na América do Norte, e *F. tucumaniae* sp. nov. é apresentado como agente causal da PVR na América do Sul. Os resultados de estudos moleculares evidenciaram ser possível a alteração de nomenclatura em que se utiliza *formae specialis* (AOKI et al., 2003).

AOKI et al. (2003), descrevem as características morfológicas de conídios e conidióforos que distinguem *F. tucumaniae* de outras espécies dentro do complexo de *F. solani*, tais como *F. virguliforme* e *F. phaseoli*.

Diante das alterações efetuadas recentemente na classificação de *Fusarium* e na descrição de novas espécies relacionadas a PVR, nos próximos parágrafos, será mantida a nomenclatura utilizada pelos autores dos trabalhos apresentados.

F. solani f. sp. *glycines* cresce vagarosamente em meio de batata-dextrose-ágar (BDA), produzindo massa azulada de micélio, com grande quantidade de macroconídios (30-65 x 6-8 µm) com 3 a 5 septos e pouca ou nenhuma presença de microconídios (RUPE et al., 1989). Como exemplo, têm-se que colônias em meio de BDA aumentaram 24mm após 7 dias a 25°C (ROY, 1997).

A existência de diferentes raças do patógeno causador da PVR tem sido motivo de intensa especulação, porém, ainda não há evidências convincentes da sua ocorrência. ACHENBACH et al. (1996), utilizando marcadores RAPD, encontraram 100% de similaridade genética entre 22 isolados causadores da PVR procedentes de várias regiões dos Estados Unidos. Da mesma forma, ACHENBACH et al. (1997) concluíram que os isolados causadores da PVR coletados nos Estados Unidos compreendiam uma população quase clonal, com nível extremamente baixo de variação genética entre os indivíduos. No Brasil, COSTA & YORINORI (1996) observaram variações morfológicas e de esporulação entre diferentes isolados, mas testes de inoculação não demonstraram diferenças na patogenicidade entre as formas variantes. Por outro lado, tem sido constatada variação na agressividade entre diferentes isolados (MELGAR & ROY, 1994; GRAY & ACHENBACH, 1996; HUANG & HARTMAN, 1998; GÁSPERI, 2000; SCANDIANI et al., 2002). Desta forma, torna-se importante a definição adequada do isolado a ser utilizado em inoculações artificiais para avaliar a reação de cultivares de soja a PVR.

Os conídios de *F. solani* f. sp. *glycines* são disseminados pela água, e sobrevivem por pouco tempo no solo. Os conídios no solo são convertidos em clamidosporos em poucos dias (Park 1956 citado por MEYERS & COOK, 1972).

Estruturas de resistência na forma de clamidosporos, localizadas no solo ou em restos culturais, constituem o inóculo primário da doença (ROY et al., 1997). O modo de penetração do fungo nas raízes ainda não foi bem esclarecido mas, provavelmente, seja de forma direta, isto é, a penetração ocorreria durante a germinação de

clamidoporos ou de macroconídios que entram em contato com o sistema radicular das plantas (FRONZA, 2003). Nas raízes, o sintoma primário de infecção da doença é uma mancha avermelhada, mais visível na raiz principal, geralmente localizada um a dois centímetros abaixo do nível do solo. Essa mancha se expande, circunda a raiz e passa da coloração vermelho-arroxeadada para castanho-avermelhada a quase negra (YORINORI et al., 1993). Essa necrose acentuada localiza-se mais no tecido cortical, enquanto que o lenho da raiz adquire coloração no máximo, castanho-clara, que se estende pelo tecido lenhoso da haste atingindo vários centímetros acima do nível do solo. Sob condições de alta umidade, forma-se um anel vermelho na base da haste, freqüentemente, com uma cobertura de coloração bege, constituída de conídios do fungo. Nessa fase, observa-se, na parte aérea, o amarelecimento prematuro das folhas e, com maior freqüência, uma acentuada necrose entre as nervuras das folhas, resultando no sintoma conhecido como “folha carijó”. As raízes secundárias degradam-se rapidamente, ficando apenas a raiz principal. Sob condições de solo úmido o córtex da raiz principal destaca-se com facilidade, expondo seu lenho de cor clara (ALMEIDA et al., 1997; EMBRAPA, 2001; DOENÇAS da Soja, 2004). Tanto as raízes de cultivares suscetíveis quanto aquelas de cultivares resistentes são infectadas pelo patógeno, porém, a taxa de infecção e o desenvolvimento dos sintomas foram menores nos genótipos resistentes (NJITI et al., 1997b). No final do ciclo de plantas severamente infectadas, é possível se observar uma massa de macroconídios azuis a verde-azulados nas raízes, próximo à superfície do solo, principalmente nos períodos com elevado teor de umidade (ROY et al., 1997).

Os sintomas foliares a campo geralmente se desenvolvem durante ou logo após o florescimento. Nas folhas observam-se manchas circulares a irregulares, espalhadas, internervalmente, de cor verde-pálidas, com uns poucos milímetros ou mais em diâmetro, que produzem um aspecto mosqueado. As manchas podem aumentar, e tornarem-se necrosadas, coalescerem, e formarem regiões alongadas de clorose interval; podendo também ocorrer completo desfolhamento quando a doença for severa. Além disso, infecção severa durante o florescimento e formação de vagens, geralmente resulta no aborto das flores e das vagens (HIRREL, 1983; RUPE, 1989;

RUPE et al., 1989; ROY et al., 1991). A altura das plantas parece não ser afetada pela PVR (HERSHMAN et al., 1990; MELGAR et al., 1994). Entretanto, reduções da altura ocorreram (MCLEAN & LAWRENCE, 1993) em plantas inoculadas artificialmente em casa de vegetação (ROY et al., 1989; RUPE, 1989). As perdas em termos de rendimento de grãos, basicamente, são devidas à redução no número de vagens com sementes e na massa das sementes (NJITI, 1998; GÁSPERI, 2000).

Condições de alta umidade do solo (cerca de -0,003 a -0,01MPa) e temperaturas amenas foram favoráveis ao desenvolvimento da doença, sendo que temperaturas em torno de 15°C favoreceram o desenvolvimento dos sintomas nas raízes e, entre 22 a 24°C, na parte aérea (SCHERM & YANG, 1996). Assim, áreas irrigadas ou com maior altitude parecem ser mais sujeitas à incidência da doença (FRONZA, 2003). O efeito da temperatura também é importante para a germinação dos macroconídios, que não ocorre a 4°C e é maior a 25°C do que a 20 ou 30°C (LI et al., 1998). Embora vários fatores químicos e físicos do solo estejam associados com a incidência da PVR, freqüentemente, tem-se observado que a doença é mais severa nas áreas mais produtivas (RUPE, 1999). ROY et al. (1989) em experimentos em casa de vegetação sempre encontraram correlação positiva entre umidade do solo e a incidência da PVR. Entretanto, a informação do tempo ótimo de irrigação para promover o desenvolvimento dos sintomas da PVR no campo, ainda não são conhecidos (FARIAS NETO et al., 2006).

Reduções severas em produtividade podem ocorrer devido à PVR, dependendo do desenvolvimento dos sintomas (HARTMAN et al., 1999). O efeito da doença na produtividade depende fundamentalmente do estágio fenológico da planta, da extensão dos sintomas foliares e do progresso da doença a partir desses sintomas. STEPHENS et al. (1993c) observaram severas perdas em produtividade, quando os primeiros sintomas foliares foram observados antes do estágio R5 (FEHR & CAVINESS, 1977). FARIAS NETO et al. (2006), trabalhando com parcelas inoculadas e não inoculadas com *Fusarium*, observaram reduções em produtividade de grãos de até 27% em cultivares suscetíveis que apresentaram severos sintomas foliares, correspondendo a

cerca de 30% de desfolha no estágio R6. Os sintomas iniciais da doença foram observados nos estádios R4 e R5 (DIANESE et al., 2010).

1.4. Identificação da reação de cultivares de soja a PVR

Por ser causada por um fungo de solo e pela expressão dos sintomas ser influenciada pelas condições edáficas e climáticas, muitos pesquisadores têm avaliado a reação de genótipos a PVR no próprio campo, instalando experimentos em diversos locais. Outros, porém, têm utilizado diversas metodologias de inoculação artificial e avaliação dos sintomas em ambientes controlados. No entanto, uma metodologia precisa e segura ainda não foi desenvolvida, havendo controvérsias na indicação do método mais adequado para avaliação em programas de melhoramento visando desenvolver cultivares mais resistentes a PVR (FRONZA, 2003).

Em casa de vegetação ou câmaras de crescimento, a principal diferença entre os métodos de avaliação é a forma de se proceder a inoculação artificial, sendo os métodos encontrados na literatura os seguintes:

- a)** Grãos de aveia colonizados (LIM, 1991; STEPHENS et al., 1993a; 1993b e 1993c; MELGAR & ROY, 1994; TORTO et al., 1996; NELSON et al., 1997; FRANCO, 2007; DIAVAN, 2008);
- b)** Grãos de sorgo colonizados (RINGLER & NICKELL, 1996; HARTMAN et al., 1997; HUANG & HARTMAN, 1998; BALARDIN & RUBIN, 1999; FRANCO 2007; DIAVAN, 2008);
- c)** Micélio em palito de dente (MELGAR & ROY, 1994; COSTA & YORINORI, 1995a e 1995b; LEÃO et al., 1998; KLINGELFUSS et al., 2001a e 2001b; KLINGELFUSS et al., 2002; FRANCO, 2004 e 2007; DIAVAN, 2008);
- d)** Suspensão de micélio/conídios (COSTA & YORINORI, 1995a; HEAVNER et al., 1996);
- e)** Farinha de milho (fubá) e areia (KILLEBREW et al., 1988; ROY et al., 1989; MCLEAN & LAWRENCE, 1993; TORTO et al., 1996; NJITI et al., 1997a e 1997b);

- f)** Imersão das raízes em suspensão de conídios (COSTA & YORINORI, 1995a; FRANCO, 2004);
- g)** Discos de colônias (FRANCO, 2004; DIAVAN, 2008);
- h)** Em folhas destacadas (FRANCO, 2004 e 2007).

O uso de grãos de sorgo colonizados para se proceder à inoculação durante a semeadura tem reduzido a variabilidade dos resultados, tornando possível a realização de análises de rotina em casa de vegetação, porém, é imprescindível que as sementes de soja não fiquem em contato direto com o inóculo, porque a podridão radicular excessiva impede o crescimento suficiente das plantas para permitir o desenvolvimento de sintomas foliares típicos da PVR (RUPE, 1999). Desta forma, este é o método que se apresenta como o mais promissor para a avaliação de genótipos, utilizando-se inoculação artificial. Este método é uma modificação daquele que utiliza grãos de aveia (LIM, 1991), procedendo-se à inoculação das plântulas aos 20 dias após a semeadura (estádio V2), com dois grãos de sorgo/plântula, colocados cerca de 2 cm abaixo da superfície do solo, próximo da raiz principal, com o auxílio de uma faca (para abrir uma fenda no solo) ou de uma colher (para escavar o solo), tomando-se o cuidado para não atingir as raízes e de cobrir os grãos de sorgo com o solo (RINGLER & NICKELL, 1996). HARTMAN et al. (1997) e HUANG & HARTMAN (1998) também apresentaram detalhes desta metodologia, só que procederam à inoculação durante a semeadura, realizada em bandejas (8x12 cm), colocando 5 cm³ de grãos de sorgo colonizados com o patógeno em 12 cm de sulco (com 2 cm de profundidade e espaçamento entre sulcos de 3 cm), e após este procedimento adicionaram 800 cm³ de solo. Em vez de colocar o inóculo em sulcos, BALARDIN & RUBIN (1999) utilizaram seis grãos de sorgo para cada semente de soja ou cova, colocando-as 2 cm abaixo das sementes no momento da semeadura. Posteriormente FRONZA (2003) utilizou apenas três grãos de sorgo por cova, mas sugeriu que fossem utilizados cinco grãos, para garantir quantidade suficiente de inóculo e que as raízes entrem em contato com o patógeno.

Estudos em casa de vegetação e de campo, têm demonstrado diferenças de reação entre cultivares, porém, testes mais rigorosos de campo têm sido dificultados pelas variações climáticas de cada safra (YORINORI, 2000b). O uso de cultivares

resistentes e medidas para evitar a compactação do solo que predispõe as plantas ao estresse hídrico e ao encharcamento do solo também podem controlar a PVR (ALMEIDA et al., 1997).

A reação de cultivares à PVR tem sido avaliada em campo naturalmente infestado, no entanto, esse tipo de avaliação não tem sido eficiente, pois o inóculo não está distribuído de forma uniforme e homogênea na área avaliada, ademais, é necessário arrancar as plantas para visualizar as raízes infectadas e assim proceder a avaliação através de notas de sintomas visuais e, ao arrancar as plantas, algumas raízes podem quebrar. A avaliação da doença também pode ser avaliada em casa de vegetação, onde se tem maior controle do ambiente, por meio de inoculação artificial; as avaliações podem ser feitas através de escalas visuais de notas, de sintomas radiculares, massa seca e volume de raiz (BERNARDI, 2008).

FRANCO (2007) encontrou que a melhor época e método para o desenvolvimento de estudos que envolvam a inoculação de *F. tucumaniae* em soja, em regiões de clima semelhante ao de Jaboticabal/SP, é a do outono/inverno, utilizando-se o método de grãos de sorgo colonizado pelo patógeno.

Trabalhos de avaliação da reação de genótipos de soja foram conduzidos por alguns pesquisadores brasileiros (YORINORI & NOMURA, 1994; COSTA & YORINORI, 1995b). Esses trabalhos foram realizados com inoculação de plantas pelo método palito de dente, sendo a avaliação da reação efetuada através da severidade dos sintomas foliares ou do comprimento de lesão no caule. Apesar da avaliação da reação de cultivares segundo os sintomas foliares ser rápida e relativamente eficiente, alguns autores relataram falta de correlação entre sintomas nas raízes e na parte aérea (GRAY & ACHENBACH, 1996; SCHERM & YANG, 1996; HARTMAN et al., 1997). Existem alguns relatos sobre a reação de cultivares de soja a *F. solani* f. sp. *glycines*, porém são informações, que muitas vezes evidenciam o comportamento instável de determinadas cultivares quanto a PVR (RUPE et al., 1991; NJITI et al., 1996; GÁSPERI et al., 2003). A presença de interação genótipos x ambientes significativa também foi constatada por RUPE & GBUR (1995) e NJITI et al. (1996 e 1997b).

No Brasil, inoculações artificiais e/ou observações a campo apresentaram as seguintes cultivares como mais tolerantes à PVR (SMS): BR-4, BR-6 (Nova Bragg), BR-9 (Savana), CAC-1, EMBRAPA-1 (IAS 5-RC), EMBRAPA-9 (Bays), EMGOPA-315 (Rio Vermelho), FT-5 (Formosa), FT-7 (Tarobá), FT-9 (Inaê), FT-10 (Princesa), FT-14 (Piracema), FT-20 (Jaú), FT-Cometa, FT-Guaíra, FT-Jatobá, IAC-13, IAC-15, KI-S 601, KI-S 602 RCH, MG/BR-46 (Conquista), MT/BR-49 (Pioneira) e OCEPAR-4 (Iguaçu). Entretanto, as reações dessas cultivares necessitam ser reavaliadas sob condições ótimas para ocorrência da doença (EMBRAPA, 2001). A cultivar IAC-4 foi considerada altamente resistente em avaliações a campo (YORINORI et al., 1993).

Comparando-se a reação de cinco cultivares (FT-104, FT-Cristalina RCH, FT-Estrela, EMGOPA 315 e CAC-1) pelo método do palito de dente, LEÃO et al. (1998) verificaram que CAC-1 e FT-104 foram as mais resistentes a PVR, enquanto que FT-Estrela e FT-Cristalina foram as mais suscetíveis, e EMGOPA 315 apresentou reação intermediária.

KLINGELFUSS et al. (2001a), efetuando a inoculação pelo método do palito de dente, compararam cinco cultivares (Ripley, Canário, BRS Milena, Paiaguás e Conquista) e duas PI's (520.733 e 567.374), todas consideradas como resistentes a PVR, com a cultivar suscetível FT-Estrela, e concluíram que as PI's 520.733 e 567.374 e as cultivares Conquista e Canário foram as mais resistentes, sendo indicadas para utilização em cruzamentos visando resistência a PVR, enquanto a cultivar FT-Estrela demonstrou ser um bom padrão de suscetibilidade.

Avaliando métodos de inoculação para quantificação de resistência em soja a *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, em casa de vegetação, KLINGELFUSS et al. (2007) relataram que as inoculações com grãos de sorgo e milho colonizados pelo patógeno foram mais eficientes na obtenção de sintomas da PVR; e que a cultivar FT-Estrela apresentou reação de suscetibilidade, confirmando seu uso como padrão suscetível.

Em três experimentos conduzidos no campo num mesmo local, envolvendo 91 genótipos, principalmente novas linhagens, FARIAS NETO et al. (2001) observaram que as cultivares EMGOPA 302, EMGOPA 316, Milena e Conquista se destacaram pela

resistência, havendo também linhagens superiores que poderiam servir como fontes de resistência a PVR.

Utilizando dois métodos de inoculação (palito de dente e suspensão de micélio + esporos), em experimentos diferentes, YORINORI & NOMURA (1994) avaliaram 177 cultivares brasileiras, encontrando como resistentes as cultivares BR-27 (Cariri), FT-5 (Formosa), FT-15, FT-Jatobá e Paranaoiana e, como moderadamente resistentes, as cultivares BR-4, CAC-1, FT-8 (Araucária), IAC-2, IAC-4, MT/BR-45 (Paiaguás), OCEPAR-4 (Iguaçu), OCEPAR-9 (SS-1) e UFV-9 (Sucupira).

GÁSPERI (2000) comparou os métodos do palito de dente e dos grãos de sorgo, avaliando os sintomas na parte aérea e no sistema radicular, respectivamente, e observou variação entre os dois métodos na reação das 30 cultivares testadas: BRS 137, BRS 138 e EMBRAPA 66 foram as mais resistentes no teste do palito, enquanto que no método dos grãos de sorgo, IAS 5 e BRS 137 foram as mais resistentes. O autor também concluiu que não houve correlação entre a expressão dos sintomas na parte aérea e nas raízes, demonstrando que os mecanismos de resistência envolvidos, possivelmente, sejam diferentes.

1.5. Controle

Não existe controle químico adequado para PVR. No entanto, algumas práticas culturais têm sido capazes de reduzir seu impacto (HARTMAN et al., 1999). Fungicidas aplicados no sulco durante a semeadura ou para tratamento de sementes têm apenas efeitos limitados sobre a redução da doença. Fungicidas aplicados nas folhas não apresentam efeito, presumivelmente porque mesmo fungicidas sistêmicos normalmente não se movem em direção ao sistema radicular da planta, local da infecção (WESTPHAL et al., 2008).

FREITAS et al. (2004) estudaram o dano devido a PVR e concluíram que o patógeno causa redução na produtividade devido à infecção e danos ao sistema radicular das plantas. Havendo condições para um processo infeccioso rápido, a

doença atinge um nível de dano elevado ainda no período de florescimento, sendo observada uma interferência no processo de formação de vagens e grãos. Por outro lado, se a infecção ocorrer de forma lenta ou tardia, atingindo seu máximo no período de granação (enchimento de grãos), é observada uma redução no número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de mil grãos. Práticas de controle que retardem a infecção inicial da PVR são importantes para a redução do seu impacto sobre os componentes de produtividade da soja.

O interesse de uso de tratamento de sementes para o controle da PVR tem crescido ultimamente. Novas pesquisas têm evidenciando que a infecção precoce da raiz por *F. virguliforme* é crítica para o desenvolvimento da doença (NAVI & YANG, 2008; GONGORA-CANUL & LEANDRO, 2011).

No Hemisfério Norte, a semeadura antecipada, o frio e os solos úmidos são fatores que predispõem à infecção. Semeadura tardia, além da utilização de cultivares precoces, pode minimizar perdas (HERSHMAN, 1996).

A rotação de culturas pode reduzir a incidência de PVR (RUPE et al., 1997). Esses autores demonstraram que a rotação de soja com sorgo (*Sorghum bicolor*) e trigo (*Triticum aestivum*) reduziu significativamente a população do patógeno. No entanto, constatou-se que milho (*Zea mays*) e soja em rotação anual, comum no cinturão do milho nos EUA, não reduziu a incidência e a severidade da doença (XING & WESTPHAL, 2009). Surtos graves de PVR têm ocorrido, mesmo após vários anos contínuos de milho (XING & WESTPHAL, 2009).

CHILVERS et al. (2011) menciona que em campos com a doença não tem o que se fazer, mas há vários manejos que auxiliam no controle da PVR visando as futuras semeaduras, como: evitar movimento em solos contaminados para evitar a disseminação do patógeno para áreas livres da doença; utilização de variedades de soja com resistência parcial a PVR; manejo do nematóide do cisto da soja, que abre portas para a infecção da doença; melhorar a drenagem, pois campos mal drenados são melhores para desenvolvimento da doença; melhorar a estrutura do solo e prevenir a compactação; se possível plantar soja em campos que não foram infestados com o

fungo antes, e realizar a semeadura em época recomendada, uma vez que semeaduras antecipadas tendem a agravar a doença.

O uso de cultivares resistentes tem sido o método de controle mais eficaz (FARIAS NETO et al., 2006; HARTMAN et al., 1999; LEÃO et al., 1998; NJITI et al., 2001). Em condições de campo, a resistência é descrita como poligênica (CHANG et al 1996; HNETKOVSKY et al., 1996) e condicionada por, no mínimo, cinco genes, presentes na cultivar Forrest (NJITI et al., 1996). A resistência é descrita ainda como parcial, tendo em vista que, sob alta pressão de inóculo (qualquer estrutura do patógeno capaz de iniciar a doença), mesmo os genótipos resistentes muitas vezes apresentam algum sintoma típico da PVR (GÁSPERI et al., 2003; MUELLER et al., 2002; NJITI et al., 1996; YORINORI, 2000a).

O controle de patógenos de solo torna-se mais difícil nas grandes culturas, e neste caso acredita-se no potencial do controle integrado, associando-se o uso de cultivares resistentes, de técnicas de manejo do solo (água e compactação) e de controle cultural (rotação, época semeadura) que desfavoreçam o patógeno e favoreçam o desenvolvimento das plantas. CHILVERS et al. (2011) mencionam a integração de manejos visando controle da PVR.

1.6. Influência de manejo do solo na incidência da PVR

A utilização dos solos para fins agrícolas, causa alteração estrutural, com maior ou menor grau, em consequência da intensidade e forma de uso e manejo. Esta alteração e/ou degradação estrutural se caracteriza pela redução da porosidade total em resposta ao pequeno aumento da microporosidade e detrimento acentuado dos poros de maior diâmetro (DEXTER, 2004). Este fenômeno promove aumento da densidade e da resistência do solo, refletindo-se em prejuízos a dinâmica da água e nutrientes e ao crescimento das raízes (LETEY, 1985) e, frequentemente, na redução da produtividade das culturas (BEUTLER et al., 2004). A alteração da estrutura do solo, pela ação antrópica leva, em geral, à limitação da qualidade física para o

desenvolvimento radicular. A referida alteração se intensifica com o tráfego contínuo de máquinas e baixa frequência ou ausência de revolvimento do solo, como no sistema plantio direto de soja, cuja área é incrementada anualmente, no Brasil (BEUTLER et al., 2006).

Solos compactados impedem a percolação de água e restringem o crescimento radicular. Chuvas excessivas também contribuem para saturar esses solos, o que favorece o desenvolvimento da doença. Corrigindo problemas de compactação e da permeabilidade do solo, pode-se reduzir o risco da PVR (RUPE & HARTMAN, 1999).

Como apresentado anteriormente, pesquisas indicam que a associação de solo compactado com umidade alta está diretamente relacionada com a ocorrência e severidade de sintomas foliares da PVR. VICK et al. (2003) levantam a hipótese de que menor compactação do solo e portanto, maior porosidade proporciona maior zona aerada para a raiz, que dificulta a infecção da raiz pelo fungo, diminuindo assim os sintomas foliares da PVR.

FARIAS NETO et al. (2006) não encontraram efeitos significativos da compactação do solo sobre o desenvolvimento de sintomas foliares da PVR, mas a compactação causa diminuição significativa de produtividade. Por outro lado, eles observaram que umidade, principalmente durante o estágio reprodutivo é fator importante para o desenvolvimento de sintomas foliares da PVR. Neste mesmo estudo FARIAS NETO et al. (2006) concluíram que o inóculo posicionado perto da semente e irrigações durante o estágio reprodutivo foram pontos importantes para se obter sintomas suficientes para separar genótipos de diferentes reações a PVR.

CAPÍTULO 2. SEVERIDADE DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ DA SOJA SOB EFEITO DA ÉPOCA DE SEMEADURA, DA COMPACTAÇÃO E DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

RESUMO - Este trabalho teve por objetivo verificar se a época de semeadura, o grau de compactação e o conteúdo de água do solo influenciam o comportamento das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1, consideradas suscetível e resistente a *Fusarium tucumaniae* (agente causal da podridão vermelha da raiz/PVR) respectivamente. Os experimentos foram instalados no campo, épocas de outono/inverno de 2009 e primavera/verão de 2009/2010, sendo os tratamentos resultantes da combinação de três graus de compactação do solo, para a primeira época e quatro graus, para a segunda época, três conteúdos de água e infestação do solo com o patógeno em metade das parcelas, sendo a outra metade mantida como testemunha. As cultivares testadas apresentaram comportamento variável conforme a época de semeadura. No outono/inverno, em que os índices de doença foram baixos, observou-se maior número de plantas da cultivar CAC-1 com sintomas da PVR na parte aérea. Na primavera/verão a cultivar FT-Cristalina apresentou maior número de plantas com sintomas. Graus mais elevados de compactação do solo (RP = 2,12 MPa) favoreceram a ocorrência de maior incidência da PVR somente no outono/inverno, e exceto para a cultivar CAC-1 no outono/inverno, reduziram a produtividade de grãos. Conteúdos mais elevados de água no solo (-0,001 MPa e -0,01 MPa), no geral, favoreceram a incidência da PVR. No outono/inverno, os maiores conteúdos de água promoveram aumento de produtividade, porém, na estação chuvosa (primavera/verão) o efeito aditivo da irrigação, que proporcionou condição de constante encharcamento do solo reduziu a produtividade.

Palavras-chave adicionais: *Glycine max* (L.) Merrill, *Fusarium tucumaniae*, síndrome da morte súbita da soja, compactação do solo, conteúdo de água no solo

INTRODUÇÃO

A podridão vermelha da raiz (PVR) tem merecido atenção dos fitopatologistas e melhoristas, por causar severas perdas na produção de soja nas Américas do Norte e do Sul. É causada por *Fusarium tucumaniae* anteriormente denominado *Fusarium solani* f. sp. *glycines* (AOKI et al., 2003). A expressão dos sintomas é influenciada pelas condições edáficas e climáticas, o que dificulta a avaliação da reação de variedades de soja a este patógeno.

Trabalhos de avaliação da reação de genótipos de soja a *F. solani* f. sp. *glycines* foram conduzidos por YORINORI & NOMURA (1994). Apesar da avaliação da reação de cultivares segundo os sintomas foliares ser rápida e relativamente eficiente, alguns autores relataram falta de correlação entre sintomas nas raízes e na parte aérea (GRAY & ACHENBACH, 1996; SCHERM & YANG, 1996; HARTMAN et al., 1997). Relatos sobre a reação de cultivares de soja a *F. solani* muitas vezes demonstram o comportamento instável de cultivares (GÁSPERI et al., 2003). A presença de interação genótipos x ambientes significativa também foi constatada por RUPE & GBUR (1995).

A exemplo de outras doenças do sistema radicular, ainda não estão disponíveis formas eficientes de controle da PVR. Entre as possíveis táticas de controle da doença pesquisadas existem as que desfavorecem a infecção da planta pelo patógeno, como solos não compactados e não encharcados, porém o uso de cultivares tolerantes ou com resistência é apontado como o método mais efetivo de controle da PVR em soja (FARIAS NETO et al., 2006). Entretanto a resistência é considerada parcial, uma vez que, sob alta pressão de inóculo, mesmo cultivares resistentes podem apresentar sintomas típicos da PVR.

Algumas condições como solos compactados impedem a percolação de água e restringem o crescimento radicular e, chuvas excessivas também contribuem para saturar esses solos, o que favorece o desenvolvimento da doença. Corrigindo problemas de compactação e da permeabilidade do solo, pode-se reduzir o risco da PVR (RUPE, 1989). Quanto menor a compactação, maior é a porosidade do solo e isto

proporciona maior zona aerada para a raiz, que atrapalha a infecção pelo fungo, diminuindo assim os sintomas foliares da PVR (VICK et al., 2003).

Condições de alta umidade do solo (cerca de -0,003 a -0,01MPa) e temperaturas amenas foram favoráveis ao desenvolvimento da doença, sendo que temperaturas em torno de 15°C favoreceram o desenvolvimento dos sintomas nas raízes e, entre 22 a 24°C, na parte aérea (SCHERM & YANG, 1996).

Não foram encontradas na literatura disponível, informações que relacionem a severidade da PVR causada por *F. tucumaniae* com diferentes manejos do solo e conteúdos de água em solos brasileiros, e, apesar da complexidade que envolve estudos de patógenos de solo, são necessárias pesquisas que auxiliem na elucidação de aspectos relacionados a sua etiologia, visando contribuir para adoção de medidas de controle mais eficazes. Desta forma, o presente trabalho objetivou verificar se a época de semeadura, o grau de compactação, o conteúdo de água do solo e a presença ou ausência do patógeno influenciam o comportamento de duas variedades de soja, FT-Cristalina (suscetível a PVR) e CAC-1 (resistente à PVR).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental da Fazenda Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Jaboticabal (SP), com coordenadas geográficas de 21°15'29" de latitude sul e 48°16'47" de longitude oeste de Greenwich, com altitude média de 600 m. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, com verão quente e inverno seco, precipitação média anual de 1.428 mm e temperatura média de 21 °C (CENTURION, 1998). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura argilosa, A moderado, caulínico-oxídico (LVef) (ANDRIOLI & CENTURION, 1999). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de terra na camada de 0 a 0,20 m para análise química e física (Apêndices 1 e 3).

Os elementos meteorológicos utilizados neste trabalho, foram extraídos de um conjunto de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas (Apêndices 2, 2A, 4 e 4A).

Foram conduzidos experimentos, testando-se duas cultivares em duas épocas (outono/inverno de 2009 e primavera/verão de 2009/2010). Para cada cultivar (FT-Cristalina e CAC-1) em cada época, os tratamentos foram constituídos por quatro graus de compactação, três conteúdos de água no solo e dois níveis de infestação do solo com o patógeno.

Graus de compactação do solo: após preparo convencional do solo, aplicação e incorporação de trifluralina, a área foi irrigada por aspersão até o solo atingir umidade próxima a capacidade de campo. Com o solo nestas condições estabeleceram-se os graus de compactação, sendo C0, C2, C4 e C6 os graus correspondentes a zero, duas, quatro e seis passadas de trator (MF 620) de 11 t com quatro pneus de 0,40 m. O grau C6 foi incluído apenas no experimento conduzido na primavera/verão 2009/10. Os valores de densidade do solo obtidos nos diferentes graus de compactação foram: C0 = 1,09 g cm⁻³; C2 = 1,18 g cm⁻³ e C4 = 1,25 g cm⁻³, no outono/inverno; e na primavera verão: C0 = 1,20 g cm⁻³, C2= 1,34 g cm⁻³, C4 = 1,36 g cm⁻³e C6 = 1,36 g cm⁻³.

Conteúdos de água no solo: foram estudados os conteúdos de água, determinados através das tensões -0,001 MPa, -0,01 MPa e -0,05 MPa. As irrigações, realizadas por aspersão, foram feitas mediante leituras diárias dos tensiômetros instalados na área experimental.

Níveis de infestação do solo: em um dos níveis de infestação, o patógeno foi introduzido no solo através de grãos de sorgo colonizados com o patógeno. No outro nível, a soja foi cultivada em solo não infestado. O inóculo para infestação do solo foi preparado através do cultivo de *F. tucumaniae*, isolado SDS-5, em grãos de sorgo autoclavados. Os erlenmeyers contendo as culturas do patógeno foram mantidos em condições ambiente, e, agitados periodicamente.

A área experimental, com os graus de compactação já estabelecidos, foi sulcada no espaçamento de 0,45 m entrelinhas e adubada seguindo-se as recomendações de RAIJ et al. (1996) para produtividade esperada de soja de 3 a 3,5 t/ha. Em seguida

procedeu-se a distribuição do inóculo no sulco de semeadura (dose 26 g/m, no outono/inverno e 14 g/m na primavera/verão) nos tratamentos com solo infestado e a semeadura das cultivares FT-Cristalina e CAC-1 (28/05/2009 -outono/inverno 2009 e 15/12/2009 -primavera/verão 2009/2010). Foi efetuado o ajuste da população de plantas para 18 plantas/m linear através do desbaste. No ensaio de primavera/verão efetuou-se uma segunda infestação do solo, no estágio V3-4 da soja [34 dias após a semeadura (DAS)], distribuindo-se o inóculo próximo ao colo das plantas (17 g/m).

Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m para determinação da resistência do solo à penetração (RP) e densidade do solo.

Avaliaram-se o número de plantas mortas (45 DAS), no outono/inverno, plantas no estágio V 4; 14 DAS (V2), 27 DAS (V3), 35 DAS (V4), 47 DAS (R1-2) e 90 DAS (R6), na primavera/verão), a porcentagem de plantas com “folha carijó” (90 DAS, estágio R6) e a severidade de podridões radiculares, no estágio R6 da cultura, utilizando-se escala de notas proposta por FRANCO et al. (2007).

No estágio R8 (FEHR & CAVINESS, 1977), 10 plantas por parcela foram colhidas para avaliação de características agronômicas.

O delineamento experimental foi de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída de quatro linhas de 4,0 m, espaçadas em 0,45 m. Considerou-se como área útil as duas linhas centrais, descartados 0,5 m de cada extremidade. Estabeleceu-se como tratamento principal (TP) a compactação (três graus de compactação para outono/inverno e quatro graus para primavera/verão), como subparcela (tratamento secundário TS) a irrigação ($I_0 = -0,001$ MPa, $I_1 = -0,01$ MPa e $I_2 = -0,05$ MPa) e subsubparcela (tratamento ternário TT) a infestação do solo com o patógeno (I_{in}) ou a não infestação (I_n). Foi conduzido um experimento com a cultivar tida como resistente, CAC-1, e um com a suscetível, FT-Cristalina, em duas épocas, outono/inverno 2009 e primavera/verão 2009/10.

Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software AGROESTAT (BARBOSA & MALDONADO, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de número de plantas mortas obtidos no outono/inverno (Tabela 1) e de porcentagem de plantas mortas e com folha carijó obtidos na primavera/verão (Tabela 2) comprovam a influência exercida pelas condições ambientais na manifestação dos sintomas da doença mesmo em cultivares classificadas como resistentes a PVR. Observa-se que no outono/inverno a cultivar CAC-1 (resistente) independentemente dos graus de compactação e do conteúdo de água no solo, apresentou maior número de plantas com sintomas da PVR. Embora no outono/inverno de 2009, terem sido registradas precipitações maiores (177,1 mm) do que em outros anos, o que interfere na resistência do solo à penetração, pode-se detectar o efeito dos maiores graus de compactação do solo sobre a ocorrência de maiores níveis de infecção em ambas cultivares.

Apesar dos baixos índices de doença obtidos na época de outono/inverno, salienta-se a importância do manejo do solo. VICK et al. (2003) sugerem o uso da subsolagem para diminuir os sintomas da PVR em solos compactados e contaminados com o patógeno. CHILVERS et al. (2011) mencionam que em campos onde a doença está presente não se tem o que fazer de imediato, mas em semeaduras futuras recomendam a melhoria na estrutura do solo e prevenção da compactação, além do uso de cultivar resistente. Vale lembrar que, a resistência à PVR é descrita como parcial, tendo em vista que, sob alta pressão do inóculo, mesmo os genótipos resistentes muitas vezes apresentam algum sintoma típico da PVR (GÁSPERI et al., 2003).

Embora existam vários relatos afirmando que temperaturas amenas favorecem a ocorrência da PVR, os níveis de infecção obtidos no outono/inverno, não foram altos. A qualidade, quantidade e a época de aplicação do inóculo são fatores importantes para o sucesso na obtenção dos sintomas da doença. As condições climáticas podem ter sido determinantes para obtenção de níveis altos de doença na primavera/verão, porém deve-se ressaltar que neste experimento, além da infestação do solo no sulco de semeadura, foi realizada uma segunda infestação, com inóculo posicionado próximo ao

Tabela 1. Número de plantas mortas⁽¹⁾ e severidade de sintomas de podridão radicular⁽²⁾ das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos no outono/inverno 2009.

Tratamentos	Número de plantas mortas (45 DAS ⁽⁵⁾)		Severidade de sintomas de podridões radiculares	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (TP)				
C0⁽⁴⁾	1,95 b ⁽³⁾	3,50 c	1,28	1,10
C2	5,92 ab	9,04 b	1,38	1,16
C4	12,21 a	15,13 a	1,10	1,11
dms (5%)	8,72	4,84	0,30	0,12
F	6,61*	27,23**	4,27 ^{NS}	1,23 ^{NS}
Conteúdo de água (TS)				
-0,001 MPa	6,54	7,92 ab	1,28	1,22 a
-0,01 MPa	7,54	13,42 a	1,19	1,15 a
-0,05 MPa	6,00	5,33 b	1,30	1,02 b
dms (5%)	3,86	5,57	0,37	0,13
F	0,54 ^{NS}	5,80*	0,31 ^{NS}	8,45**
Infestação do solo (TT)				
Não infestado	0,00 b	0,00 b	1,28	1,13
Infestado	13,39 a	18,44 a	1,23	1,12
dms (5%)	3,33	3,27	0,20	0,06
F	68,22**	134,31**	0,31 ^{NS}	0,08 ^{NS}
Teste F TP x TS	1,21 ^{NS}	2,04 ^{NS}	1,93 ^{NS}	0,15 ^{NS}
Teste F TP x TT	13,56**	17,80**	0,55 ^{NS}	1,37 ^{NS}
Teste F TS x TT	0,31 ^{NS}	7,28**	0,52 ^{NS}	4,30*
Teste F TP x TS x TT	0,70 ^{NS}	2,56 ^{NS}	0,70 ^{NS}	3,14*
F	0,69 ^{NS}	0,26 ^{NS}	1,82 ^{NS}	0,92 ^{NS}
CV TP(%)	147,09	59,19	26,67	12,38
CV TS (%)	78,22	81,99	39,64	15,17
CV TT (%)	102,73	73,22	32,03	11,15

⁽¹⁾Número de plantas em parcelas de 4 m, contadas nas 2 linhas centrais (parcela útil), numa população de 18 plantas/m.

⁽²⁾Escala de notas (FRANCO et al., 2007) que varia de 1 a 3 (onde 1= raiz sem sintoma; 2= raiz pivotante totalmente ou parcialmente necrosada, porém com raízes secundárias normais; 3= sistema radicular totalmente necrosado).

⁽³⁾Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽⁴⁾ Densidade do solo nas compactações: C0 = 1,09 g cm⁻³; C2 = 1,18 g cm⁻³ e C4 = 1,25 g cm⁻³.

⁽⁵⁾ DAS = dias após semeadura

Tabela 2. Porcentagem de plantas mortas⁽¹⁾, número de plantas com folha carijó e severidade de sintomas de podridão radicular⁽²⁾ das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos na primavera/verão 2009/2010.

Tratamentos	Porcentagem de plantas mortas (14 + 27 DAS ⁽⁵⁾)		Porcentagem de plantas mortas (35 + 47 + 90 DAS)		Nº plantas com folha carijó (90 DAS)		Severidade de sintomas de podridões radiculares	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (TP)								
C0⁽⁴⁾	4,09	2,13	4,73	2,48	1,25	0,04	1,28	1,11
C2	3,96	1,53	4,85	1,95	0,96	0,00	1,37	1,11
C4	2,99	1,97	3,85	2,43	0,21	0,00	1,27	1,12
C6	3,86	1,83	4,77	2,53	0,13	0,00	1,26	1,17
dms (5%)	2,52	1,66	3,31	1,57	1,18	0,09	0,23	0,12
F	0,77 ^{NS}	0,45 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,57 ^{NS}	4,32*	1,00 ^{NS}	0,85 ^{NS}	1,13 ^{NS}
Conteúdo de água (TS)								
-0,001 MPa	6,44 a	2,52	6,93 a	3,18	0,00 b	0,00	1,28	1,13
-0,01 MPa	3,29 b	1,49	4,67 ab	2,01	1,22 a	0,00	1,31	1,12
-0,05 MPa	1,44 b	1,59	2,04 b	1,85	0,69 ab	0,03	1,29	1,14
dms (5%)	2,79	1,29	2,85	1,55	0,73	0,06	0,09	0,09
F	10,22**	2,45 ^{NS}	9,17**	2,72 ^{NS}	8,80**	1,00 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,22 ^{NS}
Infestação do solo (TT)								
Não infestado	0,38 b ⁽³⁾	0,39 b	1,42 b	0,68 b	0,00 b	0,00	1,05 b	1,06 b
Infestado	7,07 a	3,34 a	7,67 a	4,02 a	1,27 a	0,02	1,54 a	1,19 a
dms (5%)	1,65	0,93	1,77	1,03	0,49	0,04	0,08	0,06
F	67,44**	41,01**	51,30**	42,88**	27,29**	1,00 ^{NS}	173,18**	19,61**
Teste F TP x TS	1,07 ^{NS}	1,62 ^{NS}	1,16 ^{NS}	1,17 ^{NS}	4,85**	1,00 ^{NS}	2,15 ^{NS}	0,36 ^{NS}
Teste F TP x TT	0,74 ^{NS}	0,68 ^{NS}	1,10 ^{NS}	0,77 ^{NS}	5,21**	1,00 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,55 ^{NS}
Teste F TS x TT	10,91**	2,01 ^{NS}	12,44**	2,32 ^{NS}	8,41**	1,00 ^{NS}	1,36 ^{NS}	2,45 ^{NS}
Teste F TP x TS x TT	1,52 ^{NS}	1,19 ^{NS}	1,36 ^{NS}	1,12 ^{NS}	4,64**	1,00 ^{NS}	0,67 ^{NS}	0,49 ^{NS}
F	1,74 ^{NS}	2,04 ^{NS}	1,00 ^{NS}	2,03 ^{NS}	0,61 ^{NS}	1,00 ^{NS}	0,64 ^{NS}	1,01 ^{NS}
CV TP (%)	75,26	98,61	80,84	74,37	206,05	979,79	19,98	12,15
CV TS (%)	119,91	110,69	100,42	106,10	183,37	979,79	11,48	13,66
CV TT (%)	107,25	120,90	93,98	106,37	187,55	979,79	14,20	12,68

⁽¹⁾ Porcentagem de plantas em parcelas de 4m, contadas nas 2 linhas centrais (parcela útil).

⁽²⁾ Escala de notas (FRANCO et al., 2007) que varia de 1 a 3 (onde 1= raiz sem sintoma; 2= raiz pivotante totalmente ou parcialmente necrosada, porém com raízes secundárias normais; 3= sistema radicular totalmente necrosado).

⁽³⁾ Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽⁴⁾ Densidade do solo nas compactações: C0 = 1,20 g cm⁻³, C2= 1,34 g cm⁻³, C4 = 1,36 g cm⁻³ e C6 = 1,36 g cm⁻³.

⁽⁵⁾ DAS = dias após a semeadura.

colo da planta.

Em função da PVR apresentar um progresso estritamente relacionado a sua etiologia e epidemiologia, ainda há dificuldades para explicar a variação do aparecimento dos sintomas com fatores ambientais, estágio da cultura e práticas de manejo (SCHERM & YANG, 1996). Este fato decorre do estabelecimento da doença ser influenciado pelas condições de umidade e temperatura do solo. Também, variações na resistência de cultivares de soja podem ocorrer, determinando uma dificuldade adicional no manejo visando o controle da PVR. A maior incidência de PVR na cultivar CAC-1 (resistente) pode ter ocorrido pela influência da temperatura do solo (não determinada no presente trabalho) e até mesmo pelas variações na resistência de cultivares como mencionado anteriormente.

A severidade dos sintomas de podridões radiculares foi baixa, em ambas épocas e cultivares, nos diferentes graus testados de compactação e conteúdos de água no solo (Tabelas 1 e 2). Estes valores podem ter sido subestimados em função das dificuldades de se coletar integralmente no campo o sistema radicular no momento do arranquio das plantas. Além disso, as radículas com sintomas de apodrecimentos tendem a se romper, permanecendo no solo.

A altura de plantas de ambas variedades cultivadas no outono/inverno (Tabela 3) não foi afetada pelas diferentes condições de compactação e umidade do solo testadas, porém a variedade FT Criatalina não atingiu a altura mínima de 60 cm compatível com a colheita mecanizada proposta por SEDIYAMA et al. (1985). Nesta época, o fotoperíodo e a temperatura são os fatores limitantes ao desenvolvimento da soja. Na época de primavera/verão, a altura de plantas de ambas cultivares testadas (Tabela 4) foi influenciada pelos graus de compactação e conteúdos de água. Além de favorecer a ocorrência da PVR (Tabela 2) conteúdos elevados de água no solo reduziram a altura de plantas. A redução não atingiu níveis prejudiciais a eficiência da colheita mecanizada, considerando os parâmetros estabelecidos por SEDIYAMA et al. (1985).

A altura de inserção da 1ª vagem da FT-Cristalina no outono/inverno não atingiu valores mínimos propostos por SEDIYAMA et al. (1985) de 10-12 cm nas diferentes condições de compactação e conteúdo de água no solo. Nesta mesma época, para

Tabela 3. Altura de plantas, altura de inserção da 1ª vagem, número de vagens/plantas, massa de 100 grãos e produtividade, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1, cultivadas sob diferentes manejos no outono/inverno 2009.

Tratamentos	Altura de plantas (cm)		Altura de inserção 1ª vagem (cm)		Número de vagens/planta		Massa 100 grãos (g)		Produtividade (kg/ha)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (TP)⁽²⁾										
C0	45,17	62,23	8,68 a ⁽¹⁾	10,14	23,11	19,05	11,35 a	16,99	1222,08 a	1533,72
C2	46,27	63,94	8,08 ab	10,17	21,04	17,34	10,50 b	16,54	1135,19 a	1598,87
C4	43,33	64,18	7,50 b	9,74	20,33	18,54	10,65 b	16,39	1024,59 b	1518,79
dms (5%)	4,83	2,54	1,13	1,36	2,83	2,55	0,54	0,77	91,73	227,05
F	1,78 ^{NS}	3,27 ^{NS}	5,14*	0,57 ^{NS}	4,91 ^{NS}	2,21 ^{NS}	13,43**	3,14 ^{NS}	21,92**	0,66 ^{NS}
Conteúdo de água (TS)										
-0,001 MPa	45,56	64,42	8,75 a	10,25 a	22,10	18,48	10,99 a	16,83 a	1277,62 a	1633,34 a
-0,01 MPa	44,75	62,70	8,55 a	11,63 a	22,18	18,99	10,56 b	15,87 b	1134,10 a	1646,73 a
-0,05 MPa	44,45	63,23	6,97 b	8,18 b	20,20	17,45	10,94 a	17,22 a	970,13 b	1371,32 b
dms (5%)	3,90	3,61	1,23	1,51	2,18	1,96	0,35	0,73	148,24	145,48
F	0,29 ^{NS}	0,78 ^{NS}	8,21**	17,24**	3,46 ^{NS}	2,09 ^{NS}	6,07**	11,92**	14,03**	14,84**
Infestação do solo (TT)										
Não infestado	44,61	63,65	7,77	10,80 a	20,93	20,03 a	10,69 b	16,25 b	1147,35	1552,06
Infestado	45,23	63,25	8,41	9,23 b	22,06	16,59 b	10,97 a	17,03 a	1107,22	1548,86
dms (5%)	2,36	2,20	0,69	0,66	1,63	1,08	0,21	0,47	90,29	94,39
F	0,28 ^{NS}	0,14 ^{NS}	3,55 ^{NS}	23,99**	2,02 ^{NS}	43,28**	7,59*	11,82**	0,85 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Teste F TP x TS	2,26 ^{NS}	0,86 ^{NS}	0,97 ^{NS}	0,39 ^{NS}	2,68 ^{NS}	1,43 ^{NS}	4,37**	0,26 ^{NS}	0,98 ^{NS}	2,06 ^{NS}
Teste F TP x TT	0,22 ^{NS}	2,01 ^{NS}	4,51*	0,60 ^{NS}	1,37 ^{NS}	1,54 ^{NS}	4,73*	0,61 ^{NS}	3,44*	0,95 ^{NS}
Teste F TS x TT	3,85*	0,76 ^{NS}	0,97 ^{NS}	4,81*	3,65*	2,09 ^{NS}	8,16**	3,14 ^{NS}	4,89*	2,86 ^{NS}
Teste F TP x TS x TT	2,12 ^{NS}	2,53 ^{NS}	6,99**	2,69 ^{NS}	1,13 ^{NS}	1,99 ^{NS}	0,86 ^{NS}	3,54*	1,50 ^{NS}	1,18 ^{NS}
F	0,21 ^{NS}	1,97 ^{NS}	0,77 ^{NS}	6,85**	0,68 ^{NS}	2,30 ^{NS}	0,22 ^{NS}	1,47 ^{NS}	1,99 ^{NS}	1,23 ^{NS}
CV TP(%)	12,14	4,52	15,73	15,41	14,87	15,74	5,60	5,20	9,19	16,53
CV TS (%)	11,78	7,73	20,63	20,46	13,78	14,50	4,39	5,53	17,85	12,74
CV TT (%)	10,86	7,18	17,71	13,55	15,70	12,14	3,98	5,80	16,56	12,59

⁽¹⁾Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽²⁾Densidade do solo nas compactações: C0 = 1,09 g cm⁻³; C2 = 1,18 g cm⁻³ e C4 = 1,25 g cm⁻³.

Tabela 4. Altura de plantas, altura de inserção da 1ª vagem, massa de 100 grãos, número de vagens/planta e produtividade, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1, cultivadas sob diferentes manejos na primavera/verão 2009/10.

Tratamentos	Altura de plantas (cm)		Altura de inserção 1ª vagem (cm)		Massa 100 grãos (g)		Número de vagens/planta		Produtividade (kg/ha)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (TP)⁽²⁾										
C0	72,50 a ⁽¹⁾	76,41 a	18,37	12,36	8,23 a	12,44 a	16,70 b	18,22	572,69 a	792,96 a
C2	68,36 ab	73,42 a	19,20	12,99	8,04 ab	11,55ab	21,32 ab	19,12	550,60 a	665,68 b
C4	66,28 b	68,02 b	18,04	11,61	7,93 ab	10,88 ab	25,54 a	20,83	538,42 a	557,79bc
C6	62,33 b	62,78 c	17,91	12,43	7,84 b	9,88 b	21,96 a	18,78	448,32 b	471,06c
dms (5%)	6,09	4,34	2,96	1,76	0,30	1,69	4,82	3,36	81,21	125,75
F	9,46**	37,51**	0,75 ^{NS}	2,01 ^{NS}	6,09*	7,93**	11,08**	2,18 ^{NS}	8,83**	23,85**
Conteúdo de água (TS)										
-0,001 MPa	61,87 b	65,31 b	20,48 a	13,97 a	7,63 b	10,72 b	18,76 b	19,32 ab	492,33 b	615,25 b
-0,01 MPa	69,37 a	72,39 a	17,36 b	11,14 b	8,04 ab	10,76 b	20,99 ab	17,11 b	467,00 b	531,00 b
-0,05 MPa	70,86 a	72,77 a	17,31 b	11,93 b	8,37 a	12,09 a	24,38 a	21,28 a	623,18 a	719,37a
dms (5%)	3,80	3,86	2,47	1,56	0,50	0,82	4,21	2,52	74,10	103,05
F	19,97**	14,81**	6,72**	10,97**	6,99**	11,20**	5,62**	8,52**	15,96**	10,46**
Infestação do solo (TT)										
Não infestado	74,24 a	73,17 a	18,92	11,69 b	8,59 a	12,01 a	18,09 b	20,90 a	505,01 b	639,58
Infestado	60,50 b	67,14 b	17,84	13,01 a	7,43 b	10,37 b	24,67 a	17,57 b	550,01 a	604,17
dms (5%)	2,13	2,08	1,62	0,81	0,25	0,45	2,07	1,59	36,08	54,05
F	171,18**	46,20**	1,83 ^{NS}	11,02**	87,26**	53,58**	41,77**	18,09**	6,40*	1,76 ^{NS}
Teste F TP x TS	9,45**	3,31**	1,15 ^{NS}	0,76 ^{NS}	1,76 ^{NS}	1,32 ^{NS}	1,78 ^{NS}	5,47**	3,96**	8,84**
Teste F TP x TT	8,54**	0,78 ^{NS}	4,24*	0,74 ^{NS}	0,98 ^{NS}	2,45 ^{NS}	4,89**	6,91**	10,89**	1,44 ^{NS}
Teste F TS x TT	6,50**	9,03**	1,03 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,54 ^{NS}	7,57**	3,67*	0,71 ^{NS}	3,52*	4,75*
Teste F TP x TS x TT	6,46**	0,96 ^{NS}	0,83 ^{NS}	1,50 ^{NS}	1,08 ^{NS}	2,32 ^{NS}	1,73 ^{NS}	1,77 ^{NS}	9,49**	2,11 ^{NS}
F	0,20 ^{NS}	4,34*	2,77 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,55 ^{NS}	0,68 ^{NS}	1,11 ^{NS}	1,88 ^{NS}	2,05 ^{NS}	0,53 ^{NS}
CV TP(%)	10,02	6,87	17,88	15,79	4,14	16,78	25,00	19,41	17,08	22,43
CV TS (%)	9,05	8,80	21,55	20,20	9,92	11,78	31,60	21,03	22,50	26,51
CV TT (%)	7,63	6,20	21,28	15,80	7,58	9,77	23,35	19,96	16,52	20,99

⁽¹⁾Médias (4 repetições) seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽²⁾Densidade do solo nas compactações: C0 = 1,20 g cm⁻³, C2= 1,34 g cm⁻³, C4 = 1,36 g cm⁻³e C6 = 1,36 g cm⁻³.

cultivar CAC-1, menores graus de compactação (C0 e C2) e menores tensões de água (-0,001 e -0,01 MPa) resultaram em altura de inserção da 1ª vagem compatível com a colheita mecanizada.

Na época de primavera/verão (Tabela 2) não foi observada influência dos graus de compactação na porcentagem de plantas mortas, o que pode ser explicado pela alta precipitação registrada no período (1053,6 mm de dezembro a abril), que interferiu na resistência à penetração (C0 = 0,71/1,24 MPa; C2 = 1,50/1,66 MPa; C4 = 1,88/1,86 MPa e C6 = 1,57/1,61 MPa, nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente). Esses valores estão abaixo do valor crítico de 2,00 MPa preconizado por TORMENA et al. (1998), a partir do qual existe interferência na produtividade. Em relação ao conteúdo de água no solo, destaca-se a influência da menor tensão de água (-0,001 MPa) na época de primavera/verão sobre a cultivar FT-Cristalina, que além de suscetível a PVR, permaneceu sob condições de solo próximo a saturação (chuvas e irrigação sempre que os tensiômetros registravam tensões próximas a -0,001 MPa) durante todo o ciclo.

Poucas vagens/planta e massa de 100 grãos abaixo dos padrões das cultivares (17 g para FT-Cristalina) resultaram na obtenção de baixas produtividades de ambas cultivares e épocas. As baixas produtividades, no geral, obtidas no outono/inverno eram esperadas em função da influência do fotoperíodo. O fator estudado que mais influenciou a produtividade foi o conteúdo de água do solo, mesmo neste outono/inverno (2009) em que foi registrado um volume de chuva acima da média histórica (177,1 mm). O índice de doença nesta época foi baixo (Tabela 1) mesmo em solo infestado, não interferindo na produtividade (Tabela 3). Na primavera/verão as produtividades foram ainda mais baixas, o que pode ser atribuído a elevadas precipitações (1053,6 mm de dezembro a abril) com a ocorrência de muitos dias nublados, níveis altos de ferrugem asiática, apesar do controle químico ter sido efetuado sempre que possível em função da intensidade das chuvas. Apesar das baixas produtividades registradas, observam-se os efeitos da compactação e do conteúdo de água no solo. Graus mais elevados de compactação (RP = 1,57 MPa) e de conteúdo de água reduziram a produtividade na primavera/verão. A condição de

encharcamento do solo resultante da alta precipitação e da irrigação nos períodos mais secos, além de reduzir a produtividade favoreceram a ocorrência da doença na primavera/verão (Tabelas 2 e 4). No outono/inverno, estação seca do ano nessa região, a irrigação foi benéfica para obtenção de maiores produtividades, entretanto, favoreceu o aumento do nível de infecção da PVR (Tabelas 1 e 3). BEUTLER & CENTURION (2004) obtiveram em um Latossolo Vermelho distrófico textura média, que valores de resistência do solo a penetração acima de 0,85 MPa já causam danos à produtividade da soja.

FARIAS NETO et al. (2006) não encontraram efeitos significativos da compactação do solo sobre o desenvolvimento de sintomas foliares da PVR, mas interfere na produtividade. Observaram que a umidade, principalmente nos estádios reprodutivos é um fator importante para os sintomas foliares da PVR, e que o inóculo posicionado perto da semente e irrigações durante os estádios reprodutivos foram pontos importantes para se obter sintomas suficientes para separar genótipos com diferentes reações a PVR.

CONCLUSÕES

As cultivares FT-Cristalina e CAC-1 apresentaram níveis de doença variáveis conforme a época de semeadura, sendo que no outono/inverno em que os índices da doença foram baixos, na cultivar CAC-1 foi observado maior número de plantas com sintomas da PVR na parte aérea, e, na primavera/verão, com índices mais elevados da doença, a cultivar FT-Cristalina apresentou maior número de plantas com sintomas.

Graus mais elevados de compactação do solo ($RP = 2,12$ MPa) favoreceram a ocorrência de maior incidência da PVR somente no outono/inverno, e exceto para a cultivar CAC-1, no outono/inverno, reduziram a produtividade de grãos.

Conteúdos mais elevados de água no solo ($-0,001$ MPa e $-0,01$ MPa), no geral, favoreceram a incidência da PVR. No outono/inverno, os maiores conteúdos de água promoveram aumento de produtividade, porém, na estação chuvosa (primavera/verão) o efeito aditivo da irrigação, que proporcionou condição de constante encharcamento do solo reduziu a produtividade.

CAPÍTULO 3. SEVERIDADE DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ DA SOJA, E O DESENVOLVIMENTO RADICULAR

RESUMO – A podridão vermelha da raiz (PVR), causada por *Fusarium tucumaniae*, tem aumentado em importância nos últimos anos. Este trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento radicular das cultivares de soja CAC-1 e FT-Cristalina, tidas como resistente e suscetível ao patógeno, respectivamente. O experimento foi instalado no campo, época outono/inverno 2009 e primavera/verão 2009/2010, com três níveis compactação do solo, para a primeira época e quatro níveis, para a segunda época, três conteúdos de água no solo e infestação do solo com o patógeno em metade das parcelas, sendo a outra metade mantida como testemunha. Os tratamentos consistiram na combinação desses fatores. Imagens do sistema radicular foram feitas em duas amostras de solo por parcela: na amostragem o trado amostrador foi posicionado a 0,20 m do eixo principal das plantas de soja, no estágio fenológico V5, sendo retiradas amostras nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. As imagens das raízes foram digitalizadas em “scanner” de leitura ótica, na resolução de 400 dpi, que forneceram a área, o diâmetro médio (mm) e o comprimento das raízes (mm) pelo software “Delta-T Scan”, para determinação da densidade do comprimento radicular. Na seqüência as amostras foram secas em estufa para determinação da massa seca das raízes (g). Houve maior desenvolvimento radicular na camada superficial (0,0-0,10 m) onde a compactação foi menor que na camada de 0,10-0,20 m. Os diferentes níveis de compactação não influenciaram no desenvolvimento de raízes de ambas cultivares testadas. Tanto na cultivar resistente quanto na suscetível à PVR, observaram-se maiores áreas, comprimentos, densidades e massas seca de raízes nas plantas inoculadas. Maiores conteúdos de água promoveram menor desenvolvimento radicular na primavera/verão, e, maior no outono/inverno.

Palavras-chave adicionais: Síndrome da morte súbita, *Fusarium tucumaniae*, *Glycine max* (L.) Merrill, diâmetro de raiz, compactação solo, conteúdo de água no solo

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a podridão vermelha da raiz da soja (PVR), causada pelo fungo de solo *Fusarium tucumaniae*, tornou-se uma doença prejudicial nas regiões brasileiras onde foi detectada.

O sintoma na raiz inicia-se com uma mancha avermelhada, mais visível na raiz principal e, geralmente, localizada de um a dois centímetros abaixo do nível do solo. Com a evolução da infecção, pode-se observar uma expansão da lesão, que passa a circundar a raiz, assumindo coloração castanho-avermelhada escura. A necrose situa-se no tecido cortical, enquanto o lenho da raiz adquire coloração castanho-clara, estendendo-se pelo tecido lenhoso da haste a vários centímetros acima do nível do solo (RUPE, 1989; WRATHER et al., 1995). Também ocorre o apodrecimento das raízes secundárias em solo úmido e necrose da base da planta (EMBRAPA, 2006). Infecção severa pode causar necrose da raiz e reduzir significativamente o comprimento, a área, volume, e massa de raiz de plantas infectadas, as quais podem ser facilmente arrancadas do solo (ORTIZ-RIBBING & EASTBURN, 2004).

O modo de penetração do fungo nas raízes ainda não foi bem esclarecido. Provavelmente, é de forma direta, isto é, a penetração ocorreria durante a germinação de clamidósporos ou de macroconídios que entram em contato com o sistema radicular das plantas (XING & WESTPHAL, 2006).

A doença é mais severa em condições de alta umidade do solo, solo compactado e temperaturas amenas. Temperaturas em torno de 15°C favorecem o desenvolvimento dos sintomas nas raízes, enquanto temperaturas entre 22°C a 24°C, além de favorecerem a ocorrência de sintomas na raiz, favorecem também o desenvolvimento de sintomas na parte aérea (SCHERM & YANG, 1996). A compactação, resultante da compressão do solo, causa alteração estrutural do solo devido à reorganização das partículas e de seus agregados, o que aumenta a densidade e resistência do solo à penetração e reduz a macroporosidade, inibindo assim o crescimento e o desenvolvimento radicular das plantas (COLLARES et al., 2006). Em consequência, ocorre redução da infiltração e da redistribuição de água no solo, redução das trocas

gasosas, disponibilidade de oxigênio na rizosfera e limitação na absorção de água e nutrientes pelas plantas (HAKANSSON & VOORHEES, 1998).

Pela razão da PVR ser causada por um fungo de solo, e pelo fato de algumas práticas culturais que propiciam elevada produtividade da soja também favorecerem a ocorrência da doença, o seu controle, inclui o uso de cultivares resistentes aliado manejo do solo. Em condições de campo, a resistência é descrita como poligênica (CHANG et al 1996; HNETKOVSKY et al., 1996). A resistência é descrita ainda como parcial, tendo em vista que, sob alta pressão de inóculo (qualquer estrutura do patógeno capaz de iniciar a doença), mesmo os genótipos resistentes muitas vezes apresentam algum sintoma típico da PVR (GÁSPERI et al., 2003; MULLER et al., 2002; NJITI et al., 1996; YORINORI, 2000a).

Este trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento radicular de plantas inoculadas e não inoculadas com *F. tucumaniae*, em experimento de campo desenvolvido em duas épocas de semeadura, onde foram testados diferentes conteúdos de água no solo e diferentes graus de compactações do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental da Fazenda Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Jaboticabal (SP), com coordenadas geográficas de 21°15'29" de latitude sul e 48°16'47" de longitude oeste de Greenwich, com altitude média de 600 m. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, com verão quente e inverno seco, precipitação média anual de 1.428 mm e temperatura média de 21 °C (CENTURION, 1998). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura argilosa, A moderado, caulínítico-oxídico (LVef) (ANDRIOLI & CENTURION, 1999). Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de terra na camada de 0 a 0,20 m para análise química e física (Apêndices 1 e 3).

Foram conduzidos experimentos, testando-se duas cultivares em duas épocas (outono/inverno de 2009 e primavera/verão de 2009/2010). Para cada cultivar (FT-Cristalina e CAC-1, suscetível e resistente a PVR, respetivamente) os tratamentos foram constituídos por quatro graus de compactação, três conteúdos de água no solo e dois níveis de infestação do solo com o patógeno.

Graus de compactação do solo: após preparo convencional do solo, aplicação e incorporação de trifluralina, a área foi irrigada por aspersão até o solo atingir umidade próxima a capacidade de campo. Com o solo nestas condições estabeleceram-se os graus de compactação, sendo C0, C2, C4 e C6 os níveis correspondentes a zero, duas, quatro e seis passadas de trator (MF 620) de 11 t com quatro pneus de 0,40 m. O grau C6 foi incluído apenas no experimento conduzido na primavera/verão 2009/10.

Conteúdos de água no solo: foram estudados os conteúdos de água, determinados através das tensões: -0,001 MPa, -0,01 MPa e -0,05 MPa. As irrigações, realizadas por aspersão, foram feitas mediante leituras diárias dos tensiômetros instalados na área experimental.

Níveis de infestação do solo: em um dos níveis de infestação, o patógeno foi introduzido no solo através de grãos de sorgo colonizados com o patógeno. No outro nível, a soja foi cultivada em solo não infestado. O inóculo para infestação do solo foi preparado através do cultivo de *F. tucumaniae*, isolado SDS-5, em grãos de sorgo autoclavados. Os erlenmeyers contendo as culturas do patógeno foram mantidos em condições ambiente, e, agitados periodicamente.

A área experimental, com os níveis de compactação já estabelecidos, foi sulcada no espaçamento de 0,45 m entrelinhas e adubada seguindo-se as recomendações para a cultura da soja. Em seguida procedeu-se a distribuição do inóculo no sulco de semeadura (dose 26 g/m, no outono/inverno e 14 g/m na primavera/verão) nos tratamentos com solo infestado e a semeadura das cultivares FT-Cristalina e CAC-1. Foi efetuado o ajuste da população de plantas para 18 plantas/m linear através do desbaste. No ensaio de primavera/verão efetuou-se uma segunda infestação do solo, no estágio V3-4 da soja [34 dias após a semeadura (DAS)], distribuindo-se o inóculo próximo ao colo das plantas, na dose de 17 g/m de linha.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 para determinação da resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Média⁽¹⁾ de resistência a penetração (MPa), densidade (g cm^{-3}), macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e porosidade total do solo nas três compactações em que foi instalado o experimento de campo (outono/inverno 2009).

Camadas (m)	Níveis de compactação			
	C0	C2	C4	F
	Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)			
0-0,10	0,15 Aa	0,11 ABa	0,08 Ba	8,68**
0,10-0,20	0,09 Ab	0,10 Aa	0,08 Aa	1,04 ^{NS}
Dms (5%)			0,0443	0,0439
F	8,98**	0,13 ^{NS}	0,00 ^{NS}	
CV (%) parcelas	23,12	CV (%) subparcelas	35,47	
	Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)			
0-0,10	0,36 Aa	0,36 Aa	0,37 Aa	0,32 ^{NS}
0,10-0,20	0,39 Aa	0,36 Aa	0,38 Aa	3,21 ^{NS}
Dms (5%)			0,0269	0,0266
F	4,40 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,97 ^{NS}	
CV (%) parcelas	3,81	CV (%) subparcelas	5,90	
	Porosidade			
0-0,10	0,51 Aa	0,41 Bb	0,45 Ba	13,72**
0,10-0,20	0,48 Ab	0,45 Aa	0,46 Aa	0,95 ^{NS}
Dms			0,0356	0,0498
F	4,59*	5,42*	0,66 ^{NS}	
CV (%) parcelas	8,37	CV (%) subparcelas	6,29	
	Densidade (g cm^{-3})			
0-0,10	1,09 Bb	1,18 Aa	1,25 Aa	12,11**
0,10-0,20	1,18 Aa	1,23 Aa	1,24 Aa	1,90 ^{NS}
Dms (5%)			0,0743	0,0859
F	7,54*	2,75 ^{NS}	0,09 ^{NS}	
CV (%) parcelas	4,92	CV (%) subparcelas	5,05	
	Resistência do solo à penetração (MPa)			
0-0,10	0,66 Ba	1,45 Aa	2,12 Aa	12,92**
0,10-0,20	1,15 Aa	1,63 Aa	1,50 Aa	1,49 ^{NS}
Dms			0,6369	0,7161
F	2,70 ^{NS}	0,36 ^{NS}	4,28 ^{NS}	
CV (%) parcelas	33,50	CV (%) subparcelas	36,51	

⁽¹⁾Média de 6 repetições por compactação e por camada de profundidade. Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Tabela 2. Média⁽¹⁾ de resistência a penetração (MPa), densidade (g cm⁻³), macroporosidade (cm³ cm⁻³), microporosidade (cm³ cm⁻³) e porosidade total do solo nas quatro compactações em que foi instalado o experimento de campo (primavera/verão 2009/2010).

Camadas (m)	Níveis de compactação				
	C0	C2	C4	C6	F
	Macroporosidade (cm ³ cm ⁻³)				
0-0,10	0,142 Aa	0,077 Ba	0,059 Cb	0,0151 Db	181,59**
0,10-0,20	0,079 ABb	0,066 Ba	0,076 Ba	0,0918 Aa	7,24**
Dms (5%)				0,0144	0,0151
F	84,52**	2,24 ^{NS}	6,03*	122,74**	
CV (%) parcelas	8,36		CV (%) subparcelas	15,84	
	Microporosidade (cm ³ cm ⁻³)				
0-0,10	0,39 Bb	0,42 Aa	0,42 Aa	0,42 Aa	28,52**
0,10-0,20	0,42 Aa	0,41 ABa	0,40 Cb	0,41 BCb	8,68**
Dms (5%)				0,0113	0,0078
F	70,69**	2,19 ^{NS}	29,93**	19,46**	
CV (%) parcelas	1,90		CV (%) subparcelas	1,57	
	Porosidade				
0-0,10	0,48 Aa	0,42 Cb	0,48 ABa	0,44 BCb	9,05**
0,10-0,20	0,50 Aa	0,48 Aa	0,48 Aa	0,50 Aa	1,19 ^{NS}
Dms				0,0333	0,0411
F	0,79 ^{NS}	14,17**	0,08 ^{NS}	12,63**	
CV (%) parcelas	5,28		CV (%) subparcelas	5,87	
	Densidade (g cm ⁻³)				
0-0,10	1,20 Bb	1,34 Aa	1,36 Aa	1,36 Aa	68,76**
0,10-0,20	1,32 Ba	1,37 Aa	1,37 Aa	1,33 Ba	7,84**
Dms (5%)				0,0319	0,0352
F	60,16**	3,68 ^{NS}	0,40 ^{NS}	3,17 ^{NS}	
CV (%) parcelas	1,34		CV (%) subparcelas	1,99	
	Resistência do solo à penetração (MPa)				
0-0,10	0,71 Bb	1,50 Aa	1,88 Aa	1,57 Aa	18,36**
0,10-0,20	1,24 Ba	1,66 ABa	1,86 Aa	1,61 ABa	4,88**
Dms				0,2530	0,4542
F	19,53**	0,93 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,54 ^{NS}	
CV (%) parcelas	23,01		CV (%) subparcelas	13,98	

⁽¹⁾Média de 6 repetições por compactação e por camada de profundidade. Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

No estádio V5 coletaram-se duas amostras de terra por parcela, utilizando-se trado amostrador descrito por FUJIWARA et al. (1994), distanciadas de 0,20 m do eixo principal das plantas de soja, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. As raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente, utilizando-se peneira de 0,005 m, e conservadas em recipiente plástico contendo álcool 70%. As imagens das raízes foram digitalizadas em “scanner” de leitura ótica, na resolução de 400 dpi, que forneceram a área, o diâmetro médio (mm) e o comprimento das raízes (mm) pelo software “Delta-T Scan”, para determinação da densidade do comprimento radicular. Na seqüência as amostras foram secas em estufa com temperatura ajustada para 65°C (\pm 2°C) até massa constante, para determinação da massa seca das raízes (g).

O delineamento experimental foi de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída de quatro linhas de 4,0 m, espaçadas em 0,45 m. Considerou-se como área útil as duas linhas centrais, descartados 0,5 m de cada extremidade. Estabeleceu-se como tratamento principal (TP) a compactação (três graus de compactação para outono/inverno e quatro graus para primavera/verão), como subparcela (tratamento secundário TS) a irrigação ($I_0 = -0,001$ MPa, $I_1 = -0,01$ MPa e $I_2 = -0,05$ MPa) e subsubparcela (tratamento ternário TT) a infestação do solo com o patógeno (I_{in}) ou a não infestação (I_n). Foi conduzido um experimento com a cultivar tida como resistente, CAC-1, e um com a suscetível, FT-Cristalina, em duas épocas, outono/inverno 2009 e primavera/verão 2009/10. Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software AGROESTAT (BARBOSA & MALDONADO, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 3, 4, 5 e 6 são apresentados os resultados das leituras de área, diâmetro e comprimento radicular, e também estão apresentadas massa seca de raiz e calculadas as densidades de comprimento radicular e de massa seca de raiz, coletadas

nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, no outono/inverno 2009 e na primavera/verão 2009/10.

Os diferentes níveis de compactação não influenciaram no desenvolvimento de raízes de ambas cultivares testadas, tanto nas profundidades de 0,0-0,10 m como de 0,10-0,20 m, na primavera/verão (Tabelas 5 e 6), mas vale ressaltar que pelos valores obtidos, as raízes se desenvolveram mais na camada superior (0,0-0,10 m), nas duas épocas testadas (Tabelas 3 e 5). Em uma distribuição normal das raízes de soja, 60-70% das raízes se concentram na camada de 0-10/15 cm. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por BEUTLER & CENTURION (2004), e FREDDI et al. (2009) que verificaram em estudo de compactação do solo e desenvolvimento radicular da soja, que na camada de 0,0-0,05 m, o solo estava visualmente menos compactado, com maior concentração de raízes finas nessa camada com o aumento da resistência a penetração. QUEIROZ-VOLTAN et al. (2000), verificaram que a densidade de raízes de soja (cv. IAC-14) não diferiu com o aumento da compactação, e a massa de matéria seca das raízes aumentou inicialmente e posteriormente diminuiu com o aumento da compactação do solo, na camada de 0,0–0,20 m. Esse mesmo comportamento foi verificado por MORAES et al. (1995). Estes resultados indicam que o desenvolvimento de raízes em solos compactados deve ser estudado por camadas, no sentido de avaliar a sua distribuição no perfil de solo. De acordo com BASSOI et al. (1994) a maior concentração de raízes na superfície e a menor exploração do solo em profundidade prejudicam a absorção de água, pois normalmente raízes mais profundas podem retirar água com maior facilidade do que aquelas próximas à superfície do solo, devido ao fato de serem mais jovens, menos comprimidas e, frequentemente, localizadas em solo mais úmido. BARBIERI et al. (1985), mencionam que a compactação do solo não se apresenta de forma contínua ao longo de grandes extensões e que, em solos compactados, as raízes se desenvolvem através dos planos verticais de fraqueza.

Maior área, comprimento e densidade de comprimento radicular foram obtidos no outono/inverno 2009, na variedade CAC-1, na camada de 0,0-0,10 m, no solo com menor compactação (C0) (Tabela 3). O diâmetro de raízes e massa seca, também diferiram significativamente nos diferentes graus de compactação do solo, tendo sido

obtido maior diâmetro e massa seca radicular no maior nível de compactação do solo (C4 = 1,25g cm⁻³/ 2,12 MPa / 0,08 m³ m⁻³), que diferiu significativamente da menor compactação (C0 = 1,09g m⁻³/ 0,66 MPa / 0,15 m³ m⁻³) (Tabela 3). Estes resultados corroboram aos obtidos por FREDDI et al. (2009), que relataram que com a compactação do solo, houve aumento da massa seca das raízes, da densidade do comprimento radicular e do diâmetro radicular; na profundidade de 0,0 -0,10 m. Segundo esses autores, o aumento da massa seca e da densidade radicular ocorre até a resistência do solo à penetração de 1,23 MPa e 1,43 MPa, respectivamente.

Segundo FREDDI (2007), as raízes de milho apresentaram maior superfície, densidade e diâmetro radicular, assim como o aumento da massa seca, com a elevação da resistência mecânica à penetração do solo, restringindo também o crescimento radicular em profundidade. O diâmetro radicular foi o único parâmetro que refletiu as condições adversas impostas pela compactação do solo, resultando em menor produtividade da cultura do milho. GUIMARÃES et al. (2002) verificaram que o diâmetro médio das raízes de feijão aumentou na camada compactada. Segundo MATERECHERA et al. (1992), isso ocorre em decorrência da proliferação de raízes finas laterais, causada pela inibição do alongamento na região apical das raízes, e não da diminuição propriamente dita do diâmetro das raízes, ou seja, a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada por provocar modificações morfológicas e fisiológicas, específicas a cada espécie ou cultivar, a fim de se adaptarem.

Os conteúdos de água influenciaram a área, o comprimento e a densidade de comprimento radicular na profundidade de 0,0-0,10 m da cultivar FT-Cristalina, cultivada na primavera/verão, tendo os menores conteúdos de água, promovido maiores desenvolvimentos radiculares (Tabela 5). Também houve influência no desenvolvimento das raízes na profundidade de 0,10-0,20 m, para a cultivar CAC-1, que apresentou comprimento e densidade de comprimento de raízes estatisticamente superiores, no conteúdo de água intermediário e no maior (Tabela 6). No outono/inverno, CAC-1 a 0,0-0,10 , o conteúdo de água na tensão -0,01 MPa, também foi o que proporcionou o maior desenvolvimento de área, diâmetro, comprimento e densidade de comprimento

radicular. A mesma tendência foi observada para FT-Cristalina (Tabela 3). Na profundidade de 0,10-0,20 m os conteúdos de água influenciaram massa seca, principalmente da cultivar CAC-1, tendo maior valor, no menor conteúdo de água (Tabela 4). BEUTLER & CENTURION (2003) obtiveram produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e de grãos maior na tensão de -0,01 MPa, comparado a -0,05 MPa. TARDIEU (1994) e UNGER & KASPAR (1994) também verificaram que num mesmo nível de resistência à penetração os efeitos da resistência são menos pronunciados quando há maior conteúdo de água.

O regime hídrico foi atípico tanto no outono/inverno de 2009, como na primavera/verão de 2009/10 (Apêndice 2A e 4A), e, apesar de ter sido registrado um volume de chuva de 117 mm, maior do que nos períodos de outono/inverno de anos anteriores, os maiores conteúdos de água no solo favoreceram o desenvolvimento radicular. Na primavera/verão os maiores conteúdos de água no solo foram prejudiciais ao desenvolvimento das raízes, devido ao constante encharcamento em que o solo foi mantido em virtude das altas precipitações e das irrigações efetuadas quando os tensiômetros registravam tensões maiores do que -0,001 ou -0,01 MPa.

Observa-se aumento em área e diâmetro radiculares da cultivar FT-Cristalina a 0,0-0,10 m (camada onde se encontra maior parte das raízes), quando se efetuou a inoculação com *F. tucumaniae* (Tabela 5). Na profundidade de 0,10-0,20 m, observa-se maior desenvolvimento do sistema radicular nas plantas inoculadas da variedade suscetível a doença, FT-Cristalina (Tabela 6). A mesma tendência foi observada para o desenvolvimento radicular e massa seca de raiz de plantas inoculadas no outono/inverno, para ambas as cultivares estudadas (Tabela 3). Houve uma inversão de tendência para a cultivar FT-Cristalina na profundidade de 0,10-0,20 m, obtendo menor área, comprimento e densidade de comprimento as parcelas infestadas com o patógeno (Tabela 4). No trabalho de ORTIZ & EASTBURN (2004) infecção severa pode causar necrose na raiz e reduzir significativamente o comprimento, a área, volume e a massa em plantas infectadas, as quais podem ser facilmente arrancadas. No presente trabalho a severidade de podridões radiculares foi baixa, obtendo-se como maior valor

a nota de 1,54, numa escala de 1 a 3 (FRANCO et al., 2007), para plantas de FT-Cristalina, onde o solo foi infestado com o patógeno.

Tanto na cultivar resistente quanto na suscetível à PVR, observaram-se maiores áreas, comprimentos, densidades e massas seca de raízes nas plantas inoculadas. Estes resultados podem estar relacionados a podridões não detectadas na avaliação da severidade dos sintomas radiculares, que levaram a planta a emitir numerosas raízes, na tentativa de sobreviver em condições ambientes adversas (presença do patógeno). A emissão de raízes adventícias em soja foi observada por várias vezes em ensaios de casa de vegetação, quando se efetuou inoculação de *F. tucumaniae* e *Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*, através do método de palito de dente colonizados pelos patógenos. Essa característica da planta de soja de tentar sobreviver em condições adversas também foi observada por NOGUEIRA & MANFREDINI (1983) em que plantas de soja tentaram suprir o menor desenvolvimento radicular na camada compactada, aumentando o desenvolvimento radicular nas regiões superior e inferior menos compactadas, de forma a compensar os efeitos supressivos da compactação, na cultivar Santa Rosa e por ROSOLEM et al. (1994) na cultivar Primavera, em experimentos realizados em vasos.

A não detecção dos sintomas radiculares pode ocorrer em função da fragilidade e delicadeza das radículas (principalmente das necrosadas por podridões) durante a coleta das plantas para este tipo de avaliação.

Segundo BENNIE (1996), é difícil generalizar resultados da literatura, visto que a influência da compactação do solo sobre o crescimento radicular decorre de uma série de fatores, que dependem das características genéticas das plantas, das condições ambientais (precipitações) e do estágio de desenvolvimento do vegetal.

Tabela 3. Área (mm²), diâmetro (mm), comprimento (cm), densidade de comprimento (cm/cm³) e massa seca (mg) de raízes⁽¹⁾ coletadas na profundidade de 0-10 cm, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas no campo sob diferentes manejos no outono/inverno 2009.

Tratamentos	Área (mm ²)		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade (cm/cm ³)		Massa seca (mg)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (TP)										
C0⁽³⁾	614,56	715,67 a ⁽²⁾	0,28	0,29 b	217,75	242,57 a	0,49	0,54 a	35,95	37,14 b
C2	723,45	581,12 b	0,30	0,30 ab	237,56	186,46 b	0,53	0,42 b	47,07	31,20 c
C4	575,11	690,27 ab	0,32	0,33 a	182,73	208,36 ab	0,41	0,47 ab	39,17	45,25 a
Dms (5%)	251,68	122,70	0,04	0,04	82,01	49,40	0,18	0,11	14,86	5,61
F	1,75 ^{NS}	6,39*	3,99 ^{NS}	6,47*	2,16 ^{NS}	6,17*	2,16 ^{NS}	6,17*	2,79 ^{NS}	29,81**
Conteúdo de água (TS)										
-0,001 MPa	686,24 ab	608,10 ab	0,31 ab	0,32 a	218,58	186,80	0,49	0,41	40,72	32,84
-0,01 MPa	716,45 a	850,60 a	0,31 a	0,33 a	227,60	254,27	0,51	0,57	37,58	38,59
-0,05 MPa	510,43 b	528,37 b	0,28 b	0,28 b	191,86	196,31	0,43	0,44	43,89	42,15
Dms (5%)	187,70	303,14	0,04	0,03	55,71	81,22	0,12	0,18	14,26	12,12
F	4,58*	3,99*	4,87*	10,65**	1,45 ^{NS}	2,63 ^{NS}	1,45 ^{NS}	2,63 ^{NS}	0,64 ^{NS}	1,96 ^{NS}
Infestação do solo (TT)										
Não infestado	562,74	377,81 b	0,31	0,31	182,37 b	118,45 b	0,41 b	0,26 b	34,63 b	19,81 b
Infestado	712,67	946,89 a	0,29	0,30	242,99 a	306,48 a	0,54 a	0,68 a	46,83 a	55,92 a
Dms (5%)	151,43	149,50	0,02	0,02	44,12	37,47	0,09	0,83	9,92	6,33
F	4,13 ^{NS}	61,00**	3,61 ^{NS}	1,07 ^{NS}	7,95**	106,02**	7,95**	106,02**	6,37*	137,03**
Teste F TP x TS	0,88 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,84 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,39 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,95	1,46 ^{NS}
Teste F TP x TT	8,00**	0,11 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,22 ^{NS}	9,42**	0,28 ^{NS}	9,42**	0,28 ^{NS}	5,15*	2,13 ^{NS}
Teste F TS x TT	2,06 ^{NS}	2,30 ^{NS}	4,05*	1,42 ^{NS}	2,76 ^{NS}	3,53*	2,76 ^{NS}	3,53*	1,40 ^{NS}	2,14 ^{NS}
Teste F TP x TS x TT	3,48*	2,07 ^{NS}	1,11 ^{NS}	0,52 ^{NS}	3,91*	3,23*	3,91*	3,23*	1,94 ^{NS}	2,92*
F	0,56 ^{NS}	7,64*	0,52 ^{NS}	1,25 ^{NS}	0,70 ^{NS}	2,36 ^{NS}	0,70 ^{NS}	2,36 ^{NS}	0,61 ^{NS}	4,08 ^{NS}
CV TP (%)	44,56	20,91	14,26	13,95	43,54	26,25	43,54	26,25	41,20	16,71
CV TS (%)	39,95	62,12	15,78	13,72	35,56	51,89	35,56	51,89	47,52	43,43
CV TT (%)	49,10	46,67	14,08	15,04	42,89	36,47	42,89	36,47	50,36	34,57

⁽¹⁾ Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras indeformadas de raízes retiradas de cada parcela próxima a planta de soja com trado de volume = 448,31 mL.

⁽²⁾ Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽³⁾ Densidade do solo nas compactações: C0 = 1,09 g cm⁻³; C2 = 1,18 g cm⁻³ e C4 = 1,25 g cm⁻³. Resistência a penetração: C0 = 0,66 MPa, C2 = 1,45 MPa e C4 = 2,12 MPa.

Tabela 4. Área (mm²), diâmetro (mm), comprimento (cm), densidade de comprimento (cm/cm³) e massa seca (mg) de raízes⁽¹⁾ coletadas na profundidade de 10-20 cm, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas no campo sob diferentes manejos no outono/inverno 2009.

Tratamentos	Área (mm ²)		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade (cm/cm ³)		Massa seca (mg)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (TP)										
C0 ⁽³⁾	301,07	449,61	0,32	0,34	92,15 b	135,19	0,21 b	3,02	18,19	24,37
C2	377,56	465,75	0,32	0,34	119,79 a	140,22	0,27 a	3,13	23,09	29,54
C4	344,72	399,19	0,30	0,32	113,74 ab	122,45	0,25 ab	2,73	21,36	25,25
Dms (5%)	121,29	201,19	0,06	0,04	256,65	52,23	0,06	0,97	9,83	14,59
F	1,88 ^{NS}	0,56 ^{NS}	0,63 ^{NS}	1,17 ^{NS}	6,04*	0,58 ^{NS}	6,04*	0,51 ^{NS}	1,21 ^{NS}	0,68 ^{NS}
Conteúdo de água (TS)										
-0,001 MPa	370,38	380,34	0,34 a ⁽²⁾	0,34	107,88	109,57	0,24	2,44 b	20,83	17,62 b
-0,01 MPa	370,42	439,30	0,30 b	0,35	122,30	130,02	0,27	2,90 ab	21,90	21,62 b
-0,05 MPa	282,55	494,92	0,29 b	0,31	95,50	158,28	0,21	3,53a	19,92	39,93 a
Dms (5%)	135,19	171,92	0,03	0,05	40,98	51,85	0,09	0,97	9,82	13,95
F	1,83 ^{NS}	1,45 ^{NS}	6,25**	3,52 ^{NS}	1,40 ^{NS}	2,90*	1,40 ^{NS}	3,66*	0,13 ^{NS}	9,47**
Infestação do solo (TT)										
Não infestado	391,56 a	370,83 b	0,31	0,35 a	121,37 a	104,89 b	0,27 a	2,34 b	22,67	21,25 b
Infestado	290,67 b	505,54 a	0,31	0,31 b	95,74 b	160,35 a	0,21 b	3,58 a	19,09	31,53 a
Dms (5%)	79,84	91,78	0,02	0,03	22,94	27,90	0,051	0,66	6,00	7,60
F	6,72*	9,07**	0,28 ^{NS}	8,75**	5,25*	16,64**	5,25*	16,64**	1,49 ^{NS}	7,71**
Teste F TP x TS	0,55 ^{NS}	6,49**	1,02 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,55 ^{NS}	6,38**	0,55 ^{NS}	6,38**	0,24 ^{NS}	1,27 ^{NS}
Teste F TP x TT	1,72 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,41 ^{NS}	1,92 ^{NS}	0,50 ^{NS}	1,92 ^{NS}	0,50 ^{NS}	1,21 ^{NS}	2,12 ^{NS}
Teste F TS x TT	6,52**	0,02 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,46 ^{NS}	9,15**	0,06 ^{NS}	9,15**	0,06 ^{NS}	2,78 ^{NS}	1,42 ^{NS}
Teste F TP x TS x TT	0,31 ^{NS}	1,96 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,92 ^{NS}	1,83 ^{NS}	0,92 ^{NS}	1,83 ^{NS}	0,30 ^{NS}	1,43 ^{NS}
F	1,30 ^{NS}	3,94 ^{NS}	0,74 ^{NS}	2,41 ^{NS}	1,94 ^{NS}	3,88 ^{NS}	1,94 ^{NS}	3,88 ^{NS}	1,86 ^{NS}	3,13 ^{NS}
CV TP (%)	40,15	51,86	22,70	14,53	26,69	44,47	26,69	44,47	53,14	62,46
CV TS (%)	53,79	53,25	15,10	18,61	51,23	53,07	51,23	53,07	63,80	71,73
CV TT (%)	48,40	43,31	15,58	16,21	43,69	43,49	43,69	43,49	59,45	59,55

⁽¹⁾ Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras indeformadas de raízes retiradas de cada parcela próxima a planta de soja com trado de volume = 448,31 mL.

⁽²⁾ Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽³⁾ Densidade do solo nas compactações: C0 = 1,18 g cm⁻³; C2 = 1,23 g cm⁻³ e C4 = 1,24 g cm⁻³. Resistência a penetração: C0 = 1,15 MPa, C2 = 1,63 MPa e C4 = 1,50 MPa.

Tabela 5. Área (mm²), diâmetro (mm), comprimento (cm), densidade de comprimento (cm/cm³), massa seca (mg) e densidade de massa seca (mg/cm³) de raízes⁽¹⁾ coletadas na profundidade de 0-10 cm, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas no campo sob diferentes manejos na primavera/verão 2009/10.

Tratamentos	Área (mm ²)		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade de comprimento radicular (cm/cm ³)		Massa seca (mg)		Densidade de massa seca de raiz (mg/cm ³)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (TP)												
C0 ⁽²⁾	949,18	964,04	0,39	0,36	229,11	268,02	0,51	0,60	54,64	43,83	0,12	0,10
C2	883,25	1013,20	0,40	0,38	214,60	265,73	0,48	0,59	43,01	50,07	0,10	0,11
C4	675,20	969,46	0,38	0,38	179,96	249,99	0,40	0,56	32,39	46,43	0,07	0,10
C6	794,27	950,59	0,40	0,36	197,68	258,58	0,44	0,58	38,18	44,05	0,09	0,10
Dms (5%)	443,53	319,71	0,07	0,04	60,81	81,20	1,37	0,18	57,39	16,89	0,13	0,04
F	1,39 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,29 ^{NS}	1,82 ^{NS}	2,38 ^{NS}	0,20 ^{NS}	2,38 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,58 ^{NS}
Conteúdo de água (TS)												
-0,001 MPa	621,61 b	941,12	0,40	0,37	157,75 b	248,18	0,35 b	0,55	31,60	47,19	0,07	0,11
-0,01 MPa	854,91 ab	1095,30	0,39	0,38	206,53 ab	290,32	0,46 ab	0,65	46,58	49,18	0,10	0,11
-0,05 MPa	999,90 a	886,55	0,39	0,36	251,74 a	243,24	0,56 a	0,54	47,98	41,92	0,11	0,09
Dms (5%)	308,65	269,10	0,04	0,04	57,62	59,02	1,29	0,13	34,23	18,49	0,08	0,04
F	4,77*	2,02 ^{NS}	0,50 ^{NS}	1,01 ^{NS}	8,30**	2,40 ^{NS}	8,30**	2,40 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,51 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,51 ^{NS}
Infestação do solo (TT)												
Não infestado	667,10 b	966,38	0,34 b	0,36	195,21	263,76	0,44	0,59	34,27	49,55	0,08	0,11
Infestado	983,85 a	982,26	0,44 a	0,38	215,46	257,40	0,48	0,57	49,84	42,64	0,11	0,10
Dms (5%)	179,53	174,50	0,03	0,02	32,75	36,55	0,73	0,08	22,21	11,34	0,05	0,03
F	12,80**	0,03 ^{NS}	50,99**	2,94 ^{NS}	1,57 ^{NS}	0,12 ^{NS}	1,57 ^{NS}	0,12 ^{NS}	2,02 ^{NS}	1,53 ^{NS}	2,02 ^{NS}	1,53 ^{NS}
Teste F TP x TS	1,57 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,95 ^{NS}	1,41 ^{NS}	2,65*	0,56 ^{NS}	2,65*	0,59 ^{NS}	1,15 ^{NS}	0,31 ^{NS}	1,15 ^{NS}	0,31 ^{NS}
Teste F TP x TT	2,73 ^{NS}	0,51 ^{NS}	0,51 ^{NS}	2,34 ^{NS}	2,99*	0,86 ^{NS}	2,99*	0,86 ^{NS}	1,25 ^{NS}	1,79 ^{NS}	1,25 ^{NS}	1,79 ^{NS}
Teste F TS x TT	5,81**	1,26 ^{NS}	1,99 ^{NS}	4,82*	7,45**	0,98 ^{NS}	7,45**	0,98 ^{NS}	2,70 ^{NS}	1,93 ^{NS}	2,70 ^{NS}	1,93 ^{NS}
Teste F TP x TS x TT	0,58 ^{NS}	1,19 ^{NS}	1,13 ^{NS}	1,03 ^{NS}	0,37 ^{NS}	1,45 ^{NS}	0,37 ^{NS}	1,45 ^{NS}	0,63 ^{NS}	1,29 ^{NS}	0,63 ^{NS}	1,29 ^{NS}
F	1,27 ^{NS}	1,69 ^{NS}	0,28 ^{NS}	4,23*	3,21 ^{NS}	1,24 ^{NS}	3,21 ^{NS}	1,24 ^{NS}	0,88 ^{NS}	3,88*	0,88 ^{NS}	3,88*
CV TP (%)	59,62	36,41	20,04	11,18	32,86	34,58	32,86	34,58	151,43	40,65	151,43	40,65
CV TS (%)	59,89	44,24	15,57	16,38	44,95	36,28	44,95	36,28	130,38	64,21	130,38	64,21
CV TT (%)	52,53	43,26	17,53	15,31	38,53	33,88	38,53	33,88	127,54	59,42	127,54	59,42

⁽¹⁾ Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras indeformadas de raízes retiradas de cada parcela próxima a planta de soja com trado de volume=448,31ml.

⁽²⁾ Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade⁽³⁾. Densidade do solo nas compactações: C0 = 1,20 g cm⁻³, C2 = 1,34 g cm⁻³, C4 = 1,36 g cm⁻³ e C6 = 1,36 g cm⁻³; Resistência a penetração: C0 = 0,71MPa, C2 = 1,50 MPa, C4 = 1,88 MPa e C6 = 1,57 MPa.

Tabela 6. Área (mm²), diâmetro (mm), comprimento (cm), densidade de comprimento (cm/cm³), massa seca (mg) e densidade de massa seca (mg/cm³) de raízes⁽¹⁾ coletadas na profundidade de 10-20 cm, das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas no campo sob diferentes manejos na primavera/verão 2009/10.

Tratamentos	Área (mm ²)		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade de comprimento radicular (cm/cm ³)		Massa seca (mg)		Densidade de massa seca de raiz (mg/cm ³)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (TP)												
C0 ⁽³⁾	604,15	535,04	0,37	0,34 b	156,62	159,81	0,35	0,36	26,43 b	25,86	0,06 b	0,06
C2	631,24	548,97	0,40	0,35 ab	148,03	156,95	0,33	0,35	31,27 b	27,33	0,07 b	0,06
C4	531,31	756,51	0,40	0,39 a	126,18	190,49	0,28	0,42	34,29 b	45,10	0,08 b	0,10
C6	769,64	627,07	0,42	0,37 ab	175,20	169,37	0,39	0,38	55,86 a	34,71	0,12 a	0,08
Dms (5%)	263,93	301,12	0,05	0,05	53,28	61,99	0,12	0,14	20,79	27,85	0,05	0,06
F	2,7 ^{NS}	2,21 ^{NS}	3,21 ^{NS}	4,09*	2,84 ^{NS}	1,17 ^{NS}	2,84 ^{NS}	1,17 ^{NS}	7,63**	1,94 ^{NS}	7,63**	1,94 ^{NS}
Conteúdo de água (TS)												
-0,001 MPa	673,22	591,09	0,41	0,35	157,88	164,34 ab	0,35	0,37 ab	48,16	30,47	0,11	0,07
-0,01 MPa	531,81	703,22	0,38	0,36	136,35	195,30 a	0,30	0,44 a	27,13	36,61	0,06	0,08
-0,05 MPa	697,23	556,38	0,41	0,38	160,29	147,82 b	0,36	0,33 b	35,59	32,67	0,08	0,07
Dms (5%)	240,34	184,74	0,05	0,03	44,04	44,54	0,10	0,10	28,45	13,77	0,06	0,03
F	1,7 ^{NS}	2,15 ^{NS}	1,66 ^{NS}	2,77 ^{NS}	1,12 ^{NS}	3,65*	1,12 ^{NS}	3,65*	1,73 ^{NS}	0,64 ^{NS}	1,73 ^{NS}	0,64 ^{NS}
Infestação do solo(TT)												
Não infestado	516,06 b	625,63	0,38 b	0,35	132,04 b	173,96	0,29 b	0,39	32,18	36,16	0,07	0,08
Infestado	752,11 a	608,16	0,42 a	0,37	170,97 a	164,35	0,38 a	0,37	41,75	30,34	0,09	0,07
Dms (5%)	159,50	120,32	0,03	0,03	29,73	29,55	0,07	0,07	20,48	11,37	0,05	0,03
F	9,01**	0,09 ^{NS}	10,23**	2,42 ^{NS}	7,06*	0,43 ^{NS}	7,06*	0,43 ^{NS}	0,90 ^{NS}	1,08 ^{NS}	0,90 ^{NS}	1,08 ^{NS}
Teste F TP x TS	1,43 ^{NS}	0,98 ^{NS}	1,73 ^{NS}	0,34 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,89 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,78 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,78 ^{NS}
Teste F TP x TT	0,25 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,84 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,10 ^{NS}	1,15 ^{NS}	0,10 ^{NS}	1,15 ^{NS}
Teste F TS x TT	0,50 ^{NS}	0,44 ^{NS}	3,98*	0,46 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,98 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,98 ^{NS}	0,49 ^{NS}	1,10 ^{NS}	0,49 ^{NS}	1,10 ^{NS}
Teste F TP x TS x TT	0,54 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,33 ^{NS}
F	0,89 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,47 ^{NS}	1,56 ^{NS}	1,74 ^{NS}	0,47 ^{NS}	1,74 ^{NS}	0,47 ^{NS}	1,29 ^{NS}	0,88 ^{NS}	1,29 ^{NS}	0,88 ^{NS}
CV TP (%)	46,19	54,16	13,73	15,95	39,02	40,66	39,02	40,66	62,42	92,95	62,42	92,95
CV TS (%)	60,71	47,97	18,28	13,98	46,56	42,18	46,56	42,18	123,30	66,33	123,30	66,33
CV TT (%)	60,76	47,11	18,93	20,59	47,40	42,20	47,40	42,20	133,87	82,59	133,87	82,59

⁽¹⁾ Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras indeformadas de raízes retiradas de cada parcela próxima a planta de soja com trado de volume=448,31ml.

⁽²⁾ Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽³⁾ Densidade do solo nas compactações: C0 = 1,32 g cm⁻³, C2= 1,37 g cm⁻³, C4 = 1,37g cm⁻³ e C6 = 1,33 g cm⁻³. Resistência a penetração: C0 = 1,24 MPa, C2= 1,66 MPa, C4 = 1,86 MPa e C6 = 1,61 MPa.

CONCLUSÕES

Tanto na cultivar de soja resistente quanto na suscetível à PVR, observaram-se maiores áreas, comprimentos, densidades e massas seca de raízes nas plantas inoculadas com *Fusarium tucumaniae*.

Os diferentes níveis de compactação não influenciaram no desenvolvimento de raízes de ambas cultivares testadas, tanto nas profundidades de 0,0-0,10 m como de 0,10-0,20 m, na primavera/verão. As raízes se desenvolveram mais na camada superior (0,0-0,10 m), onde a compactação foi menor, nas duas épocas de estudo.

Os conteúdos de água influenciaram de forma diferente o desenvolvimento radicular nas duas épocas de cultivo, sendo que maiores conteúdos de água promoveram menor desenvolvimento radicular na primavera/verão, e, maiores conteúdos de água foram benéficos ao desenvolvimento radicular no outono/inverno.

CAPÍTULO 4. SEVERIDADE DA PODRIDÃO VERMELHA DA RAIZ DA SOJA CULTIVADA EM CASA DE VEGETAÇÃO SOB DIFERENTES MANEJOS

RESUMO - Objetivou-se verificar se a época de semeadura, o grau de compactação do solo (quatro graus com as seguintes densidades: C0=0,916/1,152; C2=1,013/1,244; C4=1,122/1,245 e C6=1,281/1,200 g cm⁻³, na primavera/verão 2009/10 e no outono/inverno 2010, respectivamente) e o conteúdo de água no solo (três conteúdos: nas tensões de -0,001, -0,01 e -0,05 MPa) influenciam no comportamento de duas cultivares de soja (CAC-1, classificada como resistente e FT-Cristalina, como suscetível), em relação a severidade da podridão vermelha da raiz (PVR), em experimentos instalados em casa de vegetação. Na primavera/verão 2009/10, não foram observadas diferenças estatísticas significativas para severidade dos sintomas nas raízes e na parte aérea das plantas das cultivares CAC-1 e FT-Cristalina, submetidas à diferentes condições de cultivo. Em ambas cultivares, nas menores tensões de água, o número de vagens foi maior. Foram observados, na cultivar CAC-1, nas compactações C4 e C6, menores valores de área, diâmetro, comprimento e densidade de raízes. No outono/inverno observaram-se diferenças estatísticas significativas para severidade dos sintomas nas raízes e na parte aérea das plantas da cultivar CAC-1 e FT-Cristalina, submetidas à diferentes condições de cultivo para plantas inoculadas. A cultivar FT-Cristalina e CAC-1 foram influenciadas pelo conteúdo de água no solo, sendo que nas menores tensões de água observaram-se maiores severidades dos sintomas na parte aérea. A inoculação com *F. tucumaniae* promoveu redução do desenvolvimento do sistema radicular, principalmente na cultivar suscetível FT-Cristalina, nas duas épocas.

Palavras-chave: Síndrome da morte súbita, Podridão vermelha da raiz, *Fusarium tucumaniae*, *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, *Glycine max* (L.) Merrill.

INTRODUÇÃO

A podridão vermelha da raiz da soja (PVR) é uma das doenças mais preocupantes dentre as que ocorrem na cultura da soja no Brasil devido, principalmente, à sua dificuldade de controle. A doença é causada por um fungo de solo, *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, que hoje, no Brasil, é denominado como *Fusarium tucumaniae* (EMBRAPA, 2006), e foi observada pela primeira vez no nosso país na safra 1981/82 em São Gotardo - MG (YORINORI et al., 1993). Esta doença tem apresentado crescente aumento em área e severidade desde sua constatação (EMBRAPA, 2006).

O sintoma de infecção na raiz inicia-se com uma mancha avermelhada, mais visível na raiz principal e geralmente localizada um a dois centímetros abaixo do nível do solo. A lesão se expande, circundando a raiz que passa a apresentar coloração castanho avermelhada escura. A necrose situa-se no tecido cortical, estendendo-se pelo tecido lenhoso da haste a vários centímetros acima do nível do solo. A interferência no sistema de absorção e de translocação da água e sais minerais induz à formação do sintoma foliar típico de “folha carijó”, com manchas cloróticas e necróticas internervais (EMBRAPA, 2006). A doença é mais severa em baixas temperaturas e alta umidade (SCHERM & YANG, 1996).

Informações disponíveis até o momento indicam que, com exceção de cultivares resistentes, nenhuma prática agrônômica tem sido adequada para reduzir o impacto da doença. A rotação de cultura com o milho ou a cobertura com milheto não controlam a doença. Além disso, safras chuvosas e semeadura direta favorecem a incidência da doença (EMBRAPA, 2006).

Por ser causada por um fungo de solo e pela expressão dos sintomas ser influenciada pelas condições edáficas e climáticas, muitos pesquisadores têm avaliado a reação de variedades a PVR no próprio campo, instalando experimentos em diversos locais. Outros, porém, têm utilizado diversas metodologias de inoculação artificial e avaliação dos sintomas em ambientes controlados; no entanto, uma metodologia

precisa e segura ainda não foi desenvolvida, havendo controvérsias na indicação do método mais adequado para avaliação de genótipos nos programas de melhoramento visando desenvolver cultivares mais resistentes a PVR (FRONZA, 2003).

O uso de grãos de sorgo colonizados com o patógeno para se proceder à inoculação durante a semeadura tem reduzido a variabilidade dos resultados, tornando possível a realização de análises de rotina em casa de vegetação (RUPE, 1999). Desta forma, este é o método que se apresenta como o mais promissor para a avaliação de genótipos utilizando inoculação artificial (FRONZA, 2003).

Desta forma, objetivou-se neste trabalho testar em casa de vegetação o comportamento de duas variedades de soja (CAC-1 e FT-Cristalina), sob diferentes conteúdos de água no solo (-0,001 MPa, -0,01 MPa e -0,05 MPa) cultivadas em diferentes graus de compactação (densidades: C0=0,916/1,152; C2=1,013/1,244; C4=1,122/1,245 e C6=1,281/1,200 g cm⁻³, na primavera/verão 2009/10 e no outono/inverno 2010, respectivamente) e com infestação e sem infestação com *Fusarium tucumaniae*, em duas épocas do ano.

MATERIAL E MÉTODOS

A terra utilizada para preenchimento dos vasos foi coletada na área da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da FCAV/Unesp/Jaboticabal, onde foram instalados os experimentos de campo, na camada de 0,0-0,2 m, onde o solo não havia sido infestado com o patógeno anteriormente. Após ter sido passada em peneira de 4 mm, a terra foi colocada em vasos cilíndricos de PVC e homogeneamente compactado através da queda livre de êmbolo de 7,0 kg, da altura de 0,60 m, no centro geométrico de um suporte de madeira com diâmetro ligeiramente inferior ao vaso, conforme descrito em BEUTLER (2003), sendo valores superiores de compactação obtidos por meio de maior número de impactos em cada camada. Os graus de compactação foram ajustados de acordo com cálculos de volume de terra a ser colocado nos vasos. Para se efetuar esses cálculos utilizou-se um gradiente de valores de densidades do solo (C0 = 1,00 g cm⁻³, C2 = 1,15 g cm⁻³, C3 = 1,30 g cm⁻³ e C4 = 1,45 g cm⁻³). As densidades do solo e

resistência a penetração obtidas após a compactação do solo nos vasos foram: primavera/verão 2009/10 $C_0=0,916 \text{ g cm}^{-3}$ / 0,266 MPa; $C_2=1,013 \text{ g cm}^{-3}$ / 0,266 MPa ; $C_4=1,122 \text{ g cm}^{-3}$ / 0,341 MPa e $C_6=1,281 \text{ g cm}^{-3}$ / 0,602 MPa; e outono/inverno 2010 $C_0= 1,152 \text{ g cm}^{-3}$ / 0,308 MPa; $C_2= 1,244 \text{ g cm}^{-3}$ / 0,480 MPa ; $C_4=1,245 \text{ g cm}^{-3}$ / 0,620 MPa e $C_6=1,200 \text{ g cm}^{-3}$ / 0,428 MPa.

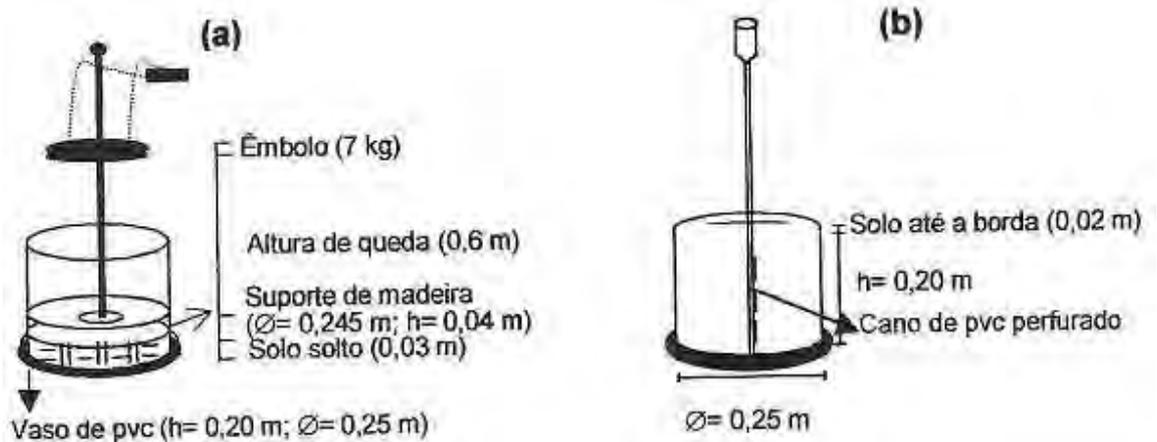


Figura 1. Esquema da compactação do solo no vaso (a) e vaso utilizado para o cultivo da soja (b).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, sendo que os tratamentos consistiram da combinação dos quatro níveis de compactação, dos três conteúdos de água no solo e duas cultivares [FT-Cristalina (S) e CAC-1 (R)], e um método de inoculação, constituindo o esquema fatorial $4 \times 3 \times 2$, com 3 repetições. Foram incluídas duas repetições adicionais, as quais foram utilizadas apenas para avaliações físicas do solo. Estes experimentos foram conduzidos na primavera/verão 2009/2010 e no outono/inverno 2010.

O inóculo para infestação do solo foi preparado através do cultivo de *F. tucumaniae*, isolado SDS-5, em grãos de sorgo autoclavados. Os erlenmeyers contendo as culturas do patógeno foram mantidos em condições ambiente, e, agitados periodicamente.

Após a compactação foi efetuada a primeira inoculação do patógeno juntamente com a semeadura da soja em 04 de dezembro de 2009 (experimento primavera/verão

2009/2010) e em 14 de junho de 2010 (experimento de outono/inverno 2010). Nesta primeira inoculação foram colocados 10 grãos de sorgo colonizados com o patógeno no fundo de cada cova. Quinze dias após a semeadura (primavera/verão), foram aplicados os tratamentos de umidade do solo predeterminados (tensões de -0,001, -0,01 e -0,05 MPa). Para o experimento de outono/inverno (20/06/2010), a umidade pré-estabelecida passou a ser controlada sete dias após a semeadura. Foi realizado o desbaste, retirando-se plantas que já apresentavam sintomas foliares da PVR, ajustando-se a população para 3 plantas/vaso sem sintomas aparentes da doença. O conteúdo de água foi mantido constante pela leitura diária dos tensiômetros e a reposição de água feita através de tubo de PVC perfurado (BEUTLER et al., 2003), instalado no centro geométrico do vaso. No dia 22 de dezembro de 2009, três dias após o início do controle da irrigação, foi efetuada uma segunda inoculação, pressionando-se dois grãos de sorgo colonizado (a cerca de 1 cm de profundidade), com auxílio de uma estaca de bambu, junto à região do colo de cada planta e em posição oposta. Para o experimento de outono/inverno de 2010 a segunda inoculação foi feita no dia 06/07/2010.

Após a semeadura, foram coletadas amostras de terra, com cilindros de 53,16 cm³ na camada de 0,02-0,05 m, visando quantificar a densidade do solo, micro e macroporosidade e resistência do solo à penetração (Tabelas 1 e 2).

Foi avaliada a severidade dos sintomas foliares da PVR, através da escala de notas de 1 a 5, proposta por HARTMAN et al. (1997) e modificada por FRONZA (2003), de acordo com a porcentagem de plantas com “folhas carijó”. Foram feitas avaliações semanais, num total de quatro, com início em 28/12/2009 e em 15/07/2010, para as épocas de primavera/verão e outono/inverno, respectivamente. No final do ciclo da cultura juntamente com a “pré-lavagem” de raízes (de 6 a 15 de março de 2010; e 20 a 28 outubro de 2010) foi feita avaliação da severidade dos sintomas da PVR no sistema radicular através do emprego de escala de notas, em que a nota 1 que corresponde a ausência de sintomas na raiz e a nota 3, corresponde a 100% das raízes necrosadas (FRANCO, 2007). Altura de plantas, número de vagens, número de vagens chochas, altura de inserção da primeira vagem e massa de 100 grãos também foram avaliados.

Tabela 1. Valores de resistência a penetração (MPa), densidade (g cm^{-3}), macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) do solo nos diferentes graus de compactação obtidos nos vasos do experimento de primavera/verão 2009/10.

Compactação	Resistência a penetração (MPa)	Densidade (g cm^{-3})	Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
C₀	0,266 ⁽¹⁾ b	0,916 d	0,260 ab	0,293 d
C₂	0,266 b	1,013 c	0,285 a	0,317 c
C₄	0,341 b	1,122 b	0,232 b	0,351 b
C₆	0,602 a	1,281 a	0,146 c	0,389 a
F	48,05**	73,92**	37,61**	49,44**
Dms	0,0950	0,0743	0,0403	0,0242
CV	15,82	4,12	10,50	4,31

⁽¹⁾Média de 6 repetições

Tabela 2. Valores de resistência a penetração (MPa), densidade (g cm^{-3}), macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) do solo nos diferentes graus de compactação obtidos nos vasos do experimento de outono/inverno 2010.

Compactação	Resistência a penetração (MPa)	Densidade (g cm^{-3})	Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
C₀	0,308 ⁽¹⁾ b	1,152 b	0,218 a	0,377 a
C₂	0,458 ab	1,244 ab	0,158 b	0,405 a
C₄	0,620 a	1,245 a	0,145 b	0,406 a
C₆	0,428 ab	1,200 ab	0,165 ab	0,385 a
F	5,29*	3,76*	6,07**	2,90 ^{NS}
Dms	0,2275	0,0925	0,053	0,0346
CV	30,13	4,59	18,70	5,29

⁽¹⁾Média de 6 repetições

As avaliações do desenvolvimento do sistema radicular também foram realizadas, lavando-se as raízes de cada vaso (3 plantas/vaso). Do total de raízes de cada vaso, foi retirada uma amostra de 1 g a cada 50 g de raízes de cada vaso, e digitalizadas imagens em “scanner” de leitura ótica, na resolução de 400 dpi, que forneceram o diâmetro médio (mm) e o comprimento das raízes (mm) pelo software “Delta-T Scan”, para determinação da densidade do comprimento radicular. Na sequência as amostras foram secas em estufa com temperatura ajustada para 65°C (\pm 2°C) até massa constante, para determinação da massa seca das raízes.

Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software AGROESTAT (BARBOSA & MALDONADO, 2011).

As Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7 ilustram as etapas do experimento de casa de vegetação, do preparo dos vasos até a finalização (lavagem de raízes).



Figura 2. Compactação dos vasos do experimento de casa de vegetação.



Figura 3. Infestação do solo, nas covas de semeadura, com grãos de sorgo colonizados com *Fusarium tucumaniae*.



Figura 4. Visão geral do experimento no dia da semeadura (primavera/verão).



Figura 5. Visão geral do experimento 15 dias após a semeadura, época da 2ª infestação do solo com grãos de sorgo colonizados com *Fusarium tucumaniae* (primavera/verão).



Figura 6. Escala de notas utilizada (FRONZA, 2003).



Figura 7. Visão geral do experimento dois meses após a sementeira, primavera/verão – a e outono/inverno - b.



Figura 8. Pré-lavagem de raízes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados (Tabelas 3 e 4), não houve diferenças estatísticas significativas para severidade dos sintomas nas raízes e na parte aérea das plantas da cultivar CAC-1 e FT-Cristalina, submetidas à diferentes condições de cultivo. Apenas houve diferenças estatísticas significativas para o fator infestação do solo com o patógeno, na primavera/verão 2009/10 (Tabela 3) e, no outono/inverno 2010 (Tabela 4). Apesar dos diferentes graus de compactação terem sido pré-estabelecidos, os valores obtidos para resistência do solo a penetração nos vários níveis de compactação do solo, apresentados nas Tabelas 1 e 2, foram baixos (primavera/verão: C0 = 0,266 MPa; C2 = 0,266 MPa; C4 = 0,341 MPa; C6 = 0,602 MPa; e no outono/inverno: C0 = 0,308 MPa; C2 = 0,480 MPa; C4 = 0,620 MPa; C6 = 0,428 MPa). Valores críticos de resistência à penetração variam de 1,5 a 4,0 MPa (NESMITH, 1987; TOPP et al., 1994; ARSHAD et al., 1996; TORMENA et al., 1998; IMHOFF et al., 2000). Mesmo no maior grau de compactação, a resistência do solo à penetração esteve abaixo da faixa crítica (1,5 a 4,0 MPa).

Tabela 3. Severidade da podridão vermelha da raiz (*Fusarium tucumaniae*), nas raízes⁽¹⁾ e parte aérea⁽²⁾, das variedades FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos, em casa de vegetação, na primavera/verão 2009/2010.

Tratamentos	Severidade dos sintomas na parte aérea das plantas								Severidade de sintomas de podridões radiculares	
	1ª Avaliação		2ª Avaliação		3ª Avaliação		4ª Avaliação		FT-Cristalina	CAC-1
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1		
Compactação (A)⁽³⁾										
C0	1,04	1,04	1,09	1,06	1,07	1,06	1,07	1,06	1,41	1,54
C2	1,07	1,02	1,07	1,00	1,06	1,02	1,06	1,04	1,46	1,37
C4	1,06	1,04	1,11	1,04	1,11	1,02	1,11	1,00	1,37	1,44
C6	1,08	1,04	1,12	1,06	1,15	1,04	1,15	1,04	1,35	1,72
Dms (5%)	0,14	0,09	0,25	0,12	0,24	0,12	0,24	0,13	0,33	0,39
F	0,31 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,30 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,32 ^{NS}	2,23 ^{NS}
Conteúdo de água (B)										
-0,001 MPa	1,03	1,01	1,06	1,03	1,06	1,01	1,06	1,03	1,35	1,58
-0,01 MPa	1,03	1,04	1,06	1,03	1,06	1,03	1,06	1,03	1,36	1,49
-0,05 MPa	1,13	1,04	1,19	1,06	1,18	1,06	1,18	1,04	1,49	1,49
Dms (5%)	0,11	0,07	0,19	0,09	0,19	0,09	0,19	0,10	0,26	0,30
F	3,55*	0,53 ^{NS}	1,82 ^{NS}	0,33 ^{NS}	1,66 ^{NS}	0,58 ^{NS}	1,66 ^{NS}	0,07 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,40 ^{NS}
Infestação do solo (C)										
Não infestado	1,00 b ⁽⁴⁾	1,00 b	1,00 b	1,00 b	1,00 b	1,00	1,00 b	1,00	1,08 b	1,20 b
Infestado	1,12 a	1,06 a	1,19 a	1,07 a	1,19 a	1,06	1,19 a	1,06	1,72 a	1,83 a
Dms (5%)	0,07	0,05	0,13	0,07	0,13	0,07	0,13	0,07	0,18	0,21
F	11,49**	6,51*	9,24**	5,15*	8,96**	3,99 ^{NS}	8,96**	3,41 ^{NS}	52,22**	38,04**
Teste F A x B	0,56 ^{NS}	1,60 ^{NS}	0,26 ^{NS}	1,29 ^{NS}	0,16 ^{NS}	1,44 ^{NS}	0,16 ^{NS}	1,56 ^{NS}	0,80 ^{NS}	0,25 ^{NS}
Teste F A x C	0,31 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,30 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,43 ^{NS}	1,92 ^{NS}
Teste F B x C	3,55*	0,53 ^{NS}	1,82 ^{NS}	0,33 ^{NS}	1,66 ^{NS}	0,58 ^{NS}	1,66 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,49 ^{NS}
Teste F A x B x C	0,56 ^{NS}	1,60 ^{NS}	0,26 ^{NS}	1,29 ^{NS}	0,16 ^{NS}	1,44 ^{NS}	0,16 ^{NS}	1,56 ^{NS}	1,52 ^{NS}	0,23 ^{NS}
F	0,05 ^{NS}	2,53 ^{NS}	0,01 ^{NS}	2,26 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,49 ^{NS}	2,64 ^{NS}	4,95*
CV (%)	14,60	10,33	25,11	13,28	24,99	13,27	24,99	14,34	26,67	28,57

⁽¹⁾ Escala de notas (FRANCO, 2007) que varia de 1 a 3 (onde 1= raiz sem sintoma; 2= raiz pivotante totalmente ou parcialmente necrosada, porém com raízes secundárias normais; 3= sistema radicular totalmente necrosado).

⁽²⁾ Escala de notas que varia de 1 a 5 (utilizada por Hartman et al. (1997) e modificada por Fronza (2003)), onde: 1=ausência de sintomas foliares visíveis; 2=leve desenvolvimento dos sintomas, com clorose em mosaico, e deformação ou encarquilhamento dos folíolos; 3=moderado desenvolvimento dos sintomas, com clorose internerval e necrose na borda dos folíolos; 4=elevado desenvolvimento dos sintomas, com clorose e necrose internerval (até 50% de área foliar afetada por necrose); 5=severo desenvolvimento dos sintomas, com clorose e necrose internerval e/ou plantas mortas ou severa restrição no desenvolvimento das plantas (51 a 100% de área foliar afetada por necrose).

⁽³⁾ C0= 0,916 g cm⁻²; C2= 1,013 g cm⁻²; C4=1,122 g cm⁻² e C6=1,281 g cm⁻².

⁽⁴⁾ Médias (3 repetições) seguidas de diferentes letras, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Severidade da podridão vermelha da raiz (*Fusarium tucumaniae*), nas raízes⁽¹⁾ e parte aérea⁽²⁾, das variedades FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas sob diferentes manejos, em casa de vegetação, no outono/inverno 2010.

Tratamentos	Severidade de sintomas na parte aérea da planta								Severidade de sintomas de podridões radiculares	
	1ª avaliação		2ª avaliação		3ª avaliação		4ª avaliação		FT-Cristalina	CAC-1
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1		
Compactação (A)										
C0 ⁽³⁾	1,09	1,07	1,28	1,07	1,30	1,07	1,31	1,06	1,54	1,63
C2	1,09	1,06	1,20	1,04	1,24	1,04	1,24	1,06	1,65	1,72
C4	1,35	1,07	1,42	1,04	1,48	1,06	1,48	1,04	1,57	1,77
C6	1,17	1,09	1,22	1,11	1,24	1,11	1,24	1,11	1,57	1,72
Dms (5%)	0,41	0,13	0,49	0,10	0,49	0,13	0,50	0,15	0,42	0,42
F	1,27 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,60 ^{NS}	1,79 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,28 ^{NS}
Conteúdo de água (B)										
-0,001 MPa	1,19	1,12	1,30 ab	1,15 a	1,36 ab	1,17 a	1,36 ab	1,18 a	1,51	1,72
-0,01 MPa	1,31	1,03	1,50 a	1,03 b	1,53 a	1,03 b	1,54 a	1,00 b	1,53	1,65
-0,05 MPa	1,03	1,07	1,04 b	1,01 b	1,06 b	1,01 b	1,06 b	1,01 b	1,71	1,76
Dms (5%)	0,32	0,10	0,38	0,08	0,39	0,10	0,39	0,12	0,33	0,33
F	2,22 ^{NS}	2,66 ^{NS}	4,19*	11,13**	4,46*	7,88**	4,55*	8,70**	1,33 ^{NS}	0,39 ^{NS}
Infestação do solo (C)										
Não infestado	1,00 b ⁽⁴⁾	1,00 b	1,16 b	1,19 b						
Infestado	1,35 a	1,15 a	1,56 a	1,18 a	1,63 a	1,14 a	1,64 a	1,13 a	2,00 a	2,23 a
Dms (5%)	0,22	0,07	0,26	0,05	0,26	0,07	0,27	0,08	0,22	0,22
F	10,50**	18,40**	18,89**	23,98**	23,10**	15,97**	23,06**	10,85**	57,87**	89,65**
Teste F A x B	0,25 ^{NS}	2,28 ^{NS}	0,49 ^{NS}	3,63**	0,74 ^{NS}	1,82 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,94 ^{NS}	1,09 ^{NS}	0,35 ^{NS}
Teste F A x C	1,27 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,60 ^{NS}	1,79 ^{NS}	0,76 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,66 ^{NS}	1,96 ^{NS}	1,35 ^{NS}
Teste F B x C	2,22 ^{NS}	2,66 ^{NS}	4,19*	11,13**	4,46*	7,88**	4,55*	8,70**	0,25 ^{NS}	1,55 ^{NS}
Teste F A x B x C	0,25 ^{NS}	2,28 ^{NS}	0,49 ^{NS}	3,63**	0,74 ^{NS}	1,82 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,94 ^{NS}	1,17 ^{NS}	0,81 ^{NS}
F	0,89 ^{NS}	1,15 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,85 ^{NS}	0,72 ^{NS}	1,06 ^{NS}	2,14 ^{NS}	1,95 ^{NS}
CV (%)	39,03	13,51	42,87	10,45	42,18	13,66	42,68	15,56	29,91	27,29

⁽¹⁾Escala de notas (FRANCO, 2007) que varia de 1 a 3 (onde 1= raiz sem sintoma; 2= raiz pivotante totalmente ou parcialmente necrosada, porém com raízes secundárias normais; 3= sistema radicular totalmente necrosado).

⁽²⁾Escala de notas que varia de 1 a 5 (utilizada por Hartman et al. (1997) e modificada por Fronza (2003)), onde: 1=ausência de sintomas foliares visíveis; 2=leve desenvolvimento dos sintomas, com clorose em mosaico, e deformação ou encarquilhamento dos folíolos; 3=moderado desenvolvimento dos sintomas, com clorose internerval e necrose na borda dos folíolos; 4=elevado desenvolvimento dos sintomas, com clorose e necrose internerval (até 50% de área foliar afetada por necrose); 5=severo desenvolvimento dos sintomas, com clorose e necrose internerval e/ou plantas mortas ou severa restrição no desenvolvimento das plantas (51 a 100% de área foliar afetada por necrose).

⁽³⁾C0= 1,152 g cm⁻³; C2= 1,244 g cm⁻³; C4=1,245 g cm⁻³ e C6=1,200 g cm⁻³.

⁽⁴⁾Médias (3 repetições) seguidas de diferentes letras, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A cultivar FT-Cristalina e CAC-1, no outono/inverno 2010, foram influenciadas pelo conteúdo de água, tendo as menores tensões de água no solo (-0,001 MPa e -0,01MPa), proporcionado maiores severidades dos sintomas na parte aérea (Tabela 4). Condições de alta umidade do solo (cerca de -0,003 a -0,01MPa) e temperaturas amenas foram favoráveis ao desenvolvimento da doença, sendo que temperaturas em torno de 15°C favoreceram o desenvolvimento dos sintomas nas raízes e, entre 22 a 24°C, na parte aérea (SCHERM & YANG, 1996).

Na primavera/verão 2009/2010, tanto CAC-1 quanto FT-Cristalina, não foram influenciadas pelos tratamentos a que foram submetidas, no que se refere a altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens chochas/planta e massa de 100 grãos. O número de vagens por planta foi influenciado pelos conteúdos de água no solo em ambas cultivares, sendo que em menores tensões de água, o número de vagens foi significativamente maior; e para CAC-1 a altura de plantas foi maior, nos maiores conteúdos de água (Tabela 5). BEUTLER & CENTURION (2003) trabalhando, em casa de vegetação, com dois latossolos (Latosolo Vermelho textura média (LVd) e Latossolo Vermelho textura argilosa (LVef)), quatro níveis de resistência à penetração (entre 0,27 e 4,32 MPa) e dois níveis de retenção de água pelo solo (-0,05 e -0,01 MPa), obtiveram que a altura das plantas de soja, o número de vagens e grãos por planta foram, em geral, superiores nos dois solos, na tensão de -0,01 MPa. Altura das plantas e a altura de inserção de inserção da primeira vagem, características importantes quando a colheita é realizada mecanicamente, foram pouco alteradas entre os níveis de resistência do solo à penetração. O número de vagens por planta foi menor, no LVd, na resistência à penetração de 4,18 e 3,58 MPa, na tensão de -0,05 e -0,01 MPa, respectivamente, e no LVef foi menor a partir de 2,54 MPa, na tensão de -0,01 MPa.

No outono/inverno 2010, tanto CAC-1 quanto FT-Cristalina, não foram influenciadas pelos níveis de compactação a que foram submetidas, no que se refere a altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens chochas/planta e massa de 100 grãos. Na maior tensão de água (-0,05 MPa) a cultivar

Tabela 5. Altura de plantas (cm), altura de inserção da 1ª vagem (cm), número de vagens/planta, número de vagens chochas/planta e massa de 100 grãos (g), nas variedades FT-Cristalina e CAC-1, cultivadas sob diferentes manejos em casa de vegetação, na primavera/verão 2009/2010.

Tratamentos	Altura de plantas (cm)		Altura de inserção da 1ª vagem (cm)		Número de vagens/planta		Número de vagens chochas/planta		Massa 100 grãos (g)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (A)⁽²⁾										
C0	116,03	106,05	39,08	32,91	16,98	11,98	0,28	0,48	11,50	14,02
C2	113,32	108,38	35,83	32,45	15,59	12,15	0,32	0,59	10,68	13,85
C4	111,28	109,31	38,47	36,13	15,89	13,19	0,29	0,48	10,51	14,39
C6	110,01	103,21	39,19	30,49	17,07	12,65	0,32	0,63	10,72	12,35
Dms (5%)	14,95	11,92	8,59	6,91	3,52	1,85	0,34	0,51	1,47	2,49
F	0,44 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,48 ^{NS}	1,63 ^{NS}	0,65 ^{NS}	1,22 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,32 ^{NS}	1,30 ^{NS}	1,84 ^{NS}
Conteúdo de água(B)										
-0,001 MPa	116,68	113,33 a ⁽¹⁾	37,90	32,87	18,89 a	14,40 a	0,26	0,74	11,16	13,56
-0,01 MPa	114,05	107,37 ab	37,89	34,60	15,96 b	11,99 b	0,39	0,46	10,86	13,68
-0,05 MPa	107,24	99,51 b	38,63	31,51	14,31 b	11,07 b	0,26	0,44	10,54	13,72
Dms (5%)	11,76	9,38	6,76	5,44	2,77	1,46	0,27	0,40	1,15	1,96
F	2,01 ^{NS}	6,39**	0,05 ^{NS}	0,95 ^{NS}	8,24**	16,31**	0,90 ^{NS}	1,95 ^{NS}	0,84 ^{NS}	0,02 ^{NS}
Infestação do solo										
Não infestado	114,15	108,45	38,54	32,38	16,23	12,28	0,34	0,51	11,14	13,45
Infestado	111,17	105,02	37,74	33,61	16,54	12,70	0,27	0,58	10,57	13,85
Dms (5%)	7,98	6,37	4,59	3,69	1,88	0,99	0,18	0,27	0,78	1,33
F	0,57 ^{NS}	1,18 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,45 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,59 ^{NS}	0,30 ^{NS}	2,18 ^{NS}	0,36 ^{NS}
Teste F A x B	0,65 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,82 ^{NS}	0,73 ^{NS}	1,57 ^{NS}	2,15 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,37 ^{NS}	1,61 ^{NS}
Teste F A x C	0,22 ^{NS}	1,76 ^{NS}	2,48 ^{NS}	1,22 ^{NS}	0,30 ^{NS}	2,78 ^{NS}	0,56 ^{NS}	1,43 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,26 ^{NS}
Teste F B x C	2,83 ^{NS}	1,91 ^{NS}	2,05 ^{NS}	2,17 ^{NS}	2,37 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,57 ^{NS}	1,01 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,50 ^{NS}
Teste F A x B x C	0,19 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,95 ^{NS}	0,72 ^{NS}	1,11 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,96 ^{NS}	1,28 ^{NS}	1,21 ^{NS}	1,18 ^{NS}
F	1,95 ^{NS}	3,42*	3,21*	0,14 ^{NS}	0,43 ^{NS}	8,65**	0,79 ^{NS}	1,89 ^{NS}	0,67 ^{NS}	1,97 ^{NS}
CV (%)	14,94	12,57	25,37	23,58	24,19	16,70	126,88	105,22	15,19	20,58

⁽¹⁾Médias (3 repetições) seguidas de diferentes letras, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽²⁾C0= 0,916 g cm⁻³; C2= 1,013 g cm⁻³; C4=1,122 g cm⁻³ e C6=1,281 g cm⁻³.

CAC-1 foi influenciada, apresentando menor altura de plantas, menor número de vagens e menor número de vagens chochas, resultado esse que corrobora com os de BEUTLER & CENTURION (2003). A massa de 100 grãos foi influenciada pela inoculação, na cultivar FT-Cristalina, sendo que em tratamento inoculado a massa de 100 grãos foi significativamente maior (Tabela 6). FREITAS et al. (2004) estudaram o dano devido a PVR e concluíram que o patógeno causa redução na produtividade devido à infecção e danos ao sistema radicular das plantas. Havendo condições para um processo infeccioso rápido a doença atinge um nível de dano elevado ainda no período de florescimento, sendo observada uma interferência no processo de formação de vagens e grãos. Por outro lado, se a infecção ocorrer de forma lenta ou tardia, atingindo seu máximo no período de granação (enchimento de grãos), é observada redução no número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de grãos. Práticas de controle que retardem a infecção inicial da PVR são importantes para a redução do seu impacto sobre os componentes de produtividade da soja. Segundo NJITI (1998) e GÁSPERI (2000) as perdas em termos de rendimento de grãos, basicamente, são devidas à redução no número de vagens com sementes e na massa das sementes.

FRANCO (2007) encontrou em seus estudos, em casa de vegetação, que a melhor época e método para o desenvolvimento de estudos que envolvam a inoculação de *F. tucumaniae* em soja, em regiões de clima semelhante ao de Jaboticabal/SP, é a do outono/inverno, utilizando-se o método de grãos de sorgo colonizado pelo patógeno.

No outono/inverno 2010 (Tabela 6) pode-se observar que tratamentos inoculados diferiram estatisticamente dos não inoculados em relação a altura de plantas. Houve redução média de altura de plantas em 14 cm em FT-Cristalina, e de 10 cm em CAC-1. Para altura de inserção da primeira vagem, a redução foi de 7 cm em FT-Cristalina no tratamento em que o solo foi infestado. A altura das plantas parece não ser afetada pela PVR (HERSHMAN et al., 1990; MELGAR et al., 1994). Entretanto, reduções da altura ocorreram (MCLEAN & LAWRENCE, 1993) em plantas inoculadas artificialmente em casa de vegetação (ROY et al., 1989; RUPE, 1989).

Tabela 6. Altura de plantas (cm), altura de inserção da 1ª vagem (cm), número de vagens/planta, número de vagens chochas/planta e massa de 100 grãos (g), nas variedades FT-Cristalina e CAC-1, cultivadas sob diferentes manejos, em casa de vegetação, no outono/inverno 2010.

Tratamentos	Altura de plantas (cm)		Altura de inserção 1ª vagem (cm)		Número de vagens/planta		Número de vagens chochas/planta		Massa 100 grãos (g)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (A)⁽²⁾										
C0	71,97	69,07	27,22	32,95	9,45	6,91 ab	2,05	1,03	8,95	14,75
C2	72,33	67,80	32,24	33,13	9,67	6,48 ab	1,73	1,19	8,33	13,28
C4	58,93	73,09	24,74	29,61	8,65	7,65 a	2,29	1,73	8,84	13,54
C6	70,88	64,62	27,66	33,01	10,30	5,70 b	2,28	1,32	9,12	14,55
Dms (5%)	13,58	8,99	7,96	7,65	3,32	1,77	1,01	0,82	1,48	2,04
F	3,18*	2,15 ^{NS}	2,19 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,60 ^{NS}	2,98*	0,96 ^{NS}	1,90 ^{NS}	0,75 ^{NS}	1,82 ^{NS}
Conteúdo de água (B)										
-0,001 MPa	71,71	74,92 a	27,72	33,13	12,13 a	7,92 a	2,58	1,60 a	8,54	14,13
-0,01 MPa	69,64	68,74 ab	29,06	29,13	9,68 a	7,89 a	1,89	1,50 ab	8,46	14,20
-0,05 MPa	64,24	62,29 b	27,12	34,26	6,74 b	4,25 b	1,79	0,86 b	9,43	13,77
Dms (5%)	10,69	7,08	6,27	6,02	2,61	1,40	0,80	0,65	1,16	1,61
F	1,53 ^{NS}	9,34**	0,29 ^{NS}	2,36 ^{NS}	12,54**	26,76**	3,44*	4,49*	2,56 ^{NS}	0,24 ^{NS}
Infestação do solo (C)										
Não infestado	75,46 a ⁽¹⁾	73,57 a	31,74 a	32,98	9,50	6,54	2,23	1,61 a	7,81 b	14,12
Infestado	61,59 b	63,73 b	24,19 b	31,37	9,53	6,83	1,95	1,03 b	9,81 a	13,94
Dms (5%)	7,25	4,81	4,25	4,08	1,77	0,95	0,54	0,44	0,79	1,09
F	14,82**	16,98**	12,77**	0,63 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,40 ^{NS}	1,07 ^{NS}	7,16*	26,08**	0,11 ^{NS}
Teste F A x B	1,35 ^{NS}	2,14 ^{NS}	1,41 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,25 ^{NS}	2,13 ^{NS}	0,72 ^{NS}	2,18 ^{NS}
Teste F A x C	0,73 ^{NS}	0,59 ^{NS}	1,56 ^{NS}	0,45 ^{NS}	1,49 ^{NS}	0,24 ^{NS}	5,27**	2,96*	1,62 ^{NS}	1,16 ^{NS}
Teste F B x C	0,50 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,50 ^{NS}	0,32 ^{NS}	1,42 ^{NS}	0,87 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,51 ^{NS}
Teste F A x B x C	0,55 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,42 ^{NS}	2,00 ^{NS}	0,61 ^{NS}	2,70*	1,69 ^{NS}	1,95 ^{NS}	1,00 ^{NS}
F	0,85 ^{NS}	5,25**	1,62 ^{NS}	1,41 ^{NS}	0,84 ^{NS}	0,91 ^{NS}	1,40 ^{NS}	0,24 ^{NS}	5,66**	0,72 ^{NS}
CV (%)	22,31	14,76	32,05	26,75	39,28	29,87	54,59	70,11	18,84	16,37

⁽¹⁾Médias (3 repetições) seguidas de diferentes letras, na coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽²⁾ C0= 1,152 g cm⁻³; C2= 1,244 g cm⁻³; C4=1,245 g cm⁻³ e C6=1,200 g cm⁻³.

O desenvolvimento radicular na primavera/verão 2009/10 foi bem maior que no outono/inverno 2010 (Tabelas 7 e 8), isso se deve a época de semeadura. No outono/inverno as plantas são influenciadas pelo fotoperíodo e temperatura, e tendem a apresentar menor desenvolvimento.

Na primavera/verão 2009/10, diferenças de desenvolvimento radicular ocorreram quando foram analisados os diferentes níveis de compactação do solo. O nível C6 (densidade = $1,281 \text{ g cm}^{-3}$ e resistência a penetração = $0,602 \text{ MPa}$) de compactação foi o que proporcionou menor desenvolvimento radicular. Diferenças estatísticas significativas foram verificadas entre conteúdos de água para área, diâmetro, comprimento, densidade de comprimento, massa seca e densidade de massa seca de raízes para a cultivar FT -Cristalina. O conteúdo de água correspondente a tensão de $-0,001 \text{ MPa}$ promoveu maior desenvolvimento radicular em ambas cultivares, nas duas épocas estudadas (Tabelas 7 e 8). PETTER (1990), no campo, verificou, em Latossolo, menor crescimento radical de soja a partir de $2,8 \text{ MPa}$. As plantas apresentam diferentes respostas à resistência do solo à penetração, variando entre culturas e cultivares (MIELNICZUK et al., 1985). As raízes das plantas que crescem em solos com alta resistência à penetração apresentam modificações morfológicas.

No outono/inverno 2010, para a cultivar FT-Cristalina obtiveram-se menor área, diâmetro, comprimento de raiz e densidade de comprimento radicular nos tratamentos C4 e C6, que diferiram significativamente do nível C0, porém não diferiram entre si. Os valores de densidade obtidos neste experimento são: C0= $1,152 \text{ g cm}^{-3}$; C2= $1,244 \text{ g cm}^{-3}$; C4= $1,245 \text{ g cm}^{-3}$ e C6= $1,200 \text{ g cm}^{-3}$. No nível C4 de compactação determinou-se valores de resistência do solo à penetração maiores ($0,620 \text{ MPa}$) do que em C6 ($0,428 \text{ MPa}$), o que pode justificar o menor desenvolvimento radicular neste nível. ROSOLEM et al. (1994) obtiveram redução de 50% no crescimento radicular da soja quando a camada compactada apresentava resistência à penetração de $0,69 \text{ MPa}$, e, na densidade aparente de $1,72 \text{ g cm}^{-3}$, as raízes não conseguiram penetrar, embora já houvesse alguma restrição ao crescimento na densidade de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$.

Tabela 7. Área (mm²), diâmetro (mm), comprimento (cm) e densidade (cm/cm³) de comprimento de raízes⁽¹⁾, massa seca de raízes (mg) e densidade de raiz (mg/cm³) das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas em casa de vegetação na primavera/verão 2009/2010.

Tratamentos	Área (mm ²)		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade de comprimento radicular (cm/cm ³)		Massa seca (mg)		Densidade de massa seca de raiz (mg/cm ³)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (A)												
C0 ⁽³⁾	89526,11	86746,97 a	6,87 ab ⁽²⁾	5,44 a	25437,43 ab	23547,99 a	2,59 ab	2,40 a	3620,61	2745,03 ab	0,37	0,28 ab
C2	112961,01	91490,44 a	9,72 a	5,61 a	33074,99 a	26260,65 a	3,37 a	2,67 a	4907,02	2988,26 a	0,50	0,30 a
C4	89123,92	64899,26 ab	6,82 ab	4,91 ab	26961,99 ab	19936,54 ab	2,75 ab	2,03 ab	4148,78	2991,50 a	0,42	0,30 a
C6	71125,22	36033,97 b	5,32 b	3,12 b	20271,26 b	10394,81 b	2,06 b	1,06 b	3263,07	1532,62 b	0,33	0,16 b
Dms (5%)	47120,83	34991,50	3,6993	2,0012	12051,9830	9657,6717	1,2273	0,9835	1907,68	1274,99	0,19	0,13
F	1,88 ^{NS}	7,43**	3,51*	4,63**	2,72 ^{NS}	7,31**	2,72 ^{NS}	7,31**	1,99 ^{NS}	4,25**	1,99 ^{NS}	4,25**
Conteúdo de água (B)												
-0,001 MPa	111422,28 a	74326,15	9,05 a	5,16	31185,13 a	21369,10	3,18 a	2,18	4612,66 a	2879,73	0,47 a	0,29
-0,01 MPa	103901,96 a	61992,78	7,87 a	4,56	30215,07 a	17726,84	3,08 a	1,81	4596,73 a	2419,86	0,47 a	0,25
-0,05 MPa	56727,97 b	73059,05	4,63 b	4,58	17909,06 b	21009,06	1,82 b	2,14	2745,22 b	2393,46	0,28 b	0,24
Dms (5%)	37077,37	27533,32	2,9108	1,58	9483,1902	7599,21	0,9657	0,77	1501,07	1003,23	0,15	0,10
F	7,50**	0,71 ^{NS}	7,24**	0,56 ^{NS}	7,14**	0,82 ^{NS}	7,14**	0,82 ^{NS}	6,00**	0,87 ^{NS}	6,00**	0,87 ^{NS}
Infestação do solo (C)												
Não infestado	105284,91 a	74264,46	8,67 a	5,02	30648,38 a	20570,58	3,12 a	2,09	4702,50 a	2653,03	0,48 a	0,27
Infestado	76083,22 b	65320,86	5,70 b	4,52	22224,46 b	19499,42	2,26 b	1,99	3267,24 b	2475,68	0,33 b	0,25
Dms (5%)	25161,76	18684,90	1,98	1,07	6435,57	5157,04	0,66	0,52	1018,67	680,82	0,10	0,07
F	5,46*	0,93 ^{NS}	9,20**	0,87 ^{NS}	6,94*	0,17 ^{NS}	6,94*	0,17 ^{NS}	8,04**	0,27 ^{NS}	8,04**	0,27 ^{NS}
Teste F A x B	1,42 ^{NS}	1,28 ^{NS}	1,56 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,81 ^{NS}	1,46 ^{NS}	0,81 ^{NS}	1,46 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,48 ^{NS}
Teste F A x C	2,37 ^{NS}	0,96 ^{NS}	3,34*	1,55 ^{NS}	3,12*	0,93 ^{NS}	3,12*	0,93 ^{NS}	3,28*	0,37 ^{NS}	3,28*	0,37 ^{NS}
Teste F B x C	1,54 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,21 ^{NS}	1,67 ^{NS}	0,00 ^{NS}	1,67 ^{NS}	0,00 ^{NS}	1,27 ^{NS}	0,46 ^{NS}	1,27 ^{NS}	0,46 ^{NS}
Teste F A x B x C	0,99 ^{NS}	0,48 ^{NS}	1,60 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,22 ^{NS}	1,22 ^{NS}	0,36 ^{NS}	1,22 ^{NS}	0,36 ^{NS}
F	0,62 ^{NS}	0,50 ^{NS}	1,02 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,42 ^{NS}	1,41 ^{NS}	0,42 ^{NS}	1,41 ^{NS}	1,19 ^{NS}	3,06 ^{NS}	1,19 ^{NS}	3,06 ^{NS}
CV (%)	58,48	56,43	57,96	47,23	51,31	54,25	51,31	54,25	53,88	55,96	53,88	55,96

⁽¹⁾Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras de raízes retiradas de cada parcela (vaso de 9820 ml).

⁽²⁾Médias (de 3 repetições) seguidas de diferentes letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽³⁾C0= 0,916 g cm⁻³; C2= 1,013 g cm⁻³; C4=1,122 g cm⁻³ e C6=1,281 g cm⁻³.

Tabela 8. Área (mm²), diâmetro (mm), comprimento (cm) e densidade (cm/cm³) de comprimento de raízes⁽¹⁾, massa seca de raízes (mg) e densidade de raiz (mg/cm³) das variedades de soja FT-Cristalina e CAC-1 cultivadas em casa de vegetação no outono/inverno 2010.

Tratamentos	Área (mm ²)		Diâmetro (mm)		Comprimento (cm)		Densidade de comprimento radicular (cm/cm ³)		Massa seca (mg)		Densidade de massa seca de raiz (mg/cm ³)	
	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1	FT-Cristalina	CAC-1
Compactação (A)												
C0 ⁽³⁾	48302,49 a	35353,74	3,12 a	2,20	14421,92 a	9742,98	1,47 a	0,99	1910,33 a	1074,01	0,19 a	0,11
C2	33075,58 ab	21906,37	2,77 ab	1,61	10523,36 ab	6211,90	1,07 ab	0,63	1631,42 a	927,16	0,17 a	0,09
C4	18352,82 b	17637,11	1,40 c	1,15	5575,68 c	5271,19	0,57 c	0,54	917,91 b	819,84	0,09 b	0,08
C6	24843,32 b	22192,39	1,78 bc	1,52	7828,82 bc	6844,36	0,80 bc	0,70	1348,89 ab	769,51	0,14 ab	0,08
Dms (5%)	16102,68	28195,25	1,19	1,80	4895,94	7795,15	0,50	0,79	616,65	569,14	0,06	0,06
F	9,16**	1,05 ^{NS}	6,63**	0,82 ^{NS}	8,58**	0,87 ^{NS}	8,58**	0,87 ^{NS}	6,70**	0,80 ^{NS}	6,70**	0,80 ^{NS}
Conteúdo de água (B)												
-0,001 MPa	40508,58 a	38349,40 a	2,94 a	2,73 a	12135,84 a	10928,78 a	1,24 a	1,11 a	1629,85	1124,12	0,17	0,11
-0,01 MPa	30071,72 ab	19081,54 ab	2,29 ab	1,21 b	9117,37 ab	5475,65 ab	0,93 ab	0,56 ab	1377,95	776,91	0,14	0,08
-0,05 Mpa	22850,35 b	15386,27 b	1,57 b	0,91 b	7509,11 b	4648,39 b	0,76 b	0,47 b	1348,61	791,86	0,14	0,08
Dms (5%)	12670,51	22185,64	0,94	1,42	3852,40	6133,67	0,39	0,62	485,21	447,83	0,05	0,05
F	5,76**	3,62*	6,27**	5,56**	4,36*	3,63*	4,36*	3,63*	1,19 ^{NS}	2,25 ^{NS}	1,19 ^{NS}	2,25 ^{NS}
Infestação do solo (C)												
Não infestado	39851,61 a	29714,70	2,92 a	2,05	12020,11 a	8890,09	1,22 a	0,91	1805,71 a	1162,07 a	0,18 a	0,12 a
Infestado	22435,49 b	18830,10	1,62 b	1,19	7154,78 b	5145,12	0,73 b	0,52	1098,56 b	633,19 b	0,11 b	0,06 b
Dms (5%)	8598,57	15055,81	0,64	0,96	2614,35	4162,48	0,27	0,42	329,28	303,91	0,03	0,03
F	16,62**	2,12 ^{NS}	16,77**	3,24 ^{NS}	14,03**	3,28 ^{NS}	14,03**	3,28 ^{NS}	18,69**	12,27**	18,69**	12,27**
Teste F A x B	0,80 ^{NS}	0,78 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,79 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,79 ^{NS}	0,77 ^{NS}	1,05 ^{NS}	0,57 ^{NS}	1,05 ^{NS}	0,57 ^{NS}
Teste F A x C	2,46 ^{NS}	0,62 ^{NS}	4,25**	0,54 ^{NS}	1,89 ^{NS}	0,52 ^{NS}	1,89 ^{NS}	0,52 ^{NS}	2,08 ^{NS}	0,37 ^{NS}	2,08 ^{NS}	0,37 ^{NS}
Teste F B x C	2,25 ^{NS}	0,61 ^{NS}	2,05 ^{NS}	1,45 ^{NS}	1,05 ^{NS}	0,95 ^{NS}	1,05 ^{NS}	0,95 ^{NS}	0,20 ^{NS}	4,76*	0,20 ^{NS}	4,76*
Teste F A x B x C	1,13 ^{NS}	0,37 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,28 ^{NS}	1,54 ^{NS}	1,27 ^{NS}	1,54 ^{NS}	1,27 ^{NS}
F	3,16 ^{NS}	0,49 ^{NS}	1,19 ^{NS}	0,68 ^{NS}	3,80*	0,40 ^{NS}	3,80*	0,40 ^{NS}	3,68*	4,53*	3,68*	4,53*
CV (%)	58,19	130,74	59,18	125,24	57,47	125,02	57,47	125,02	47,79	71,36	47,79	71,36

⁽¹⁾Leituras das raízes realizadas em "scanner" Delta T de amostras de raízes retiradas de cada parcela (vaso de 9820 ml).

⁽²⁾Médias (de 3 repetições) seguidas de diferentes letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

⁽³⁾C0= 1,152 g cm⁻³; C2= 1,244 g cm⁻³; C4=1,245 g cm⁻³ e C6=1,200 g cm⁻³.

Para as cultivares CAC-1 e FT-Cristalina o conteúdo de água na tensão de $-0,001\text{MPa}$ diferiu significativamente do conteúdo a $-0,05\text{ MPa}$, promovendo maiores valores de área, diâmetro, comprimento e densidade de comprimento radicular. Para a cultivar CAC-1 não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos com e sem infestação do solo com o patógeno, exceto para massa seca de raiz e densidade de massa seca de raiz, em que os tratamentos com infestação apresentaram menores valores, diferindo significativamente dos não infestados (Tabela 8).

Plantas de FT-Cristalina cultivadas em solo infestado com o patógeno apresentaram redução significativa no desenvolvimento de raízes, na primavera/verão e no outono/inverno (Tabelas 7 e 8). Infecção severa pode causar necrose da raiz e reduzir significativamente o comprimento, a área, volume, e massa de raiz de plantas infectadas, as quais podem ser facilmente arrancadas do solo (ORTIZ-RIBBING & EASTBURN, 2004).

Na primavera/verão 2009/10 os sintomas típicos da doença na parte aérea e sistema radicular não foram tão intensos, porém quando se avaliou o desenvolvimento radicular, este foi bem afetado principalmente na cultivar suscetível cultivada em solo infestado. Apesar da avaliação da reação de cultivares segundo os sintomas foliares da PVR ser rápida e relativamente eficiente, alguns autores relataram falta de correlação entre sintomas nas raízes e na parte aérea (GRAY & ACHENBACH, 1996; SCHERM & YANG, 1996; HARTMAN et al., 1997).

No outono/inverno de 2010, o desenvolvimento radicular das raízes das cultivares FT-Cristalina e CAC-1, foi influenciado por níveis de compactação e conteúdos de água. Níveis mais baixos de compactação e mais altos de conteúdo de água ($-0,001\text{MPa}$), foram os que apresentaram maiores valores de área, diâmetro, comprimento e densidade de comprimento radicular. A infestação do solo com *F. tucumaniae* promoveu redução significativa do desenvolvimento do sistema radicular, principalmente na cultivar suscetível FT-Cristalina, assim como ocorreu na primavera/verão 2009/10.

CONCLUSÕES

No experimento de casa de vegetação conduzido na primavera/verão de 2009/10, não foram detectadas diferenças estatísticas significativas para severidade dos sintomas nas raízes e na parte aérea das plantas da cultivar CAC-1 e FT-Cristalina, submetidas à diferentes condições de cultivo, exceto para o fator infestação do solo com patógeno. O maior nível de compactação (densidade = $1,281 \text{ g cm}^{-3}$ e resistência do solo à penetração = $0,602 \text{ MPa}$) foi o qual as raízes se desenvolveram menos.

Na época de outono/inverno de 2010, observaram-se diferenças estatísticas significativas para severidade dos sintomas nas raízes e na parte aérea das plantas da cultivar CAC-1 e FT-Cristalina, submetidas à diferentes condições de cultivo para plantas cultivadas em solo infestado. A cultivar FT-Cristalina e CAC-1 foram influenciadas pelo tratamento de irrigação, sendo que nas menores tensões de água apresentaram maiores severidades dos sintomas na parte aérea. Os tratamentos infestados, nesta época, diferiram estatisticamente dos não infestados em relação a altura de plantas, tendo FT-Cristalina reduzido, em média, sua altura de plantas em 14 cm, e CAC-1 em 10 cm.

A infestação do solo com *Fusarium tucumaniae* promoveu redução significativa do desenvolvimento do sistema radicular, principalmente na cultivar suscetível FT-Cristalina, tanto na primavera/verão 2009/10, quanto no outono/inverno 2010.

REFERÊNCIAS

- ACHENBACH, L. A.; PATRICK, J.; GRAY, L. Use of RAPD markers as a diagnostic tool for the identification of *Fusarium solani* isolates that cause soybean sudden death syndrome. **Plant Disease**, St. Paul, v. 80, p. 1228-1232, 1996.
- ACHENBACH, L. A.; PATRICK, J.; GRAY, L. Genetic homogeneity among isolates of *Fusarium solani* that cause soybean sudden death syndrome. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 95, n. 3, p 474-478, 1997.
- ALMEIDA, A. M. R. et al. Doenças da soja (*Glicine max* L.) In : KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v. 2, p. 642-664.
- AMERICAN SOYBEAN ASSOCIATION. 2011. **Soy Stats 2011**. Disponível em: <<http://www.soystats.com/2011/Default-frames.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2011.
- ANDERSON, T. R. et al. First report of *Fusarium solani* f.sp. *glycines* causing sudden death syndrome of soybean in Canada. **Plant Disease**, St. Paul, v. 82, n. 4, p. 448, 1998.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. CD-ROM.
- AOKI, T. et al. Sudden death syndrome of soybean is caused by two morphologically and phylogenetically distinct species within the *Fusarium solani* species complex, *F. virguliforme* in North America and *F. tucumaniae* in South America. **Mycologia**, Bronx, v. 95, p. 660-684, 2003.
- AOKI, T. et al. Sudden death syndrome of soybean in South America is caused by four species of *Fusarium*: *Fusarium brasiliense* sp. nov., *F. cuneirostrum* sp. nov., *F. tucumaniae*, and *F. virguliforme*. **Mycoscience**, Tokyo, v. 46, n. 3, p. 162-183, 2005.

- ARRUDA, G. M. T. et al. Morphological and molecular characterization of the sudden death syndrome pathogen of soybean in Brazil. **Plant Pathology**, v. 54 ,n. 1, p. 53-65, 2005.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (Special Publication, 49).
- BALARDIN, R. S.; RUBIN, S. A. L. Reação de germoplasma de soja à *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...**Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 461.
- BARBIERI, J. L.; POLI, D. M.; DONZELLE, J. L. Os Latossolos roxos e a cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Coopercucar**, São Paulo, v. 32, p. 1-10, 1985.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat** – sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos, versão 1.1.0.626. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 2011.
- BASSOI, L. H. et al. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estrutura latossólica: II. Compactação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, p. 541-548, 1994.
- BENNIE, A. P. T. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.) **Plant roots**. New York: M. Dekker, 1996, p. 453-470.
- BERNARDI, W. F. **Estratégia de seleção de genótipos de soja para resistência à podridão vermelha das raízes**. Piracicaba, 2008. 125f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- BERNSTEIN, E. R. et al. First report of sudden death syndrome of soybean in Wisconsin. **Plant Disease**, St. Paul, v. 91, p. 1201, 2007.
- BEUTLER, A. N. **Efeito da compactação do solo e do conteúdo de água nas características agrônômicas de soja e arroz de sequeiro**. 2003. 126 f. Tese (Doutor em Agronomia) – Faculdade de Ciências agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 849-856, 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 581-588, 2004.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. Comparação de métodos para determinação da capacidade de campo em laboratório. **Cultura Agrônômica**, v. 12, p. 55-68, 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois latossolos. **Irriga**, Botucatu, v. 9, p. 181-192, 2004.
- BEUTLER, A. N. et al. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, 2006.
- CENTURION, J. F. **Caracterização e classificação dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal**. 1998. 84 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1998.
- CHANG, S. J. C. et al. Two additional loci underlying durable field resistance to soybean sudden death syndrome (SDS). **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 1684-1688, 1996.
- CHILVERS, M. I.; BROWN-RYTLEWSKI, D. E. First report and confirmed distribution of soybean sudden death syndrome in southern Michigan. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, p. 1164, 2010.
- CHILVERS, M. et al. **Soybean sudden death syndrome found in four new counties in 2011**. Extension News for Agriculture. Michigan State University, 2011. Disponível em: <http://anrcom.msu.edu/news/article/soybean_sudden_death_syndrome_found_in_four_new_counties_in_2011>. Acesso em: 20 set. 2011.

- COSTA, C. L.; YORINORI, J. T. Métodos de inoculação de *Fusarium solani* para avaliação de resistência em soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 20, Suple., p. 332, 1995a.
- COSTA, C. L.; YORINORI, J. T. Reação de cultivares de soja à podridão vermelha da raiz (PVR) (*Fusarium solani*), avaliada pelo método do palito. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 20, Supl., p. 332, 1995b.
- COSTA, C. L.; YORINORI, J. T. Variabilidade morfológica e patologia de isolados de *Fusarium solani* associados à podridão vermelha da raiz em soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 18., 1996, Uberlândia. **Ata e Resumos...** Uberlândia: UFU, 1997. p. 321-322.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3, p. 201-214, 2004.
- DIANESE, A. C. et al. Podridão vermelha da raiz (*Fusarium* spp.). In: ALMEIDA, A. M.R.; SEIXAS, C. D. S. **Soja: doenças radiculares e de haste e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. cap. 1, p. 29-47.
- DIAVAN, A. C. M. M. Metodologias para a avaliação da reação de soja a *Fusarium* SP. 2008. 55 f. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia). – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- DOENÇAS da soja. **Boletim Técnico de Soja**, Rondonópolis, n. 8, p. 88-111, 2004.
- EATHINGTON, S. R. et al. Disease pressure in Illinois. **Plant Disease**, St. Paul, v. 77, p. 11136-1139, 1993.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região Central do Brasil 1996/97**. Londrina: Embrapa Soja, 1996. 164 p. (Documentos, 96).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja na região Central do Brasil 2001/02**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 267 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja - região Central do Brasil 2007**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 225 p. (Sistemas de Produção, 11).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2012 e 2013**. - Londrina: Embrapa Soja, 2011. 262 p. (Sistemas de Produção, 15).

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA. Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Disponível em: <<http://www.exatas.fcav.unesp.br/estacao/Operacao/consDadosDiarios.php>> Acesso em: 2009 e 2010.

FARIAS NETO, A. L. et al. Avaliação de genótipos de soja quanto a resistência à podridão vermelha da raiz (*Fusarium solani* f. sp. *glycines*) (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Anais...**Goiânia: UFG/Embrapa Arroz e Feijão/ AGENCIARURAL, 2001.

FARIAS NETO, A. L. et al. Irrigation and inoculation treatments that increase the severity of soybean sudden death síndrome in the field. **Crop Science**, v.46, n.6, p.2547-2554, 2006. Disponível em: <[HTTP://dx.doi.org/10.2135/cropscience2006.02.0129](http://dx.doi.org/10.2135/cropscience2006.02.0129)>.

FEHR, W. R.; CAVINESS, J. A. **Stages of soybean development**. Ames: Yowa State University, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

FRANCO, H. B. J. ***Fusarium solani* f. sp.*glycines*: crescimento , esporulação e viabilidade do emprego da técnica da folha destacada para estudos de reações em genótipos de soja**. 2004. 105 f. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia). – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

FRANCO, H. B. J. **Metodologias para determinação da reação de cultivares de soja à *Fusarium tucumaniae***. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

- FRANCO, H. B. J.; CENTURION, M. A. P. C.; BARBOSA, J. C. Estudo de métodos de inoculação para a avaliação de cultivares de soja a *Fusarium tucumaniae*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 35, n. 1, p. 32-38, 2007.
- FREDDI, O. S. **Avaliação do intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho cultivado com milho**. 2007. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.
- FREDDI, O. S. et al. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. I – Características de planta, solo e índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 793-803, 2009.
- FREITAS, T. M. Q.; MENEGHETTI, R. C.; BALARDIN, R. S. Dano devido à podridão vermelha da raiz na cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 991-996, 2004.
- FRONZA, V. **Genética da reação da soja à *Fusarium solani* f. sp. *glycines***. 2003. 154 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- FUJIWARA, M. et al. **A técnica de estudo de raízes pelo método do trado**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1994. 9 p. (Boletim Técnico, 153).
- GÁSPERI, A. C. **Variabilidade de isolados, reação de cultivares e danos causados por *Fusarium solani* f. sp. *glycines* em soja**. 2000. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2000.
- GÁSPERI, A. C.; PRESTES, A. M.; COSTAMILAN, L. M. Reação de cultivares de soja à podridão vermelha da raiz causada por *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 544-547, 2003.
- GONGORA-CANUL, C. C.; LEANDRO, L. F. S. Plant age affects root infection and development of foliar symptoms of soybean sudden death syndrome. **Plant Disease**, St. Paul, v. 95, p. 242-247, 2011.
- GRAY, L. E.; ACHENBACH, L. A. Severity of foliar symptoms and root crown rot of soybean inoculated with various isolates and inoculum rates of *Fusarium solani*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 80, p. 1197-1199, 1996.

- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro - II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 213-218, 2002.
- HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R. et al. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRS Press, 1998. p. 167-179 (Advances in Soil Science).
- HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. **Compendium of soybean diseases**. St. Paul, MN: APS Press, 1999. 100 p.
- HARTMAN, G. L. et al. Germplasm evaluation of *Glycine max* for resistance to *Fusarium solani*, the casual organism of sudden death syndrome. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, p. 515-518, 1997.
- HEAVNER, D. L.; NICKELL, C. D.; KOLB, F. L. Genetic analysis of the response of the soybean cultivar Asgrow A4715 to *Fusarium solani*. **Soybean Genetics Newsletter**, Ames, v. 23, p. 144-148, 1996.
- HERSHMAN, D. E. Disease of the root system: soybean sudden death syndrome. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos cerrados, 8; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SAVANAS TROPICAIS: biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nas savanas tropicais, 1., 1996, Brasília. **Anais...** 1996. p. 97-99.
- HERSHMAN, D. E. et al. Influence of planting date and cultivar on soybean sudden death syndrome in Kentucky. **Plant Disease**, St. Paul, v. 74, p. 761-766, 1990.
- HIRREL, M. C. Sudden death syndrome of soybean: A disease of unknown etiology. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, p. 501-502, 1983.
- HNETKOVSKY, N. et al. Genetic mapping of loci underlying field resistance to soybean sudden death syndrome (SDS). **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 393-400, 1996.
- HUANG, Y. H.; HARTMAN, G. L. Reaction of selected soybean genotypes to isolates of *Fusarium solani* f. sp. *glycines* and their culture filtrates. **Plant Disease**, St. Paul, v. 82, p. 999-1002, 1998.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

JARDINE, D. J.; RUPE, J. C. First report of sudden death syndrome of soybeans caused by *Fusarium solani* in Kansas. **Plant Disease**, St. Paul, v. 77, p. 1264, 1993.

KILLEBREW, F. et al. Greenhouse and field evaluation of *Fusarium solani* pathogenicity to soybean seedlings. **Plant Disease**, St. Paul, v. 72, p. 1067-1070, 1988.

KIMATI, H. et al. (Ed). **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v. 1, 663 p.

KLINGELFUSS; L. H.; YORINORI, J. T.; DESTRO, D. Métodos de inoculação para quantificação de resistência em soja a *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, em casa de vegetação. **Fitopatologia. Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 50-55, 2007.

KLINGELFUSS, L.H. et al. Resposta de genótipos de soja à síndrome da morte súbita (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Anais...Goiânia: UFG/Embrapa Arroz e Feijão/Agência Rural**, 2001a.

KLINGELFUSS, L.H. et al. Resposta de genótipos de soja à síndrome da morte súbita. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., 2001, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2001b. p. 113-114.

KLINGELFUSS, L. H. et al. Reaction of soybean cultivars to sudden death syndrome and disease scoring methods for screening resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, p. 257-264, 2002.

KURLE, J. E. et al. First report of sudden death syndrome (*Fusarium solani* f. sp. *glycines*) of soybean in Minnesota. **Plant Disease**, St. Paul, v. 87, p. 449, 2003.

LEÃO, R. Z. R.; FREITAS, M. A.; CAFÉ FILHO, A. C. Reação de cultivares de soja à inoculação com isolados de diferentes espécies e *formae speciales* de *Fusarium*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 24, n. 3/4, p. 414-421, 1998.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, n. 1, p. 277-294, 1985.

- LI, S.; HARTMAN, G. L.; GRAY, L. E. Chlamydospore formation, production, and nuclear status in *Fusarium solani* f. sp. *glycines* soybean sudden death syndrome-causing isolates. **Mycologia**, Bronx, v.90, n.3, p.414-421, 1998.
- LIM, S. M. A Technique for inoculating soybeans in the greenhouse with *Fusarium solani*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 81, p. 1238, 1991.
- MATERECHERA, S.A. et al. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 144, p. 297-303, 1992.
- McLEAN, K.; LAWRENCE, G. W. Interrelationship of *Heterodera glycines* and *Fusarium solani* in sudden death syndrome of soybean. **Journal of Nematology**, v. 25, n. 3, p. 434-439, 1993.
- MELGAR, J.; ROY, K. W. Soybean sudden death syndrome: cultivar reactions to inoculation in a controlled environment and host range and virulence of casual agent. **Plant Disease**, St. Paul, v. 78, p. 265-268, 1994.
- MELGAR, J.; ROY, K. W.; ABNEY, T. S. Sudden death syndrome of soybean: Etiology, symptomatology, and effects of irrigation and *Heterodera glycines* on incidence and severity under field conditions. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 72, p. 1647-1653, 1994.
- MENEZES, M.; OLIVEIRA, S. M.A. *Fungos Fitopatogênicos*. Recife: Imprensa Universitária, 1993. 277 p.
- MEYERS, J. A.; COOK, R. J. Induction of chlamydospore formation in *Fusarium solani* by abrupt removal of the organic carbon substrate. **Phytopathology**, St. Paul, v. 62, p. 1148-1153, 1972.
- MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 38, p. 42-43, 1985.
- MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v. 54, p. 393-403, 1995.
- MUELLER, D. S. et al. Evaluation of *Glycine max* germ plasm for resistance to *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 86, p. 741-746, 2002.

- NAKAJIMA, T. et al. Occurrence of soybean sudden death syndrome caused by *Fusarium solani* in Brazil. In: INTERNATIONAL *FUSARIUM* WORKSHOP, 7., 1993, Pennsylvania. **Abstracts**...Pennsylvania: Pennsylvania State University, 1993. p. 79.
- NAVI, S. S.; YANG, X. B. 2008. Foliar symptom expression in association with early infection and xylem colonization with *Fusarium virguliforme* (formerly *F. solani* f. sp. *glycines*), the causal agent of soybean sudden death syndrome. Online. **Plant Health Progress**. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1094/PHP-2008-0222-01-RS>>.
- NELSON, B. D. et al. Reaction of soybean cultivars to isolates of *Fusarium solani* from the Red River Valley. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, p. 664-668, 1997.
- NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 183-186, 1987.
- NJITI, V. N. Relationship between soybean sudden death syndrome disease measures and yield components in F₆- derived lines. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 673-678, 1998.
- NJITI, V. N. et al. Soybean response to sudden death syndrome: inheritance influenced by cyst nematode resistance in Pyramid x Douglas progenies. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 1165-1170, 1996.
- NJITI, V. N. et al. An effective greenhouse assay for field resistance to SDS. **Soybean Genetics Newsletter**, Ames, v.24, p.132-135, 1997a.
- NJITI, V. N. et al. Rate-reducing resistance to *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* underlies field resistance to soybean sudden death syndrome. **Crop Science**, Madison, v.37, p. 132-138, 1997b.
- NJITI, V. N. et al. Inoculum rate influences selection for field resistance to sudden death syndrome in the greenhouse. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1726-1731, 2001.
- NOGUEIRA, S. S. S.; MANFREDINI, S. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 973-976, 1983.
- ORTIZ-RIBBING, L. M.; EASTBURN, D. M. Soybean root systems and sudden death syndrome severity: taproot and lateral root infection. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, p. 1011-1016, 2004.

- PARK, D. Effect of substrate on a microbial antagonism, with reference to soil conditions. **British Mycological Society Transaction**, London, v. 39, p. 239-259, 1956.
- PETTER, R. L. **Desenvolvimento radicular da soja em função da compactação do solo, conteúdo de água e fertilidade em Latossolo**. 1990. 144 f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990.
- PORTO, S. I.; SILVA, A. C. P.; BESTETTI, C. R. In: CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. **12º levantamento de grãos**. set/2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_09_19_09_49_47_boletim_setembro-2011.pdf>. Acesso em: 19 set. 2011.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Marília, v. 35, p. 929-938, 2000.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- RINGLER, G. A.; NICKELL, C. D. Genetic resistance to *Fusarium solani* in Pioneer Brand 9451 soybean. **Soybean Genetics Newsletter**, Ames, v. 23, p. 149-154, 1996.
- ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, p. 259-266, 1994.
- ROY, K. W. *Fusarium solani* on soybean roots: Nomenclature of the casual agent of sudden death syndrome and identity and relevance of *F. solani* form B. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, p. 259-266, 1997.
- ROY, K. W. et al. Sudden death syndrome of soybean: *Fusarium solani* as incitant and relation of *Heterodera glycines* to disease severity. **Phytopathology**, St. Paul, v. 79, p. 191-197, 1989.
- ROY, K. W. et al. Sudden death syndrome of soybean. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, n. 10, p. 1100-1111, 1997.

- ROY, K. W., et al. Diagnosis of sudden death syndrome of soybean. **Plant Diagnostics Quarterly**, v. 12, p. 166-168, 1991.
- RUPE, J. C. Frequency and pathogenicity of *Fusarium solani* recovered from soybeans with sudden death syndrome. **Plant Disease**, St. Paul, v. 73, p. 581-584, 1989.
- RUPE, J. C.; GBUR, E. E. Effect of plant age, maturity group, and the environment on disease progress of sudden death syndrome of soybean. **Plant Disease**, St. Paul, v. 77, p. 139-143, 1995.
- RUPE, J. C.; HARTMAN, G. L. Sudden death syndrome. In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. **Compendium of Soybean Diseases**. 4^a ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 1999, p. 35-36.
- RUPE, J. C.; HIRRELL, M. C.; HERSHMAN, D. E. Sudden death syndrome. In: SINCLAIR, J. B.; BACKMAN, P. A. (Ed.). **Compendium of soybean**. 3rd. ed. St Paul: APS Press, 1989. p. 84-85.
- RUPE, J. C.; ROBBINS, R. T.; GBUR JR., E. E. Effect of crop rotation on soil population densities of *Fusarium solani* and *Heterodera glycines* and on the development of sudden death syndrome of soybean. **Crop Protection**, v. 16, p. 575-580, 1997.
- RUPE, J. C. et al. Cultivar responses to sudden death syndrome of soybean. **Plant Disease**, St. Paul, v. 75, p. 47-50, 1991.
- RUPE, J. C. Epidemiology of sudden death syndrome of soybean. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina:Embrapa Soja, 1999. p. 139-148.
- RUPE, J. C. et al. Differentiation of the sudden death syndrome pathogen of soybean, *Fusarium solani* f. sp. *glycines*, from other isolates of *F. solani* based on cultural morphology, pathogenicity, and mitochondrial DNA restriction fragment length polymorphisms. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 79, p. 829-835, 2001.
- SCANDIANI, M. M. et al. Síndrome de la muerte repentina de la soja en el norte de la provincial de Buenos Aires y sur de Santa Fé. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 76.

- SCHERM, H.; YANG, X. B. Development of sudden death syndrome of soybean in relation to soil temperature and soil water matric potential. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 86, p. 642-649, 1996.
- SCHERM, H.; YANG, X. B. Risk assessment for sudden death syndrome of soybean in the north-central United States. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 59, p. 301-310, 1999.
- SEDIYAMA, T. et al. **Cultura da soja: I parte**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1985. 96 p.
- SNYDER, W. C.; HANSEN, H. N. The species concept in *Fusarium*. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 27, p. 64-67, 1940.
- STEPHENS, P. A. et al. Genetic analysis of resistance to *Fusarium solani* in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 929-930, 1993a.
- STEPHENS, P. A. et al. Relationship between field and greenhouse reactions of soybean to *Fusarium solani*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 77, p. 163-166, 1993b.
- STEPHENS, P. A. et al. Sudden death syndrome of soybean development in soybean cultivars differing in resistance to *Fusarium solani*. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 63-66, 1993c.
- TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to coil compaction. Towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, p. 217-243, 1994.
- TOPP, G. C.; GALGANOW, Y. T.; WIRES, K. C. **Non limiting water range (NLWR)**: an approach for assessing soil structure. Ottawa: Soil Quality Evaluation Program, 1994. 96 p. (Technical Report, 2).
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 573-581, 1998.
- TORTO, G. A.; NJITI, V.; LIGHTFOOT, D. A. Loci underlying resistance to sudden death syndrome and *Fusarium solani* in field and greenhouse assays do not correspond. **Soybean Genetics Newsletter**, Ames, v. 23, p. 163-166, 1996.

- UNGER, W. P.; KASPAR, T. C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 759-766, 1994.
- VICK, C. M. et al. Response of soybean sudden death syndrome to subsoil tillage. **Plant Disease**, St. Paul, v. 87, n. 6, p. 629-632, 2003.
- WESTPHAL, A. et al. Sudden death syndrome of soybean. **The Plant Health Instructor**. St. Paul: Purdue University, 2008. Disponível em: <<http://apsnet.org/education/lessonsplantpath/SuddenDeathSyn>>. Acesso em: 19 set. 2011.
- WRATHER, J. A.; KOENNING, S. R. Estimates of disease effects on soybean yields in the United States (2003-2005). **Journal of Nematology**, v. 38, p. 173-180, 2006.
- WRATHER, J. A. et al. Effects of tillage, cultivar, and planting date on percentage of soybean leaves with symptoms of sudden death syndrome. **Plant Disease**, St. Paul, v. 79, p. 560-562, 1995.
- WRATHER, J. A. et al. Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. **Plant Disease**, St Paul, v. 81, p. 107-110, 1997.
- XING, L. J.; WESTPHAL, A. Interaction of *Fusarium solani* f. sp. *glycines* and *Heterodera glycines* in sudden death syndrome of soybean. **Phytopathology**, St. Paul, v. 96, p. 763-770, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/1094/PHYTO-96-0763>>.
- XING, L. J.; WESTPHAL, A. Effects of crop rotation of soybean with corn on severity of sudden death syndrome and population densities of *Heterodera glycines* in naturally infested soil. **Field Crops Research**, v. 12, p. 107-117, 2009.
- YANG, X. B.; RIZVI, S. S. First report of sudden death syndrome of soybean in Iowa. **Plant Disease**, St. Paul, v. 78, n. 8, p. 830, 1994.
- YORINORI, J. T. Soja (*Glycine max* (L.) Merrill): controle de doenças. In: RIBEIRO DO VALE, F. X.; ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. v. 2, p. 953-1023.
- YORINORI, J. T. Evolução da ocorrência e da severidade da podridão vermelha da raiz da soja (PVR/SDS) e reação das cultivares comerciais à doença In: REUNIÃO DE

- PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 22., 2000, Cuiabá. **Resumos** ...Londrina: Embrapa Soja, 2000a. p. 94.
- YORINORI, J. T. Riscos de surgimento de novas doenças na cultura da soja. In: TECNOLOGIA E COMPETITIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 28., 2000, Cuiabá. **Anais** ... Cuiabá: Fundação MT, 2000b. p. 165-169.
- 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. 171-186.
- YORINORI, J. T.; HIROMOTO, D. M. Controle integrado de doenças da soja: determinação de perdas de vigor em soja causadas por doenças fúngicas. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja 1997**. Londrina: Embrapa Soja, 1998. p. 112-114.
- YORINORI, J. T.; NOMURA, S. L. Cultivares de soja resistentes à podridão vermelha da raiz causada por *Fusarium solani*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, supl., p. 339, 1994.
- YORINORI, J. T. et al. Doenças da soja e seu controle In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 333-390.

APÊNDICE

Apêndice 1. Resultados das análises química e física da amostra de terra representativa da área experimental destinada ao ensaio de campo (época outono/inverno 2009).

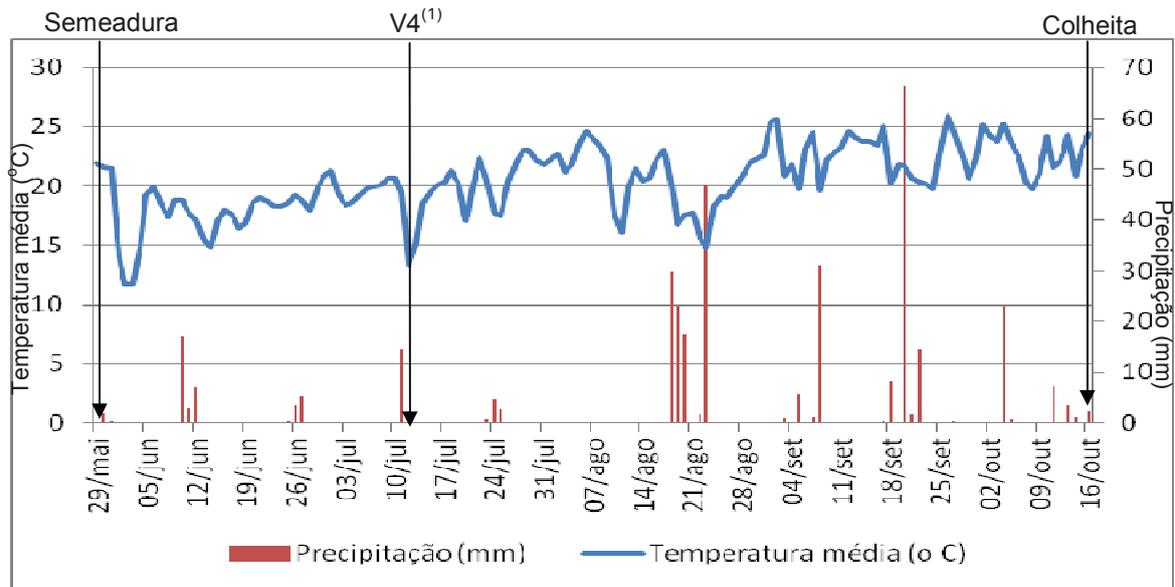
Análise química	pH em CaCl₂	M.O. g dm⁻³	P resina mg dm⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V%
				-----mmol _c dm ⁻³ -----						
Amostras ⁽¹⁾										
1	5,3	21	70	5,4	30	15	31	50,4	81,4	62
2	5,4	26	66	3,7	43	18	31	64,7	95,7	68
Análise física	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa						
	55%	24%	11%	10%						

⁽¹⁾Amostra 1 refere-se a análise química da área que era cultivada com milho anteriormente, e a 2 era cultivada com soja.

Apêndice 2. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao período em que o experimento outono/inverno 2009 foi conduzido.

2009 Mês	Temperatura (°C)			UR(%)	Precipitação (mm)
	Máxima	Mínima	Média		
Maio (4 dias)	28,48	17,65	21,75	73,48	2,00
Junho (30 dias)	24,23	12,09	17,47	70,94	35,60
Julho (31 dias)	28,98	24,22	19,78	69,80	22,20
Agosto (31 dias)	28,0	14,6	20,3	66,3	133,1
Setembro (30 dias)	29,7	17,8	22,9	74,0	132,4
Outubro (16 dias)			22,78		2,2

Fonte: ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP/ Câmpus de Jaboticabal.



Apêndice 2 A. Precipitação e temperatura média diárias, no período de maio de 2009 a outubro de 2009.

(1) Avaliação do número plantas mortas, no estágio V4.

Fonte: ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

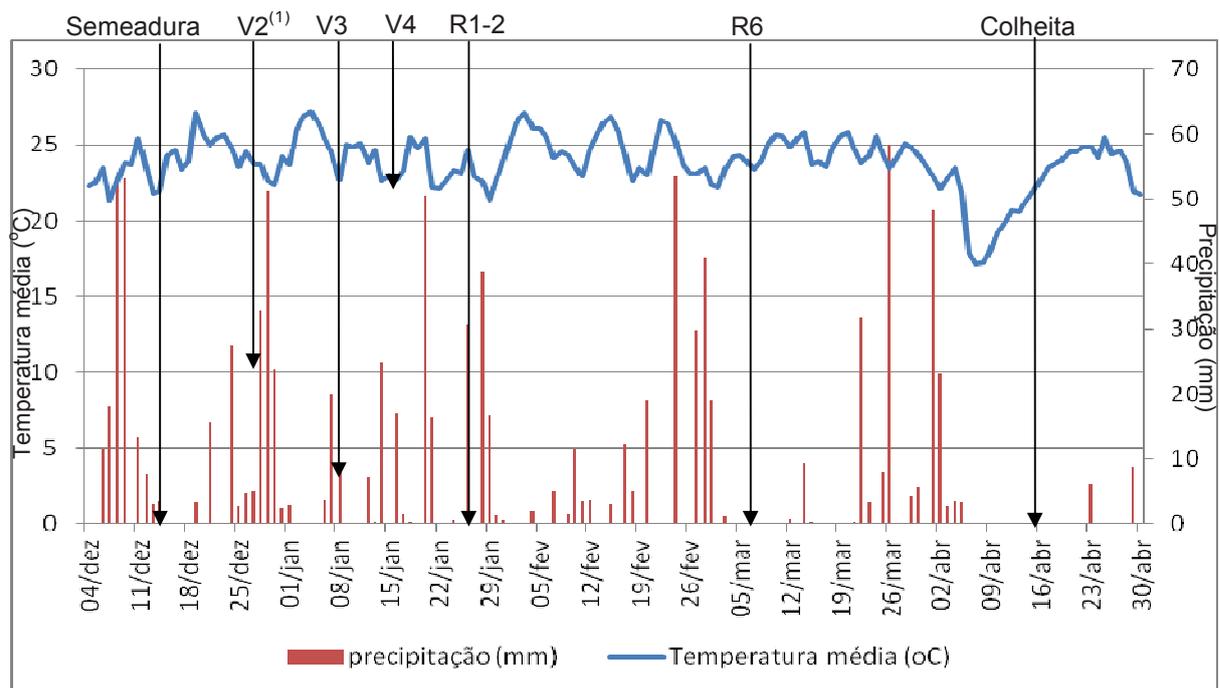
Apêndice 3. Resultados das análises química e física da amostra de terra representativa da área experimental destinada ao ensaio de campo (época primavera/verão 2009/10).

Análise química	pH em CaCl_2	M.O. g dm^{-3}	P resina mg dm^{-3}	-----mmol _c /dm ³ -----						T	V%
				K	Ca	Mg	H+Al	SB			
Amostra											
1	5,3	23	56	4,6	38	16	28	58,6	86,6	68	

Apêndice 4. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao período em que o experimento de primavera/verão 2009/2010 foi conduzido.

2009/10 Mês	Temperatura (°C)			UR(%)	Precipitação (mm)
	Máxima	Mínima	Média		
Dezembro (15 dias)	29,8	20,5	24,1	81,8	383,7
Janeiro (31 dias)	30,4	20,8	24,4	82,2	240,7
Fevereiro (28 dias)	32,2	20,4	25,3	76,6	150,7
Março (31 dias)	31,4	20,0	24,6	77,6	183,0
Abril (27 dias)	29,2	17,1	22,2	74,6	95,5

Fonte: ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP/Câmpus Jaboticabal.



Apêndice 4 A. Precipitação e temperatura média diárias, no período de dezembro de 2009 a abril de 2010.

⁽¹⁾Avaliação do número de plantas mortas, nos estádios V2, V3, V4, R1-2 e R6.

Fonte: ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA, Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal.