**RELAÇÕES ENTRE A DENSIDADE POPULACIONAL DE
Meloidogyne javanica E *Heterodera glycines* (Nemata: Tylenchoidea),
A ÁREA FOLIAR, A FOTOSSÍNTESE E OS DANOS CAUSADOS
A VARIEDADES DE SOJA**

GUILHERME LAFOURCADE ASMUS

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **LUIZ CARLOS C. B. FERRAZ**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia,
Área de Concentração: Fitopatologia.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo – Brasil

Dezembro de 2000

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Asmus, Guilherme Lafourcade

Relação entre a densidade populacional de *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* (Nemata : Tylenchoidea), a área foliar, a fotossíntese e os danos causados a variedades de soja / Guilherme Lafourcade Asmus. - - Piracicaba, 2000.
137 p.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Área foliar 2. Dano 3. Densidade populacional 4. Fotossíntese 5. Meloidoginose 6. Nematóide-de-cabote-da-soja 7. Nematóide-de-galhas 8. Soja I. Título

CDD 633.34

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

Ao povo brasileiro que, compulsoriamente, através do pagamento de impostos, contribuiu para que este trabalho fosse realizado. Que lhe seja útil!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste – CPAO, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, e à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, pela oportunidade concedida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao professor Luiz Carlos C. Barbosa Ferraz, da ESALQ/USP, por quem cultivo sincera admiração, pela eficiente e precisa orientação.

Ao professor Ricardo Ferraz de Oliveira, do Departamento de Ciências Biológicas da ESALQ/USP, por facilitar o uso do laboratório de Plantas Cultivadas sob Condições de Estresse e pelo auxílio na interpretação dos resultados.

Ao professor Manoel Carlos Gonçalves, do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, pelo sempre prestativo auxílio nas análises estatísticas.

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola da ESALQ/USP pelos ensinamentos, cooperação e amizade.

Aos professores Ailton Rocha Monteiro e Mário Massayuki Inomoto pelos exemplos de dedicação ao ensino e à ciência.

À Melissa Dall'Oglio Tomazini, acadêmica de Ciências Biológicas da UNIMEP, pelo despretensioso e fundamental auxílio nas avaliações.

À Sonia Regina Antedomênico e ao Osmar Benedito Marques que, anonimamente, contribuíram para que o meu trabalho se tornasse mais fácil e agradável.

Ao amigo Antônio Dias Robaina e ao colega Fernando Lamas pelas orientações sobre o uso do programa estatístico.

Ao colega Augusto Goulart pelo auxílio na recuperação de material bibliográfico.

À minha família, por ter-se mantido como um time vencedor, mesmo com um jogador titular a menos.

Aos amigos Crébio e Maria José, que facilitaram sobremaneira minha re-
adaptação à vida acadêmica e se mostraram companheiros incondicionais em todos os
momentos de minha estada em Piracicaba.

Aos companheiros de todas as horas Quelmo, João Flávio, Heloisa, Renato e
Célia, que souberam dividir o apartamento, o conhecimento, as encrencas, as alegrias, as
cantorias, os altos papos, os forrós, as despesas e a mesa de bar. Que o tempo não
apague as boas lembranças que tenho de todos!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xvi
RESUMO.....	xviii
SUMMARY.....	xx
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 A importância dos nematóides na sojicultura.....	03
2.2 A avaliação dos danos causados por nematóides na sojicultura.....	04
2.3 Efeitos do parasitismo por nematóides sobre processos fisiológicos da soja....	07
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Preparo do substrato e semeadura.....	12
3.2 Inoculação e transplantio.....	13
3.3 Produção de inóculo.....	13
3.4 Avaliações.....	14
3.4.1 Área foliar.....	15
3.4.2 Fotossíntese e condutância estomática.....	17
3.4.3 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	19
3.4.4 Cor.....	20
3.4.5 Teor de clorofila.....	20
3.4.6 Massa seca da parte aérea.....	21
3.4.7 Massa fresca do sistema radicular.....	21
3.4.8 Infectividade e reprodução dos nematóides.....	21
3.4.8.1 Infectividade de <i>Heterodera glycines</i> em variedades com reações distintas.....	21
3.4.8.2 Avaliação da capacidade reprodutiva dos nematóides.....	22
3.5 Registro dos dados de temperatura na casa de vegetação.....	23

3.6 Tratamentos fitossanitários.....	24
3.7 Delineamento experimental.....	24
4 RESULTADOS.....	26
4.1 Experimentos com <i>Meloidogyne javanica</i>	26
4.1.1 Efeitos de <i>Meloidogyne javanica</i> sobre processos fisiológicos da soja.....	26
4.1.1.1 Efeito sobre a fotossíntese.....	26
4.1.1.2 Efeito sobre a condutância estomática.....	27
4.1.1.3 Efeito sobre a fluorescência da clorofila <i>a</i>	28
4.1.1.4 Efeito sobre a cor das folhas.....	29
4.1.1.5 Efeito sobre o teor de clorofila foliar.....	29
4.1.2 Efeito de <i>Meloidogyne javanica</i> sobre o crescimento e a produção da soja ..	42
4.1.2.1 Efeito sobre a área foliar.....	42
4.1.2.2 Efeito sobre a massa fresca das raízes.....	42
4.1.2.3 Efeito sobre a massa seca total da parte aérea.....	43
4.1.2.4 Efeito sobre a produção de grãos.....	44
4.1.3 Efeito da Pi sobre a reprodução de <i>Meloidogyne javanica</i>	44
4.1.3.1 Produção de ovos de <i>Meloidogyne javanica</i> nas raízes.....	44
4.1.3.2 Fator de reprodução de <i>Meloidogyne javanica</i>	45
4.1.4 Correlação entre as variáveis fisiológicas e de crescimento e produção da soja.....	45
4.1.4.1 Variáveis relacionadas com a fotossíntese.....	45
4.1.4.2 Variáveis relacionadas com o crescimento e produção.....	52
4.2 Experimentos com <i>Heterodera glycines</i>	55
4.2.1 Efeitos de <i>Heterodera glycines</i> sobre processos fisiológicos da soja.....	55
4.2.1.1 Efeito sobre a fotossíntese.....	55
4.2.1.2 Efeito sobre a condutância estomática.....	56
4.2.1.3 Efeito sobre a fluorescência da clorofila <i>a</i>	56
4.2.1.4 Efeito sobre a cor das folhas.....	57
4.2.1.5 Efeito sobre o teor de clorofila foliar.....	57
4.2.2 Efeito de <i>Heterodera glycines</i> sobre o crescimento e a produção da soja	69

4.2.2.1 Efeito sobre a área foliar.....	69
4.2.2.2 Efeito sobre a massa fresca das raízes.....	69
4.2.2.3 Efeito sobre a massa seca total da parte aérea.....	70
4.2.2.4 Efeito sobre a produção de grãos.....	70
4.2.3 Efeito da Pi sobre a reprodução do nematóide.....	71
4.2.3.1 Produção de ovos nas raízes das plantas.....	71
4.2.3.2 Fator de reprodução.....	71
4.2.4 Correlação entre as variáveis fisiológicas e de crescimento e produção da soja.....	78
4.2.4.1 Variáveis relacionadas com a fotossíntese.....	78
4.2.4.2 Variáveis relacionadas com o crescimento e produção.....	78
5 DISCUSSÃO.....	82
5.1 Experimentos com <i>Meloidogyne javanica</i>	82
5.1.1 Efeitos sobre processos fisiológicos da soja.....	82
5.1.2 Efeitos sobre o crescimento e a produção de soja.....	84
5.1.3 Análise da possibilidade de uso de dados da fotossíntese e da área foliar em modelos de previsão de perdas.....	86
5.1.4 Efeitos da densidade populacional sobre a reprodução do nematóide.....	88
5.2 Experimentos com <i>Heterodera glycines</i>	89
5.2.1 Efeitos sobre processos fisiológicos da soja.....	89
5.2.2 Efeitos sobre o crescimento e a produção de soja.....	92
5.2.3 Análise da possibilidade de uso de dados da fotossíntese e da área foliar em modelos de previsão de perdas.....	94
5.2.4 Efeitos da densidade populacional sobre a reprodução do nematóide.....	96
6 CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
APÊNDICE 1.....	115
APÊNDICE 2.....	128

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Relação entre a área foliar e o comprimento (a), a maior largura (b) e comprimento x maior largura (c) de folíolos de soja cultivada em casa de vegetação.....	16
2 Taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em função da intensidade de radiação (PAR), em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, obtida de plantas de soja das variedades Embrapa 133, Coodetec 201 e Pintado cultivadas em casa de vegetação.....	19
3 Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a taxa fotossintética líquida (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 17, 27, 37 e 47 dias após a inoculação. (Experimento 1).....	33
4 Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a taxa fotossintética líquida (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 18, 29, 38, 54, 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	34
5 Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a condutância estomática (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 17, 27, 37 e 47 dias após a inoculação. (Experimento 1).....	35

6	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a condutância estomática (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 18, 29, 38, 54, 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	36
7	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a fluorescência (F_v/F_m) da clorofila a (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 22, 33, 43 e 47 dias após a inoculação. (Experimento 1).....	37
8	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a fluorescência (F_v/F_m) da clorofila a (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 22, 33, 43, 56, 67, 77, 89 e 99 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	38
9	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a cor das folhas (% do controle) de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 19, 32, 41 e 48 dias após a inoculação. (Experimento 1).....	39
10	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a cor de folhas (% do controle) de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 20, 32, 41, 57, 69, 80, 90 e 98 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	40
11	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e o teor de clorofila (% do controle) em folhas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	41

12	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a integral da área foliar, a massa fresca do sistema radicular e a massa seca da parte aérea de plantas de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201. (Experimento 1).....	48
13	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a integral da área foliar, a massa fresca do sistema radicular, a massa seca total da parte aérea e a produção de grãos (% do controle) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C). (Experimento 2).....	49
14	Relação entre a população inicial (J_2 /planta) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a produção de ovos/grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide em raízes de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201. (Experimento 1).....	50
15	Relação entre a população inicial (J_2 /planta) de <i>Meloidogyne javanica</i> e a produção de ovos/grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide em raízes de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C). (Experimento 2).....	51
16	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Heterodera glycines</i> e a taxa fotossintética líquida (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 19, 28, 37 e 48 dias após a inoculação. (Experimento 1).....	60
17	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Heterodera glycines</i> e a taxa fotossintética líquida (% do controle) em folíolos de soja da variedade Embrapa 133 aos 20, 29, 44, 58, 67, 79 e 91 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	61

18	Relação entre a população inicial (Pi) de <i>Heterodera glycines</i> e a condutância estomática (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 19, 28, 37 e 48 dias após a inoculação. (Experimento 1).....	62
19	Relação entre a população inicial (Pi) de <i>Heterodera glycines</i> e a condutância estomática (% do controle) em folíolos de soja da variedade Embrapa 133 aos 20, 29, 44, 58, 67, 79 e 91 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	63
20	Relação entre a população inicial (Pi) de <i>Heterodera glycines</i> e a fluorescência (Fv/Fm) da clorofila α (% do controle), em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 23, 33, 42 e 49 dias após a inoculação. (Experimento 1).....	64
21	Relação entre a população inicial (Pi) de <i>Heterodera glycines</i> e a fluorescência (Fv/Fm) da clorofila α (% do controle) em folíolos de soja da variedade Embrapa 133 aos 23, 33, 46, 56, 66, 78 e 90 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	65
22	Relação entre a população inicial (Pi) de <i>Heterodera glycines</i> e a cor das folhas (% do controle) de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 21, 31, 42 e 47 dias após a inoculação. (Experimento 1).....	66
23	Relação entre a população inicial (Pi) de <i>Heterodera glycines</i> e a cor das folhas (% do controle) em folíolos de soja da variedade Embrapa 133 aos 21, 32, 47, 59, 70, 81 e 90 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	67
24	Relação entre a população inicial (Pi) de <i>Heterodera glycines</i> e o teor de clorofila (% do controle) em folhas de soja da variedade Embrapa 133 aos 58, 67, 79 e 91 dias após a inoculação. (Experimento 2).....	68

25	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Heterodera glycines</i> e a integral da área foliar, a massa fresca do sistema radicular e a massa seca da parte aérea (% do controle) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P). (Experimento 1).....	74
26	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Heterodera glycines</i> e a integral da área foliar, a massa fresca do sistema radicular, a massa seca total da parte aérea e a produção de grãos (% do controle) de plantas de soja da variedade Embrapa 133. (Experimento 2).....	75
27	Relação entre a população inicial (J_2 /planta) de <i>Heterodera glycines</i> e a produção de ovos/grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide em raízes de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P). (Experimento 1).....	76
28	Relação entre a população inicial (P_i) de <i>Heterodera glycines</i> e a produção de ovos/grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide em raízes de soja da variedade Embrapa 133. (Experimento 2).....	77

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Número de juvenis J ₂ de <i>Heterodera glycines</i> encontrados em raízes de soja das variedades Embrapa 133 e Pintado após 24 e 72 horas da inoculação.....	22
2 Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida, condutância estomática, fluorescência da clorofila <i>a</i> e cor das folhas de plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de <i>Meloidogyne javanica</i> . (Experimento 1).....	30
3 Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida, condutância estomática e fluorescência da clorofila <i>a</i> de plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de <i>Meloidogyne javanica</i> . (Experimento 2).....	31
4 Resumo da análise de variância da cor e do conteúdo de clorofila de folhas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de <i>Meloidogyne javanica</i> . (Experimento 2).....	32
5 Resumo da análise de variância da integral da área foliar, da massa fresca do sistema radicular, da massa seca da parte aérea, do número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de <i>Meloidogyne javanica</i> em plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 inoculadas com populações (Pi) crescentes do parasito. (Experimento 1).....	46

6	Resumo da análise de variância da integral da área foliar, da massa fresca do sistema radicular, da massa seca total da parte aérea, da produção de grãos, do número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de <i>Meloidogyne javanica</i> em plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 inoculadas com populações (Pi) crescentes do parasito. (Experimento 2).....	47
7	Matriz de correlação de Pearson entre as diferentes variáveis avaliadas em plantas de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 inoculadas com populações crescentes de <i>Meloidogyne javanica</i> . (Experimento 1).....	53
8	Matriz de correlação de Pearson entre as diferentes variáveis avaliadas em plantas de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 inoculadas com populações crescentes de <i>Meloidogyne javanica</i> . (Experimento 2).....	54
9	Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida, condutância estomática, fluorescência da clorofila α e cor das folhas de plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Pintado em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de <i>Heterodera glycines</i> . (Experimento 1).....	58
10	Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida, condutância estomática, fluorescência da clorofila α , cor das folhas e teor de clorofila foliar de plantas de soja das variedades Embrapa 133 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de <i>Heterodera glycines</i> . (Experimento 2).....	59

- 11 Resumo da análise de variância da integral da área foliar, da massa fresca do sistema radicular, da massa seca da parte aérea, do número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de *Heterodera glycines* em plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Pintado inoculadas com populações (Pi) crescentes do parasito. (Experimento 1)..... 72

- 12 Resumo da análise de variância da integral da área foliar, da massa fresca do sistema radicular, da massa seca total da parte aérea, da produção de grãos, do número de ovos/grama de raiz e do fator de reprodução de *Heterodera glycines* em plantas de soja da variedades Embrapa 133 inoculadas com populações (Pi) crescentes do parasito. (Experimento 2)..... 73

- 13 Matriz de correlação de Pearson entre as diferentes variáveis avaliadas em plantas de soja das variedades Embrapa 133 e Pintado inoculadas com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 1)..... 80

- 14 Matriz de correlação de Pearson entre as diferentes variáveis avaliadas em plantas de soja da variedade Embrapa 133 inoculadas com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 2)..... 81

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A – Saturação de luz

AF – Área foliar total de uma determinada planta

AUDPC – Área sob a curva de progresso da doença

Coodetec – Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda.

CaCl_2 – Cloreto de cálcio

CO_2 – Dióxido de carbono ou gás carbônico

C_3 – Planta cuja via de fixação do CO_2 segue o esquema do ciclo fotossintético do carbono, ou ciclo de Calvin

cm^2 – Centímetro quadrado

DAI – Dias após a inoculação

dcm^3 – Decímetro cúbico

F – Área foliar

FR – Fator de reprodução de nematóides, obtido pelo quociente do número de ovos extraídos das raízes ao final do experimento (Pf) pelo número de ovos ou juvenis J_2 (Pi) utilizados na inoculação das plantas.

F_0 – Fluorescência mínima da clorofila α

F_m – Fluorescência máxima da clorofila α

F_v/F_m – Máxima eficiência quântica do fotossistema II

g – Grama

gs – Condutância estomática

HAA – Absorção da área foliar sadia

Hz – Hertz, medida de frequência de ondas

IAF – Integral da área foliar de cada planta ao longo dos experimentos

IRGA – Analisador de gás a infra-vermelho

J_2 – Formas juvenis de segundo estágio

L – Comprimento, em milímetros, do folíolo central

LAD – Duração da área foliar

LAI – Índice de área foliar

L^*a^*b ou CIELAB – Forma de expressão numérica da cor de um determinado objeto com base no brilho e nas coordenadas cromáticas

M – Molar

mg – Miligrama

mL – Mililitro

mm – Milímetros

m^3 – Metros cúbicos

ng – Nanograma

nm – Nanômetros

P – Fósforo

PAR – Radiação fotossinteticamente ativa

PARi – Intensidade da radiação fotossinteticamente ativa

Pf – Número de ovos extraídos das raízes ao final do experimento

pH – Concentração hidrogeniônica

Pi – Número de ovos ou juvenis (J_2) utilizados na inoculação das plantas.

PIB – Produto interno bruto

ppm – Partes por milhão

PSII – Fotossistema II

$t(x)$ – Época da avaliação da área foliar, em dias após a inoculação

$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ – Sulfato de zinco hepta-hidratado

ΔE_{ab} ou E – Diferenças entre a cor de objetos com base no brilho e nas coordenadas cromáticas

μm – Micrômetros

μmol – Micromol

® - Marca registrada

**RELAÇÕES ENTRE A DENSIDADE POPULACIONAL DE *Meloidogyne javanica*
E *Heterodera glycines*, A ÁREA FOLIAR, A FOTOSSÍNTESE E OS DANOS
CAUSADOS A VARIEDADES DE SOJA**

Autor: Guilherme Lafourcade Asmus

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos C. Barbosa Ferraz

RESUMO

Os efeitos de *Meloidogyne javanica* ou de *Heterodera glycines* sobre a fotossíntese, a área foliar e a produção de soja foram estudados em 4 experimentos, dois para cada patossistema, desenvolvidos em casa de vegetação. No caso de *M. javanica*, foram utilizadas as variedades Embrapa 133 e Coodetec 201, tidas como suscetível e tolerante, respectivamente, e no de *H. glycines*, Embrapa 133 e Pintado, respectivamente suscetível e resistente. A soja foi semeada em uma mistura de solo + areia, desinfestada com brometo de metila e contida em copos de plástico com capacidade de 200 mL. Cinco a oito dias após a semeadura, foi feito o desbaste, deixando-se uma planta por copo e, no dia seguinte, foi realizada a inoculação de cada planta com 0, 1200, 3600, 10800, 32400 ou 97200 J₂ de *M. javanica* ou *H. glycines*. Após 5 dias, as plantas inoculadas foram transplantadas para vasos de argila, contendo o mesmo substrato. Na primeira repetição de cada experimento, conduzida até 48-49 dias após a inoculação, de modo a permitir que apenas um ciclo biológico dos nematóides (monociclo) fosse completado, foram utilizados vasos com capacidade para 1,5 litros, e, na segunda, conduzida até o final do ciclo da cultura, vasos de 5,0 litros. Aproximadamente a cada 10 dias após a inoculação, foram tomadas medidas da taxa fotossintética, condutância estomática, fluorescência da clorofila α , cor das folhas, teor de clorofila e área foliar. Ao

final dos experimentos, foram determinadas a massa fresca do sistema radicular, a massa seca total da parte aérea (de grãos, inclusive, nos experimentos de mais longa duração) e a capacidade reprodutiva dos nematóides, esta última com base no número de ovos por grama de raiz e no fator de reprodução. Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso, com 10 repetições, num esquema fatorial 2 x 6 (variedades x níveis de inóculo).

A taxa fotossintética, a condutância estomática, a fluorescência de clorofila *a*, a cor das folhas e o teor de clorofila foliar, foram pouco influenciadas por *M. javanica*, nas duas variedades testadas. Por outro lado, na variedade suscetível, o parasitismo por *H. glycines* causou claras reduções da taxa fotossintética e do teor de clorofila foliar, bem como o amarelecimento das folhas.

Ambas as espécies de nematóides causaram uma expressiva redução na área foliar, na massa fresca das raízes e na produção de massa seca total da parte aérea e de grãos de soja. No caso de *M. javanica*, esses efeitos foram mais evidentes nas maiores densidades populacionais iniciais e foram verificados nas duas variedades. Em se tratando de *H. glycines*, no entanto, mesmo na menor densidade populacional os efeitos sobre a produção foram drásticos. No experimento de curta duração, mesmo a variedade resistente Pintado evidenciou, sob os mais altos níveis de população inicial, pequenas reduções da área foliar, da massa fresca de raízes e da produção de massa seca da parte aérea.

A produção de soja, parasitada tanto por *M. javanica* como *H. glycines*, apresentou alta correlação com a integral da área foliar, ficando a indicação de inclusão dessa variável em modelos de previsão de danos que levem em consideração a fisiologia de produção de plantas doentes.

LEAF AREA, PHOTOSYNTHESIS, AND YIELD OF SOYBEAN AS AFFECTED BY INITIAL POPULATION DENSITIES OF *Meloidogyne javanica* AND *Heterodera glycines* (Nemata:Tylenchoidea)

Author: Guilherme Lafourcade Asmus

Advisor: Prof. Dr. Luiz Carlos C. Barbosa Ferraz

SUMMARY

The effects of *Meloidogyne javanica* or *Heterodera glycines* on the leaf area, photosynthesis, and yield of soybeans were studied in four greenhouse trials, two to each pathosystem. Depending on the pathosystem, the varieties Embrapa 133 and Coodetec 201, respectively rated as susceptible and tolerant to *M. javanica*, or Embrapa 133 and Pintado, respectively susceptible and resistant to *H. glycines* were used. Soybean seeds were sown in 200 mL plastic pots filled with a mixture of field soil + sand (1:1), previously desinfested with methyl bromide. From five to eighth days after sowing, seedlings were thinned to one per pot, and one day later inoculated with 0; 1,200; 3,600; 10,800; 32,400 or 97,200 J₂ of either *M. javanica* or *H. glycines* (= P_i values). After 5 days, the inoculated soybean plants were transplanted to clay pots containing the same substrate previously mentioned. The first replication of each trial was carried out until 48-49 days from the inoculation as to allow just one generation of the nematodes to be completed; in these trials 1.5 L pots were used. The second replication extended until harvest time and for that 5.0 L pots were used. Measurements of photosynthesis rate, stomatic conductance, chlorophyll fluorescence, leaf color, leaf area, and chlrophyll leaf content were taken at 10-day intervals along the experiments. Data on fresh root weight, top dry weight, grain yield, number of eggs/gram of roots,

and reproduction factor were obtained at the end of the trials. A statistical design of randomized blocks with the treatments arranged according to a 2 x 6 factorial model (soybean varieties x nematode initial inoculum levels) was established. Each experimental unit, represented by one plant growing per pot, was replicated 10 times.

Values of photosynthesis rate, stomatic conductance, chlorophyll fluorescence, leaf color and chlorophyll content were very slightly affected by *M. javanica* for both tested varieties. In opposition, there was a clear reduction in both photosynthetic rate and chlorophyll content, as well as a marked yellowing of 'Embrapa 133' leaves as affected by *H. glycines*.

Leaf area, fresh root weight, top dry weight, and grain yield were extensively reduced by each of the nematodes, but in the case of *M. javanica* infection, despite of the variety, these depressive effects largely depended on the use of high P_i values. Conversely, even at the lowest P_i (= 1,200), the effects of *H. glycines* on the top dry weight or grain yield were much severe. Even being rated as resistant, the variety Pintado was slightly affected (leaf area, fresh root and top dry weight values) at the higher P_i s of *H. glycines* in the short-term trial. As no complete development or reproduction of the nematode in the roots were noticed, this effect was assigned to a massive initial penetration of juveniles in the root system of the plantlets.

In spite of the plants being parasitized by either *M. javanica* or *H. glycines*, soybean yield was highly correlated with the integrated leaf area, what may lead this parameter to be used in potential damage predicting models which include physiological aspects of nematode-diseased plants.

1 INTRODUÇÃO

Quantificar os danos causados por fitopatógenos, com precisão, é uma das atividades essenciais na elaboração e implementação de programas de manejo integrado de doenças de plantas.

Dano, definido como qualquer redução na qualidade e/ou quantidade da produção, tem sido tradicionalmente relacionado com a intensidade de doença. No entanto, a despeito de intensivos estudos, persistem as dificuldades de relacionar níveis de danos com níveis de intensidade de doenças (Lopes et al., 1994). Em recente revisão, Bergamin Filho et al. (1995) apresentaram uma série de exemplos de trabalhos que falharam no objetivo de estabelecer de forma clara essa relação, ou seja, nem sempre uma alta severidade de doença, usualmente avaliada por meio da porcentagem da superfície foliar com sintomas em comparação com escalas diagramáticas, corresponde a perdas em produção. A incerteza dessa relação pode ser explicada, segundo Waggoner & Berger (1987), pelo fato de a doença, considerada isoladamente, apresentar impactos distintos sobre a produção em função da época de sua ocorrência na plantação, da ocorrência de desfolha ocasionada pela própria doença, ou ainda por ignorar-se a área foliar sadia, fotossintetizante, verdadeiramente responsável pela produção.

Dessa forma, contrapondo-se à tentativa de estabelecer a relação, muitas vezes incerta, entre dano e severidade de doença, uma recente abordagem tem buscado, de forma inversa, utilizar variáveis relacionadas com a área foliar sadia (fotossintetizante) para a avaliação de danos e seu uso no manejo integrado de doenças (Bergamin Filho et al., 1995; Lopes et al., 1994). Vários trabalhos, como o de Bergamin Filho et al. (1997) com o patossistema feijoeiro x *Phaeoisariopsis griseola*, têm demonstrado a alta

correlação positiva entre a produção e a duração e absorção da área foliar sadia, validando essa nova abordagem para patossistemas envolvendo patógenos foliares.

Em se tratando de fitonematoses, esses novos conceitos da função de dano merecem uma atenção especial, visto que: a) as doenças causadas por nematóides usualmente não causam sintomas lesionais à parte aérea das culturas hospedeiras, mas sim reflexos, que se traduzem, principalmente, em amarelecimento e menor desenvolvimento das plantas; b) as relações de danos têm sido fundamentalmente estabelecidas com base na população inicial (ao momento da instalação da cultura) e/ou na população final do parasito. A dinâmica das relações entre os nematóides e as plantas cultivadas tem mostrado que nem sempre altas populações do patógeno se traduzem em maiores danos às culturas; fatores climáticos, edáficos e varietais podem contribuir para que, mesmo em interações compatíveis, as plantas hospedeiras não expressem reduções significativas da produção.

Embora muitos trabalhos tenham tido como objetivo determinar a população mínima de nematóides capaz de causar redução na produção de diversas culturas, poucos são aqueles em que se teve a preocupação de elucidar a interferência desses parasitos em processos fisiológicos das plantas infectadas, em especial na fotossíntese e nos mecanismos relacionados a ela, que pudessem justificar a ocorrência de danos e, por consequência, serem eventualmente utilizados em modelos que possibilitem a previsão de perdas.

O presente trabalho, portanto, foi proposto e desenvolvido dentro de tal contexto, objetivando estudar as relações entre a população inicial de nematóides, a área foliar, a fotossíntese e a produção nos patossistemas soja (variedades suscetível e resistente) x nematóide de cisto (*Heterodera glycines*) e soja (variedades suscetível e tolerante) x nematóide de galhas (*Meloidogyne javanica*).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância dos nematóides na sojicultura

Das espécies de plantas cultivadas no Brasil, a soja é uma das mais importantes, contribuindo com 11,06% do PIB agrícola do País. Na safra 1999/2000, a área cultivada com essa oleaginosa superou 13 milhões de hectares (Azevedo Filho, 2000), que se traduziram numa produção de mais de 31 milhões de toneladas de grãos, gerando divisas da ordem de 4 bilhões de dólares para o País (Sousa, 2000). Em termos mundiais, o Brasil figura como o segundo maior produtor de soja (Wrather et al., 1997), o que o coloca em posição de destaque no mercado agrícola internacional e lhe permite abater, com esse importante produto de exportação, eventuais desvantagens da nem sempre favorável balança comercial.

Não obstante a soja seja cultura bastante tecnificada, não é raro que ocorram frustrações de safra, mormente devido a adversidades climáticas e a problemas de ordem fitossanitária. Dentre estes, os que causam maior impacto na produção, na atualidade, são os causados por organismos que afetam o sistema radicular, principalmente os nematóides fitoparasitos (Silva, 1998).

Se considerados os 10 principais países produtores de soja do mundo, os danos causados pelos nematóides, especialmente pelo chamado nematóide de cisto, *Heterodera glycines* Ichinohe, são maiores que os causados por todas as outras doenças e totalizam, com base em levantamento realizado em 1994 (Wrather, et al., 1997), perdas anuais de cerca de 3,5 milhões de toneladas. A relativamente recente introdução do nematóide de cisto no País (Lima et al., 1992; Lordello et al., 1992; Monteiro & Morais, 1992) constituiu-se num dos mais sérios problemas para a produção de soja em território

nacional. Estima-se que, em apenas oito safras agrícolas, a área infestada tenha evoluído para aproximadamente 1,7 milhões de hectares, atingindo mais de 85 municípios em sete estados (GO, MG, MS, MT, PR, RS e SP) e que as perdas acumuladas já tenham atingido a cifra de 200 milhões de dólares (Yorinori, 2000).

No Brasil, os nematóides de galhas, principalmente *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood e *M. incognita* (Kofoed & White) Chitwood, apresentam uma extensa distribuição e freqüentemente causam reduções substanciais à produção. O nematóide javanês, ao que tudo indica, é a espécie mais agressiva e de ocorrência mais generalizada (EMBRAPA, 1996), em especial no Brasil-Central, e a sua importância é acentuada pela existência de poucas variedades brasileiras que lhe mostram certo nível de tolerância (Silva, 1998). Somente na safra 1999/2000, o prejuízo causado pelos nematóides de galhas na sojicultura foi estimado em 52,2 milhões de dólares (Yorinori, 2000).

2.2 A avaliação dos danos causados por nematóides na sojicultura

Admite-se que para o adequado manejo integrado de doenças, incluindo-se as fitonematoses, a determinação do potencial de danos que possam causar às culturas atacadas seja de grande importância (Barker et al., 1985; Bergamin Filho & Amorim, 1996). Sem dúvida, uma grande variedade de metodologias foi desenvolvida nos últimos anos, buscando relacionar perdas na produção com os danos causados pelas doenças. Todas, no entanto, para que tenham uma adequada aplicação prática, devem apoiar-se em alguns pontos fundamentais, dentre os quais: a) a avaliação precisa da intensidade das doenças; b) a escolha de um modelo que, ao correlacionar a intensidade da doença com os danos causados, possibilite a previsão de perdas (Bergamin Filho et al., 1995).

Para efeito de quantificação de danos, duas formas de avaliação de doenças têm sido utilizadas: severidade e incidência (Bergamin Filho et al., 1995). A primeira, definida como a proporção ou porcentagem da área ou do volume do tecido vegetal coberto por sintomas, é mais apropriada para avaliar doenças foliares. A incidência, por sua vez, definida como a frequência de plantas ou de partes de plantas doentes em uma população, tem seu uso restrito às doenças sistêmicas (murchas vasculares e algumas

viroses). No caso das fitonematoses, a relação quantitativa fundamental entre nematóides e o crescimento e produção de culturas anuais, como a soja, é primariamente função da densidade populacional à época do plantio (Barker & Olthof, 1976; Barker et al., 1985; Duncan & Ferris, 1983; Ferris et al., 1981; Oostenbrink, 1971; Seinhorst, 1970, 1972, 1973). Essa relação tem sido expressa por meio de uma regressão linear entre o logaritmo da densidade populacional inicial de nematóides e o peso ou tamanho das plantas atacadas, como uma curva quadrática entre essas variáveis, ou, ainda, por uma regressão linear entre o logaritmo da densidade populacional de nematóides e os *probits* do número de plantas doentes (Seinhorst, 1965). Assumir qualquer uma dessas relações para extrapolações com dados observados no campo pode, no entanto, levar a conclusões equivocadas, especialmente pela superestimativa dos danos sob condições de baixas populações de nematóides. O que pode ser derivado das regressões, linear e não linear, e os coeficientes de regressão calculados é que existe uma certa probabilidade de que nos experimentos que lhes deram origem, a proporção de plantas saudáveis ou o tamanho ou peso das plantas serem menores em presença de maiores densidades populacionais de nematóides. Elas não explicam toda a relação quantitativa entre a densidade populacional dos nematóides e o crescimento das plantas (Seinhorst, 1965). Dentre os motivos que levam aos desvios entre os resultados esperados e os realmente observados, destacam-se a inadequação dos modelos lineares em baixas ou altas populações e a capacidade intrínseca de muitas espécies vegetais de compensar as injúrias devidas ao parasitismo pelos nematóides (Barker & Olthof, 1976). As dificuldades inerentes à correta amostragem da população de fitonematóides no solo de áreas cultivadas, em função da distribuição irregular que normalmente apresentam, pode constituir outro fator relevante (Ferris, 1984).

Nas literaturas fitopatológica e nematológica, encontram-se muitos trabalhos que objetivaram correlacionar, nas mais diversas condições experimentais, os danos causados às plantas cultivadas com diferentes densidades populacionais de nematóides, visando, em última análise, estabelecer o nível populacional de dano.

Especificamente quanto ao patossistema soja x *M. javanica*, num dos poucos trabalhos realizados no Brasil (Sharma & Rodríguez C. 1982) observou-se que o nível

crítico de danos de *M. javanica* para a variedade UFV-1 em casa de vegetação era muito inferior à menor das populações estudadas (2000 ovos + juvenis J₂/ kg de solo) e que houve uma correlação negativa altamente significativa entre a população do nematóide à época do plantio e as variáveis altura, massa da parte aérea, massa do sistema radicular e área foliar das plantas de soja. Em recente trabalho (Carneiro et al., 1999) ocorreu a redução da massa seca da parte aérea de soja das variedades UFV ITM1 e Cristalina quando inoculadas com níveis populacionais da ordem de 9000 ovos de *M. javanica*/ planta ou superiores. Também em várias outras culturas, o efeito de populações de *M. javanica* à época do plantio tem sido relacionado com os danos observados (Di Vito et al., 1996; Loveys & Bird, 1973; Wallace, 1971; 1974).

Dada a grande importância do nematóide de cisto da soja nos principais países produtores (Wrather et al., 1997), o número de trabalhos em que se objetivou estabelecer um limiar populacional de danos é bastante expressivo (Abawi & Jacobsen, 1984; Alston et al., 1991, 1993; Browde et al., 1994a, 1994b; Miltner et al., 1991; Niblack et al., 1992; Noel et al., 1980; Rodríguez-Kábana & Williams, 1983; Schmitt et al., 1987; Young, 1996). Uma análise detalhada dos resultados obtidos nesses trabalhos evidencia, *a priori*, estreita relação entre a densidade populacional de *H. glycines* à época do plantio e os danos causados à soja (Asmus & Andrade, 1999). No entanto, a intensidade dessa relação mostra-se bastante variável em função das diversas condicionantes da produção não diretamente ligadas à incidência do nematóide, quais sejam: o tipo de solo (textura, estrutura, teor de matéria orgânica, umidade), as condições climáticas, a variedade etc.. No Brasil, trabalhos realizados em microparcelas (Andrade et al., 1996, 1997, 1998) mostraram que a presença de um único cisto viável de *H. glycines* em 100mL de solo de cerrado à época do plantio (= Pi) foi suficiente para a ocorrência de perdas significativas na produção de grãos de soja. Resultados semelhantes foram também obtidos (Garcia et al., 1997) pelo uso do método de modelos lineares generalizados para estimar as populações críticas. Por outro lado, Moreira et al. (1998) não encontraram correlações significativas entre o nível populacional de *H. glycines* e vários parâmetros fitotécnicos da soja, incluindo a produção, que, segundo os autores, foi influenciada por outros fatores que não o nematóide.

2.3 Efeitos do parasitismo por nematóides sobre processos fisiológicos da soja

Segundo Waggoner & Berger (1987), a incerteza da relação entre a intensidade de doença e a produção da planta reside no fato de a doença, considerada isoladamente, apresentar impactos diversos sobre a produção em função da época de sua ocorrência na plantação, da ocorrência de desfolha causada pela própria doença, ou ainda por ignorar-se a área foliar sadia, fotossintetizante, verdadeiramente responsável pela produção.

Recentes trabalhos (Bergamin Filho et al., 1997; Bianchini et al., 1998) têm evidenciado que, para alguns patossistemas estudados, a produção (e, inversamente, as perdas na produção) correlaciona-se muito mais intensamente com as variáveis ligadas à eficiência fotossintética, tais como a duração da área foliar (LAD), o índice de área foliar (LAI) ou ainda a absorção da área foliar sadia (HAA), do que com aquelas que levam em consideração unicamente a doença, como a área sob a curva de progresso da doença (AUDPC). Nesse contexto, verifica-se que, se por um lado os danos causados por *M. javanica* e principalmente *H. glycines* à cultura da soja, em termos de redução na produção, têm sido relativamente bem documentados, poucos são os trabalhos já realizados no sentido de elucidar a interferência e aferir o impacto do parasitismo por tais espécies nos diversos processos fisiológicos da cultura que pudessem explicar a ocorrência de tais danos.

De maneira geral, a interferência de nematóides no desenvolvimento de plantas hospedeiras relaciona-se à: a) espoliação de nutrientes durante sua alimentação; b) alteração na absorção e translocação de água e nutrientes; c) modificação ou destruição de tecidos das raízes; ou d) diminuição do crescimento das raízes (Hussey & Williamson, 1998). Tais eventos traduzem-se em várias respostas nas plantas parasitadas (Bird, 1974; Krusberg, 1963), muitas das quais de caráter fisiológico, resultando, via de regra, amarelecimento e redução do porte das plantas.

A supressão da fotossíntese em plantas infectadas por nematóides tem sido pouco estudada. Contudo, é de se esperar que a inabilidade das raízes danificadas em suprir a parte aérea das plantas com suficientes quantidades de água e nutrientes, particularmente

nitrogênio, traduza-se em alterações, marcantes ou não, no processo fotossintético (Hussey & Williamson, 1998).

Em que pese a importância de *M. javanica* para a sojicultura, especialmente a brasileira, não se encontraram na literatura trabalhos relacionados com a interferência dessa espécie na fotossíntese de plantas de soja. Entretanto, estudando a interação desse nematóide com a cultura do tomateiro, Loveys & Bird (1973) e Wallace (1974) verificaram que a atividade fotossintética foi reduzida em função da concentração inicial de inóculo. O fato de a fotossíntese total de plântulas de tomateiro ter sido reduzida já aos dois dias após a penetração das formas infectivas sugere uma resposta fisiológica, supostamente relacionada à interferência na síntese ou translocação de fatores reguladores, provavelmente de origem hormonal, produzidos nas raízes (Loveys & Bird, 1973). De outra parte, a recuperação da atividade fotossintética pela adição de nutrientes (NPK) leva ao entendimento de que a redução da fotossíntese em presença do nematóide pode estar relacionada à falta de nutrientes (Wallace, 1974). Em outras interações, como as de *M. graminicola* Golden & Birchfield e a cultura do arroz (Bhubanananda & Prasad, 1989) ou *M. incognita* e plantas aromáticas ou medicinais (Balogun & Babatola, 1990; Haseeb et al., 1990, 1998), a diminuição da atividade fotossintética de plantas inoculadas relacionou-se com a redução no conteúdo de clorofila das folhas e, nos casos em que foi avaliada, refletiu-se na redução da produção da matéria seca. Na maioria das interações estudadas envolvendo espécies de *Meloidogyne*, a taxa fotossintética relacionou-se negativamente com o aumento da população inicial do nematóide, sendo que, em alguns casos, apenas a partir de uma população relativamente alta os efeitos foram detectados.

Nos poucos trabalhos realizados para avaliar a eficiência fotossintética de plantas de soja parasitadas pelo nematóide de cisto encontraram-se resultados um tanto quanto contraditórios. Em casa de vegetação, a inoculação de plantas com 3000 ovos de *H. glycines* causou clara redução da fotossíntese e da área foliar, que, de forma aditiva, correlacionaram-se negativamente com a produção de matéria seca (Postuka et al., 1986). No campo, o decréscimo da atividade fotossintética foi maior em plantas cultivadas em tipos de solo mais favoráveis à atividade do nematóide, mas, mesmo

assim, o efeito do parasitismo na fotossíntese foi muito variável, evidenciando que apenas parte da redução da produção poderia ser atribuída à restrita taxa fotossintética líquida causada pela infecção (Koenning & Barker, 1995). A grande redução da área foliar de plantas parasitadas, restringindo a área fotossintética total da plantas, é considerada um dos principais impactos desse nematóide sobre a fotossíntese. Num interessante trabalho, em que se avaliou a eficiência fotossintética de diversas variedades de soja parasitadas por *H. glycines* cultivadas sob diferentes condições de suprimento nutricional, a atividade fotossintética foi reduzida nas plantas suscetíveis e tolerantes, sendo tal efeito mais evidente em plantas cultivadas na ausência de nutrientes ou em meio carente de nitrogênio (Melakeberhan, 1999).

Resultados obtidos nas culturas de trigo (Nagesh & Dhawan, 1988) e triticale (Kaushal & Madavi, 1992) inoculadas com populações crescentes de *Heterodera avenae* Filipjev também mostraram tendências contraditórias. Em trigo, a redução da fotossíntese acompanhou um decréscimo no conteúdo de clorofila, mas as diferenças não foram significativas. Em triticale, houve também uma redução do teor de clorofila, porém observou-se maior atividade fotossintética em plantas inoculadas com maiores populações do nematóide do que naquelas inoculadas com populações menores.

O parasitismo de diferentes variedades de batata com populações crescentes de *Globodera pallida* (Stone) Behrens, um dos chamados nematóides de cisto da batata, interferiu negativamente na fotossíntese e na área foliar das plantas, resultando na redução da produção de matéria seca total (Schans & Artzen, 1991). A redução na fotossíntese, por sua vez, caracterizou-se apenas como efeito secundário resultante de limitações fotoquímicas ou de processos bioquímicos e não devido à função estomática. Ainda, diferenças na tolerância ao nematóide observadas entre as variedades não foram correlacionadas quer com a fotossíntese foliar, quer com a transpiração, levando os autores a sugerir que esses processos possam não estar diretamente relacionados com a tolerância das plantas.

Outras espécies de nematóides, tais como *Pratylenchus thornei* Sher & Allen e *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb) Golden, incitaram reduções no conteúdo de clorofila e na atividade fotossintética em *Mentha citrata* Ehrh. (Haseeb & Schukla,

1995) e arroz (Dutta et al., 1990), respectivamente. Por outro lado, o parasitismo de raízes da gramínea forrageira *Bouteloua gracilis* (Willd.) Lag ex. Steud por nematóides da espécie *Tylenchorhynchus claytoni* Steiner não causou redução na taxa fotossintética e tampouco na produção de biomassa (Ingham & Detling, 1991). Um caso no mínimo curioso sobre o efeito de nematóides fitoparasitos na atividade fotossintética de plantas hospedadas diz respeito ao que ocorre na cultura da batata. Nessa cultura, no geral, as infecções causadas pelo nematóide *Pratylenchus penetrans* (Cobb) Filipjev & S. Stekhoven não causam alterações na atividade fotossintética. Porém, em presença do fungo de solo *Verticillium dahliae* Kleb. observaram-se reduções tanto da fotossíntese quanto da condutância estomática, sendo que, para esta última, em magnitude não suficiente para explicar toda a alteração do processo fotossintético. É possível que parte das alterações observadas seja devida à redução da atividade da enzima Rubisco (Saeed et al., 1997a; 1997b; 1998; 1999).

A soja é uma das espécies cuja fotossíntese é menos eficiente (Verneti, 1983). É uma típica planta C₃, ou seja, a via de fixação do CO₂ segue o esquema do ciclo fotossintético do carbono, ou ciclo de Calvin (Müller, 1981). Além de utilizar muita água, há uma grande resistência ao movimento desta na planta, o que explica o fato de as folhas mostrarem murchamento mesmo em solos úmidos em dias com demanda evaporativa muito alta (Shibles et al., 1975).

As variações encontradas na atividade fotossintética de plantas de soja têm sido relacionadas com diversos fatores, de origem genética e/ou ambiental. Dentre esses, considerando-se os danos comumente ocasionados às plantas sob parasitismo de nematóides fitoparasitos, revestem-se de importância: a) a área foliar fotossintetizante (Müller, 1981; Shibe et al., 1975); b) o conteúdo de clorofila foliar (Brun, 1978; Ma et al., 1995; Ogren & Rinne, 1973); c) as limitações na absorção e translocação de água, que podem causar, indiretamente, diminuição do conteúdo relativo de água (desidratação do citoplasma), alterações no movimento estomático (condutância estomática) e menor absorção de nutrientes, principalmente nitrogênio (Müller, 1981). Todavia, nem sempre as diferenças na taxa fotossintética resultam em diferenças na produção (Verneti, 1983).

Recentemente, os métodos mais utilizados para a avaliação da fotossíntese, respiração, transpiração e condutância estomática *in vivo* são as medidas de trocas gasosas e a emissão de fluorescência da clorofila α (Bassanezi, 2000). A maioria dos estudos de troca de CO_2 tem envolvido métodos em que as folhas ficam confinadas em câmaras transparentes e a taxa de assimilação de CO_2 é determinada pela medição da mudança da concentração do CO_2 do ar que atravessa a câmara, realizada por um analisador de gás a infra-vermelho (IRGA). A taxa de assimilação ou liberação de CO_2 é expressa como a quantidade de CO_2 assimilado ou liberado por unidade de área foliar e tempo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

A análise da emissão de fluorescência permite a obtenção de informações rápidas, semi-quantitativas e não invasivas sobre a atividade fotossintética das plantas. No aparato fotossintético, a molécula de clorofila α absorve a luz e torna-se excitada a um estado maior de energia. A molécula excitada não é estável e os elétrons retornam rapidamente ao estado inicial de energia liberando a energia do fóton de três formas: a) transferência por ressonância a outra molécula; b) liberação como calor; e c) emissão do resto da energia como fluorescência (Krause & Weis, 1991). Como os processos ditos de 'de-excitação' das moléculas de clorofila são competitivos, alterações na taxa fotossintética e/ou na emissão de calor dissipado irão causar mudanças complementares na intensidade da fluorescência emitida. Em temperatura ambiente, a maioria da fluorescência é emitida das moléculas de clorofila α associadas com o fotossistema II (PSII) e, assim, a produção de fluorescência é relacionada à deficiência do transporte de elétrons pelo PSII.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi principalmente desenvolvido em casa de vegetação e laboratórios do setor de Nematologia do Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola, e em parte no laboratório de Plantas Cultivadas sob Condições de Estresse do Departamento de Ciências Biológicas, ambos da ESALQ/USP/Piracicaba.

Em dois experimentos distintos, foram estudados os danos e as alterações fisiológicas causados pelos nematóides *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* em variedades de soja com diferentes reações quanto à multiplicação dos parasitos. Foram utilizadas as variedades Embrapa 133 (suscetível) e Coodetec 201 (tolerante) no sistema soja x *M. javanica* e Embrapa 133 (suscetível) e Pintado (resistente) no sistema soja x *H. glycines*. Cada experimento foi repetido uma vez, sendo que, na primeira repetição, as plantas foram conduzidas até 48-49 dias após a inoculação, de modo a permitir o desenvolvimento de apenas um ciclo biológico dos nematóides (monociclo), e, na segunda, até o final do ciclo da cultura. Vasos de argila com capacidade para 1,5 e 5,0 litros de substrato foram utilizados nos ensaios de duração mais curta e mais longa, respectivamente.

3.1 Preparo do substrato e semeadura

Como substrato, foi utilizada uma mistura de solo + areia lavada, esterilizada com brometo de metila (150 mL/m^3), que apresentou as seguintes características granulométricas: 78% de areia total, 6% de silte e 16% de argila total (classe textural média-arenosa). A análise química mostrou os seguintes resultados: pH (CaCl_2) 5,5; matéria orgânica (g/dm^3) 20; P (mg/dm^3) 66; K, Ca e Mg (mmolc/dm^3), respectivamente 3,4; 61 e 33; e V (%) 88.

Para a adubação de manutenção, foi utilizado um fertilizante granulado (NPK) de fórmula 0-30-15, na razão de 1g/vaso (planta). As sementes das três variedades foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* Buchanan (Bioagro 10[®]) das estirpes Semia 5.079 e Semia 5.080 (80000 células bacterianas vivas/semente) e semeadas em copos de plástico de 200 mL contendo o substrato, na razão de duas sementes/copo. Cinco a oito dias após a semeadura, efetuou-se o desbaste, deixando-se uma plântula por copo.

3.2 Inoculação e transplântio

Um dia após o desbaste, as plantinhas foram inoculadas com populações crescentes (Pi) de *M. javanica* ou de *H. glycines*. Para tal, foram abertos dois orifícios no substrato, de aproximadamente 2,0 cm de profundidade, diametralmente opostos e distantes lateralmente 1,0 cm das plântulas, em cujo interior foram vertidos 10 mL de uma suspensão contendo 0, 1200, 3600, 10800, 32400 ou 97200 juvenis infectivos (J₂) de *M. javanica* ou *H. glycines*. Imediatamente após a inoculação, os orifícios foram cobertos com o substrato.

Cinco dias após a inoculação, os copos de plástico contendo as plantinhas inoculadas foram cortados longitudinalmente com uma tesoura e descartados. Os torrões contendo os sistemas radiculares foram cuidadosamente transferidos para aberturas previamente preparadas na parte central do substrato contido nos vasos de argila, que seriam os recipientes definitivos. Para tanto, recorreu-se inicialmente a ferramenta do tipo "colher de pedreiro" e o ajuste final do tamanho, forma e profundidade da abertura foi feito usando-se, como molde, um copo plástico cheio de substrato bem umedecido.

3.3 Produção de inóculo

Meloidogyne javanica

Uma população pura de *M. javanica*, obtida originalmente de plantas de soja, foi multiplicada em tomateiro 'Rutgers' por 75 dias, em casa de vegetação. Após esse período, as massas de ovos externas presentes nas raízes dos tomateiros, submetidas à coloração com Phloxine B (15mg/litro) por 20 minutos, foram extraídas com o auxílio

de um estilete de ponta fina e colocadas em câmaras de eclosão à 27°C. Diariamente, durante 8 dias, foram recolhidos os J₂ eclodidos no período anterior, que foram lavados em água corrente sobre peneira de malha de 25µm, novamente recuperados em água e conservados em ambiente escuro, à 8°C, até o dia da inoculação.

Heterodera glycines

Foi utilizada uma população da raça 3, obtida de plantas de soja cultivadas na região de Tarumã (SP), multiplicada por 90 dias em soja 'Embrapa 20', em casa de vegetação. Fêmeas maduras e cistos extraídos das raízes dessas plantas (jatos d'água sobre peneiras de malhas 850 e 180 µm, acopladas) e do solo dos vasos (suspensão em água e peneiramento) foram colocados sobre uma peneira de malha 150 µm, sobreposta a outra de malha de 25 µm. Foram então esmagados mediante compressão, com movimentos circulares, do fundo de um béquer de 50mL sobre a peneira, ocorrendo com isso a liberação dos ovos, que foram recolhidos, com água, na peneira de 25 µm. Os ovos obtidos foram separados de impurezas por centrifugação em sacarose (Jenkins, 1964) e desinfestados mediante exposição por 10 segundos a uma solução de hipoclorito de sódio 0,5%.

Para a obtenção dos J₂, os ovos foram colocados em câmara de eclosão, sendo os primeiros 3 dias em água e temperatura de 27°C, e os restantes (7 a 10 dias) em solução 0,01M de ZnSO₄.7H₂O e temperatura de 25°C (Acedo & Dropkin, 1982; Bostian et al., 1984). Diariamente, durante 10 dias, foram coletados os J₂ eclodidos no período anterior, que foram lavados em água corrente sobre peneira de malha de 25 µm e conservados em ambiente escuro, à 8°C, até o dia da inoculação.

3.4 Avaliações

A partir da inoculação, em intervalos de aproximadamente 10 dias, foram realizadas as avaliações destinadas a aferir os efeitos decorrentes do parasitismo pelas populações crescentes de *M. javanica* ou *H. glycines* sobre diferentes componentes fisiológicos altamente relacionados com a produção na cultura da soja.

Nos experimentos de duração mais curta foram realizadas 4 avaliações e, nos de maior duração (ciclo completo da soja), 7 e 8, respectivamente nos ensaios com *H. glycines* e *M. javanica*. Para as avaliações de fotossíntese e efeitos relacionados (condutância estomática, fluorescência da clorofila α , cor das folhas e teor de clorofila), foi sempre utilizado o folíolo central da última folha bem formada e expandida. Ao final dos experimentos, avaliaram-se os componentes de produção da cultura da soja, a saber, massa fresca do sistema radicular, massa seca total da parte aérea e produção de grãos (apenas na repetição dos experimentos conduzida até o final do ciclo da cultura), além de indicadores da capacidade reprodutiva dos nematóides (número de ovos/g de raiz e fator de reprodução).

3.4.1 Área foliar

Foi realizado um teste preliminar visando estabelecer método rápido de obtenção dos dados de área foliar e que fosse não destrutivo, ou seja, permitisse que todas as folhas de cada planta pudessem ser utilizadas a cada época de avaliação.

Sementes de soja das variedades Embrapa 133, Coodetec 201 e Pintado foram semeadas em mistura (1:1) de solo + areia contida em vasos de argila com capacidade de 2 litros de substrato. Logo após a germinação, deixaram-se duas plantas por vaso e esses foram transferidos para casa de vegetação. Após 65 dias, foram coletadas 112 folhas, de modo a abranger as três variedades e o maior número possível de formas e tamanhos disponíveis. De cada folíolo central tomou-se a medida, em milímetros, do comprimento e da maior largura e calculou-se ainda o produto entre o comprimento e a maior largura. A seguir, as folhas tiveram suas áreas reais (cm²) obtidas com o medidor de área foliar Modelo 3100 da Li-Cor®.

As relações entre a área foliar (cm²) e as medidas do comprimento, maior largura e o produto entre o comprimento e a maior largura do folíolo central estão apresentadas na Figura 1. A melhor estimativa da área foliar foi observada com o produto entre o comprimento e maior largura do folíolo central. No entanto, pela maior facilidade operacional proporcionada e pela alta significância observada, decidiu-se utilizar a medida do comprimento do folíolo central para as avaliações. A medida da área foliar,

em cm^2 , seria então obtida pela equação $F = 0,0139 \times L^{2,0091}$, em que F é a área foliar (cm^2) e L o comprimento (mm) do folíolo central.

Figura 1. Relação entre a área foliar e o comprimento (a), a maior largura (b) e comprimento x maior largura (c) de folíolos de soja cultivada em casa de vegetação.

Assim sendo, a cada época de avaliação (t_x), os folíolos centrais de todas as folhas de cada planta foram medidos com uma régua milimetrada. Após a conversão das medidas obtidas para área foliar, segundo o procedimento acima descrito, foi calculada a área foliar total (AF) de cada planta em cada época de avaliação, obtida pelo somatório das áreas de cada folha, de acordo com a equação $AF_{t_x} = (F_1 + F_2 + \dots + F_n)$, na qual AF_{t_x} é a área foliar total da planta e $F_1, F_2 \dots F_n$ são as áreas de cada folha da planta no tempo t_x considerado.

Para efeito de análise do impacto do parasitismo dos nematóides sobre a área foliar e a produção de soja, foi calculada, ainda, a área sob a curva da área foliar ou integral da área foliar (IAF) de cada planta no período dos experimentos pela equação $IAF = \sum [(AF_{t_x} + AF_{t_{x+1}}) / 2] (t_{x+1} - t_x)$, em que IAF é a integral da área foliar (cm^2) de cada planta ao longo do experimento, ou seja, uma variável similar à duração da área foliar, definida por Watson (1947), e AF_{t_x} a área foliar total da planta no tempo t_x considerado.

3.4.2 Fotossíntese e condutância estomática

As avaliações da taxa líquida de fotossíntese com saturação de luz (A) e condutância estomática (gs) foram realizadas com o equipamento *LI-6400 Portable Photosynthesis System* (Li-Cor®).

Para as avaliações, o folíolo central da última folha bem formada e expandida de cada planta permaneceu na câmara de análise (IRGA), em média de 3 a 5 minutos, até a estabilização da leitura, ou seja, quando o coeficiente de variação total fosse menor ou igual a 0,2%.

As condições durante as avaliações foram:

- Intensidade de radiação fornecida por uma fonte de luz 6400-02 LED *light source* (comprimento de onda entre 660 e 675nm, PAR): $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$;
- Fluxo de ar pela câmara de análise: $500 \mu\text{mol s}^{-1}$;
- Concentração de CO₂ no ar entrando na câmara de análise: 360 a 380 ppm;
- Razão estomática: 0,50

Para a definição da intensidade de radiação mais adequada (PAR_i = intensidade de radiação fotossinteticamente ativa), foi feito um experimento preliminar, descrito objetivamente a seguir, no qual várias plantas de soja sadias (não inoculadas), de diferentes variedades, foram submetidas a diversas intensidades de radiação até que se obtivesse a maior taxa líquida de fotossíntese (saturação de luz).

Sementes de soja das variedades Embrapa 133, Coodetec 201 e Pintado foram semeadas em vasos de argila com capacidade para 2 litros de substrato (mistura 1:1 de solo + areia). Após a germinação e o desbaste para duas plantas por vaso, esses foram transferidos para casa de vegetação. Após 45 dias da germinação, cinco plantas foram avaliadas quanto à taxa fotossintética líquida em diferentes intensidades lumínicas. À exceção da intensidade de radiação, todas as demais condições foram mantidas constantes, tais como segue:

- fonte de luz: 6400-02 LED *light source* (comprimento de onda entre 660 e 675nm);
- Fluxo de ar pela câmara de análise: $500 \mu\text{mol s}^{-1}$;
- Concentração de CO_2 no ar entrando na câmara de análise: 360 a 380 ppm;
- Razão estomática: 0,50

As curvas da taxa fotossintética líquida em função da intensidade de radiação foram obtidas variando-se a intensidade lumínica no trifólio central da última folha bem formada e expandida, nas seguintes seqüências:

- a) Plantas 1, 3 e 4 (variedade Embrapa 133): 50, 100, 250, 500, 100, 250, 500, 750, 1250, 1500, 1750 e $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$;
- b) Planta 2 (variedade Pintado): 25, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 100, 1200, 1500, 1750 e $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$;
- c) Planta 5 (variedade Coodetec 201): 25, 50, 100, 300, 500, 300, 100, 300, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Pelos resultados obtidos (Figura 2) observou-se que, independente da planta avaliada, a taxa fotossintética líquida crescia acompanhando a intensidade de radiação até esta chegar ao valor de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, quando então tendia a se estabilizar, mantendo-se praticamente constante. Quase não houve variação entre as plantas

avaliadas, à exceção da planta 2 (variedade Pintado), na qual a taxa fotossintética foi inferior à das demais plantas. No entanto, mesmo nesse caso, a taxa aumentou com o aumento da intensidade de radiação, mas, a partir de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, permaneceu praticamente constante, mostrando ser este o ponto de saturação lumínica para plantas de soja cultivadas em casa de vegetação.

Figura 2. Taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em função da intensidade de radiação (PAR), em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, obtida de plantas de soja das variedades Embrapa 133, Coodetec 201 e Pintado cultivadas em casa de vegetação.

3.4.3 Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência mínima (F_0), fluorescência máxima (F_m) e a máxima eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) foram avaliadas com um fluorômetro portátil (*Portable Fluorometer* PAM-2000, WALZ®), conectado a um *Palmtop* HP 200 LX – Hewlett Packard® contendo o *software* de aquisição de dados DA – 2000.

Inicialmente, as regiões dos folíolos a serem avaliadas foram mantidas no escuro por 20 minutos com o uso de um clipe especialmente concebido para este fim (*Dark Leaf Clip* DLC-8), que cobre uma área de aproximadamente $3,5 \text{ cm}^2$ e permite o posicionamento da fibra óptica de leitura a 7mm da superfície foliar, avaliando uma área

de $0,385 \text{ cm}^2$. O valor de F_0 foi obtido pela emissão de uma luz com frequência modulada de 600 Hz e intensidade 5. A seguir, com a emissão de um pulso de luz saturante de intensidade 8 por 0,8 segundos, obteve-se F_m . Finalmente, o valor de F_v/F_m foi obtido pela equação $F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$

3.4.4 Cor

A cor das folhas foi determinada usando-se um medidor de cor, o *Color Reader* CR-10 (Minolta®), com fonte de luz interna, que assegura uma iluminação uniforme do objeto. O CR-10 expressa as cores numericamente no espaço L^*a^*b , também conhecido como CIELAB onde L indica o brilho e a e b são as coordenadas cromáticas, representando as direções vermelho-verde e amarelo-azul, respectivamente (Minolta, 1989). As diferenças de cor (ΔE_{ab} , ou simplesmente E) entre qualquer folha e a folha do tratamento testemunha (plantas não inoculadas) foram calculadas pelo uso da equação:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

na qual ΔL , Δa e Δb são, respectivamente, a diferença entre os valores de L , a e b da cor da folha avaliada em relação à testemunha.

Dessa forma, em cada bloco, fazia-se primeiro a leitura da cor da folha na planta não inoculada e, a seguir, a leitura nas folhas das plantas dos diversos tratamentos, obtendo-se, assim, os respectivos valores de E .

3.4.5 Teor de clorofila

As alterações observadas na cor das folhas entre os diversos tratamentos (níveis de população inicial ou P_i) sugeriram haver diferenças entre os teores foliares de clorofila. Dessa forma, a partir da 5ª avaliação dos experimentos conduzidos até o final do ciclo da soja, realizou-se a leitura do teor foliar de clorofila. Para tal, foi utilizado o medidor portátil de clorofila SPAD-502 (*Minolta Chlorophyll Meter* SPAD-502®), que, de forma não destrutiva, fornece a leitura pontual do teor de clorofila (ng/cm^2).

Em cada avaliação, foram tomadas duas medidas (uma de cada lado da nervura central) de cada folíolo central da última folha bem formada e expandida, usando-se, para efeito de análise, a média entre as duas.

3.4.6 Massa seca da parte aérea

Ao final dos experimentos, o caule das plantas foi cortado a cerca de 0,5 cm acima do nível do solo e a parte aérea acondicionada em saco especial de papel, provido de perfurações nas laterais, e levada para secagem em estufa com circulação forçada de ar ajustada para 70°C, até se ter valor constante da massa seca.

Nos experimentos conduzidos até o final do ciclo da cultura, após a obtenção da massa seca total da parte aérea, foi feita a debulha manual das vagens e determinada a massa seca dos grãos, obtendo-se, dessa forma, a produção (g) por planta.

3.4.7 Massa fresca do sistema radicular

Após a separação da parte aérea, os sistemas radiculares foram retirados dos vasos e o substrato aderente removido sob água corrente. A seguir, as raízes foram deixadas por cerca de 30 minutos sobre papel absorvente para eliminar o excesso de água e, então, pesadas individualmente.

3.4.8 Infectividade e reprodução dos nematóides

3.4.8.1 Infectividade de *Heterodera glycines* em variedades com reações distintas

Foi realizado um ensaio preliminar com o objetivo de verificar se a penetração de juvenis infectivos (J₂) de *H. glycines* ocorria igualmente em variedades com diferentes reações (suscetível x resistente) ao parasito, conforme programado para o trabalho.

Sementes de soja das variedades Embrapa 133 (suscetível) e Pintado (resistente) foram semeadas em copos de plástico com capacidade de 200mL contendo areia autoclavada. À época da emergência, foi feito o desbaste deixando-se uma planta por copo. As plantas foram então inoculadas com 1000 juvenis J₂ do parasito e transferidas para casa de vegetação. Após 24 e 72 horas da inoculação, foi realizada a contagem do

número de juvenis que havia penetrado nas raízes, utilizando-se o método de coloração diferencial com hipoclorito de sódio e fucsina ácida (Byrd et al., 1983).

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos (variedades Embrapa 133 e Pintado) e 10 repetições, sendo a parcela constituída de um sistema radicular de soja inoculado aos 3 dias após a emergência. Os dados foram analisados estatisticamente pelo teste T.

Os resultados obtidos (Tabela 1) mostraram que 24 horas após a inoculação havia um número maior de juvenis nas raízes da variedade Pintado, evidenciando maior rapidez na penetração nessa variedade. No entanto, 72 horas após a inoculação, período considerado suficiente para que houvesse a penetração máxima do parasito, não foram observadas diferenças entre os números de juvenis em raízes das variedades resistente ou suscetível.

Tabela 1. Número de juvenis J₂ de *Heterodera glycines* encontrados em raízes de soja das variedades Embrapa 133 e Pintado após 24 e 72 horas da inoculação.

Variedade	Época de avaliação	
	24 h	72 h
Embrapa 133	155,7 a ^x	323,2 a
Pintado	221,5 b	311,1 a

^x Médias de 10 repetições; quando seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste T (p = 0,05).

3.4.8.2 Avaliação da capacidade reprodutiva dos nematóides

A capacidade reprodutiva dos nematóides foi avaliada determinando-se: i) o número de ovos/g de raiz, obtido pelo quociente do número total de ovos extraídos das raízes ao final do experimento pela massa fresca do sistema radicular; e ii) o fator de reprodução (FR), obtido pelo quociente do número de ovos extraídos das raízes ao final do experimento (Pf) pelo número de juvenis J₂ (Pi) utilizados na inoculação das plantas (Oostenbrink, 1966). As contagens foram feitas em câmara de Peters, em duas repetições

de alíquotas de 1 mL. Particularidades sobre procedimentos adotados em relação a cada uma das espécies de nematóide são apresentadas a seguir:

a) *Meloidogyne javanica*

Os ovos foram extraídos utilizando-se a técnica descrita por Boneti & Ferraz (1982), seguida de purificação pela técnica da centrifugação em solução de sacarose (Jenkins, 1964). Da extração até a contagem (aproximadamente 15 dias), os ovos foram conservados em formalina a 4%, sob refrigeração (7,5°C).

b) *Heterodera glycines*

As raízes foram colocadas sobre uma peneira de malha de 850 µm sobreposta a outra de 180 µm. Mediante fortes e repetidos jatos d'água dirigidos às raízes, foi feita então a extração das fêmeas grávidas (com e sem massas de ovos) e dos cistos, que ficaram retidos e foram recolhidos a partir da peneira de 180 µm e purificados pelo método da centrifugação em solução de sacarose (Jenkins, 1964). Para a liberação dos ovos do interior de fêmeas e cistos, recorreu-se a um macerador de tecidos (Young & Heatherly, 1990) de 7,0 mL (*Tissue Grinder* – Corning®). Para tal, as fêmeas grávidas e os cistos foram suspensos em solução 0,5% de hipoclorito de sódio e colocados dentro do macerador, no qual, por não mais do que 3 vezes, o êmbolo interno foi levado até o final da câmara de maceração. Após a extração, a suspensão obtida foi vertida sobre peneira de malha de 74 µm sobreposta a outra de 25 µm, sendo os ovos recolhidos nesta última, lavados em água corrente e armazenados em formalina 4%, sob refrigeração (7,5°C), até que as leituras fossem efetuadas.

3.5 Registro dos dados de temperatura na casa de vegetação

A casa de vegetação em que se desenvolveram os experimentos era dotada de controle térmico, tendo o sensor sido ajustado para 28,5°C, ou seja, o equipamento responsável pela umidificação e resfriamento do ambiente era acionado toda vez que tal temperatura era atingida. Disso resultou que a temperatura máxima praticamente não

ultrapassou 30°C. A temperatura no interior da casa de vegetação foi registrada diariamente com termômetros de máxima e mínima, variando, durante o período dos experimentos, entre 12 e 32°C. Para o registro da temperatura do solo foi utilizado um geotermógrafo com dois sensores, instalados nos vasos menores (experimentos conduzidos até 48-49 dias da inoculação) e maiores (experimentos conduzidos até o final do ciclo da cultura), tendo a temperatura variado de 14,5 a 28,0°C e de 14,0 a 31,0°C, respectivamente.

3.6 Tratamentos fitossanitários

Durante o desenvolvimento dos experimentos, as pragas e os patógenos observados foram controlados segundo os seguintes tratamentos fitossanitários:

- Mosca branca (*Bemisia tabaci* Genn.) – duas pulverizações de Imidacloprid 700 (0,3g/L);
- Ácaros rajado (*Tetranychus urticae* Koch) e branco (*Polyphagotarsonemus latus* Banks) – três pulverizações de Dicofol 480 (1,3mL/L); uma pulverização de Propargite 720 (1mL/L); três pulverizações de Bromopropylate 500 (1,5mL/L);
- Oídio (*Microsphaera diffusa* Cke. & Pk.) – duas pulverizações de Difenconazole 250 (0,2mL/L).

3.7 Delineamento experimental

Cada experimento seguiu a um delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 6 (variedades suscetível/resistente x níveis iniciais de inóculo), com dez repetições, em que a unidade experimental ou parcela foi constituída de um vaso contendo uma planta. Exceção foi feita ao segundo experimento com *H. glycines* no qual, em virtude dos resultados obtidos no primeiro experimento e do intenso volume de trabalho, foi utilizada apenas a variedade suscetível, Embrapa 133.

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos à análise de variância para verificar-se a existência de diferenças significativas entre os tratamentos (variedades, níveis iniciais de inóculo e a interação entre os mesmos). A seguir, procedeu-se à análise de regressão linear, simples e quadrática (Pimentel Gomes, 1984), entre as variáveis

avaliadas em função dos níveis iniciais de inóculo (P_i). Ainda, para tentar explicar os efeitos observados sobre a fisiologia e o crescimento e a produção da soja, as diferentes variáveis avaliadas foram submetidas à análise de correlação e comparadas através do coeficiente de correlação de Pearson. Cada repetição dos experimentos foi analisada estatisticamente em separado.

Para efeito de análise estatística, os dados das avaliações de cor de folhas, número de ovos/g de raiz e fator de reprodução foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$.

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando-se o aplicativo SAEG 5.0 (Sistema para Análises Estatísticas, UFV, 1992).

4 RESULTADOS

Em sua maior parte, os resultados são apresentados na forma de percentagem daqueles obtidos nas parcelas testemunhas, permitindo que se estabeleça uma comparação entre a intensidade dos efeitos nas diferentes variáveis estudadas, independente da grandeza da variável. Os dados originais são apresentados nos Apêndices 1 e 2.

4.1 Experimentos com *Meloidogyne javanica*

4.1.1 Efeitos de *Meloidogyne javanica* sobre processos fisiológicos da soja

4.1.1.1 Efeito sobre a fotossíntese

A taxa fotossintética líquida em folhas de soja variou de 19,8 a 12,4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no experimento de curta duração (experimento 1) e de 18,4 a 7,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no experimento de longa duração (experimento 2). A análise de variância mostrou diferenças significativas entre os tratamentos ($p = 0,01$) em todas as avaliações (17, 27, 37 e 47 dias após a inoculação) no experimento 1 e aos 29, 38 e 54 dias após a inoculação (DAI) no experimento 2 (Tabelas 2 e 3).

No experimento 1, as maiores diferenças entre os tratamentos foram observadas aos 37 DAI (Figura 3), época em que os dados melhor se ajustaram ao modelo de regressão quadrática ($y = 18,8640 - 0,0002x + 0,0019x^2$; $R^2 = 0,60$ e $p < 0,01$), evidenciando que com o aumento da população inicial do nematóide ocorreu uma progressiva redução da taxa fotossintética líquida, efeito esse mais pronunciado a partir

da população de 10800 J₂/planta. Nas demais épocas de avaliação (17, 27 e 47 DAI), embora os coeficientes de determinação (R^2) fossem mais baixos, respectivamente 0,30; 0,23 e 0,38, evidenciou-se a mesma tendência.

Até a avaliação dos 54 DAI, os resultados obtidos no segundo experimento (Figura 4) assemelharam-se muito aos obtidos no primeiro, observando-se, no entanto, aos 38 DAI, efeito diferenciado da população inicial do nematóide sobre a taxa fotossintética das variedades Embrapa 133 ($y = 16,8212 - 0,3738.10^{-4}x - 0,3531.10^{-9}x^2$; $R^2 = 0,57$ e $p < 0,01$) e Coodetec 201 ($y = 16,3333 - 0,2411.10^{-4}x - 0,7622.10^{-10}x^2$; $R^2 = 0,21$ e $p < 0,01$). A partir de 67 DAI, quando as plantas estavam no estágio de início de formação de grãos, as diferenças entre os tratamentos passaram a ser não significativas (Tabela 3 e Figura 4) havendo inclusive, por ocasião do início da maturação (98 DAI), uma tendência de aumento da taxa fotossintética na variedade Embrapa 133 com as populações crescentes de *M. javanica* ($y = 7,516 + 0,1614.10^{-3}x - 0,1306.10^{-8}x^2$; $R^2 = 0,19$ e $p < 0,01$).

4.1.1.2 Efeito sobre a condutância estomática

De modo geral, a condutância estomática de folhas de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 foi pouco influenciada por populações iniciais crescentes de *M. javanica*.

No experimento 1, apenas mostrou-se significativa ($p = 0,01$) a diferença entre os tratamentos na avaliação realizada aos 17 DAI, ou seja, na fase inicial da cultura (Tabela 2). A análise de regressão para essa avaliação (Figura 5) mostrou que a equação $y = 0,1831 - 0,4334.10^{-6}x + 0,3146.10^{-6}x^2$, dentre os modelos testados, foi a que proporcionou melhor ajuste dos dados ($R^2 = 0,33$ e $p < 0,01$). No experimento 2, embora com pequenas variações, manteve-se a tendência da interferência do nematóide sobre a condutância estomática apenas durante as fases iniciais da cultura (Tabela 3 e Figura 6), notadamente aos 18 DAI ($y = 0,1205 - 0,3403.10^{-6}x - 0,1259.10^{-11}x^2$; $R^2 = 0,19$ e $p < 0,01$). Coincidindo com o período de formação e enchimento dos grãos, as 4 últimas avaliações (67, 76, 87 e 98 DAI) mostraram valores de condutância estomática, inclusive

nas plantas não inoculadas, relativamente baixos (variáveis entre 0,10 e 0,03) em comparação com os obtidos nas avaliações precedentes (0,16 a 0,07).

Em ambos os experimentos, sempre que a análise de variância acusou diferenças significativas entre as variedades, o teste de F ($p = 0,01$) revelou maior condutância estomática na variedade Embrapa 133. Em nenhuma das avaliações, detectou-se interação significativa entre as populações do nematóide e as variedades (Tabelas 2 e 3).

4.1.1.3 Efeito sobre a fluorescência da clorofila a

A emissão de fluorescência da clorofila a , estimada pela medida da eficiência máxima do fotossistema II (F_v/F_m), foi, dentre as variáveis avaliadas, a que mostrou maior disparidade nos dois experimentos. No experimento 1, a análise de variância (Tabela 2) mostrou haver diferenças significativas ($p = 0,01$) entre os tratamentos em todas as avaliações e interação significativa ($p = 0,05$) entre Pi e as variedades nas duas primeiras avaliações (22 e 33 DAI). Porém, em comparação com os valores obtidos nas plantas não inoculadas, a redução da fluorescência da clorofila a foi baixa (Figura 7), nunca maior do que 5,2%. Em termos absolutos, os valores obtidos variaram entre 0,83 e 0,76 nas plantas não inoculadas e entre 0,83 e 0,70 nas inoculadas. No experimento 2, pela análise de variância (Tabela 3) detectaram-se diferenças significativas entre os tratamentos (Pi) apenas aos 33 DAI ($p = 0,01$) e aos 56 e 67 DAI ($p = 0,05$) e interações significativas ($p = 0,05$) entre Pi e as variedades nas duas primeiras avaliações (22 e 33 DAI). De forma semelhante ao observado no experimento 1, as reduções observadas foram muito baixas (máximo de 6,3% em relação às plantas não inoculadas). Na última avaliação (99 DAI), muito provavelmente em decorrência da senescência, as plantas apresentaram valores bem baixos de F_v/F_m (0,72 a 0,48) e uma tendência de acréscimo em função do aumento da população inicial (Figura 8). À exceção da última avaliação, a análise estatística revelou existirem diferenças significativas nos valores de F_v/F_m entre as variedades, sendo maior aos 56 e 77 DAI na variedade Embrapa 133 e aos 22, 33, 43, 67 e 89 DAI na variedade Coodetec 201.

4.1.1.4 Efeito sobre a cor das folhas

A análise de variância mostrou haver diferenças significativas ($p = 0,01$) entre os tratamentos em todas as avaliações de ambos os experimentos (Tabelas 2 e 4). No entanto, observou-se que a alteração da cor das plantas infectadas em relação às testemunhas não inoculadas foi muito baixa (Figuras 9 e 10). As reduções (ΔE_{ab}) mais expressivas ocorreram na avaliação realizada aos 41 DAI do experimento 1, com um melhor ajuste dos dados à equação quadrática $y = 2,4799 + 0,5138 \cdot 10^{-3}x - 0,3604 \cdot 10^{-8}x^2$ ($R^2 = 0,73$ e $p < 0,01$), variando em termos absolutos entre 0,0 (controle) e 15,1. Sempre que, pela análise de variância, detectaram-se diferenças significativas ($p = 0,05$) entre as variedades (32 e 48 DAI no experimento 1 e 69 DAI no experimento 2), o teste de F ($p < 0,05$) mostrou um maior desvio da cor normal nas plantas da variedade Embrapa 133. Não se detectaram interações significativas entre Pi e variedades em nenhuma das avaliações de ambos os experimentos.

4.1.1.5 Efeito sobre o teor de clorofila foliar

O conteúdo de clorofila foliar foi pouco afetado pela densidade de inóculo inicial (Pi) de *M. javanica* (Tabela 4 e Figura 11). Pela análise de variância, apenas detectaram-se diferenças significativas entre os tratamentos ($p = 0,05$) na avaliação realizada aos 76 DAI (Tabela 5), quando, na média das duas variedades, os valores encontrados variaram entre 37,9 e 33,6 (ng/cm²). A análise de regressão mostrou, no entanto, não haver ajuste dos dados ao modelo quadrático ($R^2 = 0,09$ e $p > 0,05$). O teor de clorofila foi maior na variedade Coodetec 201 aos 67 DAI (34,9 x 31,2 ng/cm²), porém menor aos 98 DAI (24,2 x 30,0 ng/cm²), quando comparados com os obtidos na variedade Embrapa 133.

TABELA 2. Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida, condutância estomática, fluorescência da clorofila α e cor das folhas de plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 1)

DAI	EFEITO		
	Pi	V	Pi x V
Taxa fotossintética líquida			
17	**	NS	NS
27	**	**	NS
37	**	NS	NS
47	**	NS	NS
Condutância estomática			
17	**	**	NS
27	NS	NS	NS
37	NS	NS	NS
47	NS	NS	NS
Fluorescência da clorofila α			
22	**	**	*
33	**	**	*
43	**	NS	NS
47	**	**	NS
Cor das folhas			
19	**	NS	NS
32	**	*	NS
41	**	NS	NS
48	**	*	NS

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

TABELA 3. Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida, condutância estomática e fluorescência da clorofila α de plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

DAI	EFEITO		
	Pi	V	Pi x V
Taxa fotossintética líquida			
18	NS	**	NS
29	**	**	NS
38	**	NS	**
54	**	**	NS
67	NS	**	NS
76	NS	*	NS
87	NS	*	NS
98	NS	*	*
Condutância estomática			
18	**	**	NS
29	**	NS	NS
38	*	**	NS
54	*	NS	NS
67	NS	**	NS
76	NS	**	NS
87	NS	**	NS
98	NS	**	NS
Fluorescência da clorofila α			
22	NS	*	*
33	**	**	*
43	NS	*	NS
56	*	*	NS
67	*	**	NS
77	NS	**	NS
89	NS	**	NS
99	NS	NS	NS

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

TABELA 4. Resumo da análise de variância da cor e do conteúdo de clorofila de folhas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

DAI	EFEITO		
	Pi	V	Pi x V
Cor das folhas			
20	**	NS	NS
32	**	NS	NS
41	**	NS	NS
57	**	NS	NS
69	**	*	NS
80	**	NS	NS
90	**	NS	NS
98	**	NS	NS
Conteúdo de clorofila			
67	NS	**	**
76	*	NS	NS
87	NS	NS	NS
98	NS	**	NS

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

Figura 3. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a taxa fotossintética líquida (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 17, 27, 37 e 47 dias após a inoculação. (Experimento 1)

Figura 4. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a taxa fotossintética líquida (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 18, 29, 38, 54, 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação. (Experimento 2)

Figura 5. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a condutância estomática (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 17, 27, 37 e 47 dias após a inoculação. (Experimento 1)

Figura 6. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a condutância estômática (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 18, 29, 38, 54, 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação. (Experimento 2)

Figura 7. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a fluorescência (F_v/F_m) da clorofila *a* (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 22, 33, 43 e 47 dias após a inoculação. (Experimento 1)

Figura 8. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a fluorescência (F_v/F_m) da clorofila a (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 22, 33, 43, 56, 67, 77, 89 e 99 dias após a inoculação. (Experimento 2)

Figura 9. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a cor das folhas (% do controle) de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 19, 32, 41 e 48 dias após a inoculação. (Experimento 1)

Figura 10. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a cor de folhas (% do controle) de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 aos 20, 32, 41, 57, 69, 80, 90 e 98 dias após a inoculação. (Experimento 2)

Figura 11. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e o teor de clorofila (% do controle) em folhas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação. (Experimento 2)

4.1.2 Efeito de *Meloidogyne javanica* sobre o crescimento e a produção da soja

4.1.2.1 Efeito sobre a área foliar

Em ambos os experimentos, observaram-se diferenças significativas ($p = 0,01$) quanto à integral da área foliar (IAF) em função da densidade da população inicial do nematóide (Tabelas 5 e 6). No experimento 1, as plantas inoculadas com o maior número de nematóides (97200 J₂/planta) apresentaram uma redução da IAF, na média das duas variedades, da ordem de 66,0% em relação às plantas não inoculadas, sendo esse efeito explicado (Figura 12) pela equação de regressão quadrática $y = 12845,8 - 0,2682x + 0,1907.10^{-5}x^2$ ($R^2 = 0,78$ e $p < 0,01$). Em média, a variedade Coodetec 201 apresentou uma IAF significativamente maior ($p = 0,01$) do que a da Embrapa 133 (Tabela 5). No experimento 2, como no 1, a análise de variância (Tabela 6) acusou diferenças significativas ($p = 0,01$) entre os tratamentos (Pi) e interação significativa (0,05) entre Pi e as variedades. Para ambas as variedades, houve clara tendência de apresentarem uma IAF maior quando inoculadas com a menor densidade populacional do nematóide (1200 J₂/planta). A partir desse nível de inóculo, observou-se, no entanto, redução da área foliar a valores tão baixos quanto 31,6% e 47,4% dos obtidos nas plantas não inoculadas das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201, respectivamente (Figura 13). As equações das regressões quadráticas para as variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 foram, respectivamente, $y = 178845 - 1,2456x + 0,1873.10^{-6}x^2$ ($R^2 = 0,55$ e $p < 0,01$) e $y = 119314 - 1,0162x + 0,3533.10^{-5}x^2$ ($R^2 = 0,48$ e $p < 0,01$). Nesse experimento, em média, os valores da IAF foram significativamente maiores ($p = 0,01$) na variedade Embrapa 133, na comparação com os obtidos na Coodetec 201 (Tabela 6).

4.1.2.2 Efeito sobre a massa fresca das raízes

A massa fresca das raízes foi influenciada pelos diferentes níveis de inóculo inicial de *M. javanica* de forma semelhante nos dois experimentos (Tabelas 5 e 6), havendo diferenças significativas ($p = 0,01$) entre os tratamentos. Em ambos, os valores

da massa fresca das raízes das plantas inoculadas com 1200, 3600 e 10800 J₂/planta, como os das plantas não inoculadas, foram numericamente maiores que os dos demais tratamentos (Figuras 12 e 13). Acima desses níveis ($P_i = 32400$ e 97200), houve uma clara redução da massa fresca das raízes, atingindo valores de 68,2% das plantas não inoculadas (média das duas variedades) no experimento 1 e 37,5% e 61,8% das plantas não inoculadas, respectivamente das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201, no experimento 2. As equações de regressão quadráticas para a variedade Embrapa 133 nos experimentos 1 e 2 foram, respectivamente, $y = 18,3241 - 0,1455 \cdot 10^{-3}x + 0,7942 \cdot 10^{-9}x^2$ ($R^2 = 0,52$ e $p < 0,01$) e $y = 80,0782 - 0,4909 \cdot 10^{-3}x - 0,1240 \cdot 10^{-8}x^2$ ($R^2 = 0,51$ e $p < 0,01$), e $y = 40,0514 - 0,2682 \cdot 10^{-3}x + 0,4253 \cdot 10^{-9}x^2$ ($R^2 = 0,19$ e $p < 0,01$) para a Coodetec 201. Em média, a massa fresca das raízes das plantas da Embrapa 133 foi significativamente maior ($p = 0,05$ no experimento 1 e $p = 0,01$ no experimento 2) do que a da Coodetec 201 (Tabelas 5 e 6).

4.1.2.3 Efeito sobre a massa seca total da parte aérea

A redução da massa seca total da parte aérea em função da P_i foi altamente significativa ($p = 0,01$) nos dois experimentos (Tabelas 5 e 6; Figuras 12 e 13), claramente evidenciando a ocorrência de danos às plantas de soja quando parasitadas por *M. javanica*. No experimento 1, observaram-se reduções de até 68,5% em comparação com as plantas não inoculadas. O modelo de regressão que melhor adequou-se aos dados ($R^2 = 0,82$ e $p < 0,01$) foi o quadrático, sendo a estimativa da produção da matéria seca explicada pela equação $y = 6,7119 - 0,1495 \cdot 10^{-3}x + 0,1070 \cdot 10^{-8}x^2$. Embora não havendo interação significativa com P_i , a produção da matéria seca total da variedade Coodetec 201 (5,9g) foi significativamente maior ($p = 0,01$) que a da Embrapa 133 (4,1g). No experimento 2, verificaram-se tendências muito semelhantes às aquelas observadas no experimento 1, com a exceção de que houve interação significativa ($p = 0,01$) entre P_i e as variedades (Tabela 6). Na variedade Coodetec 201, observou-se uma tendência inicial (com $P_i = 1200$) de aumento da massa seca total da parte aérea, que, a partir de então, declinou em função do aumento da P_i , vindo a atingir até valor 57,3% menor do que o das plantas não inoculadas (Figura 13). A equação de regressão que melhor se ajustou

aos dados foi $y = 20,2566 - 0,2047.10^{-3}x + 0,8911.10^{-9}x^2$ ($R^2 = 0,50$ e $p < 0,01$). Na Embrapa 133, diferentemente, quando inoculada com a menor população do nematóide ($P_i = 1200$), a massa seca total da parte aérea já mostrou-se inferior àquela obtida nas plantas testemunhas, e foi diminuindo até atingir, no P_i mais elevado, o equivalente a apenas 24,2% do valor verificado nas plantas não inoculadas (Figura 13). A equação que melhor se ajustou aos dados foi $y = 26,6668 - 0,3627.10^{-3}x + 0,1706.10^{-8}x^2$ ($R^2 = 0,55$ e $p < 0,01$). Em média, a produção de massa seca da parte aérea de Embrapa 133 (20,9g) foi significativamente maior ($p = 0,01$) do que a de Coodetec 201 (16,9g).

4.1.2.4 Efeito sobre a produção de grãos

A produção de grãos, avaliada apenas no experimento 2, seguiu a mesma tendência da produção da massa seca total da parte aérea. Pelos dados obtidos (Tabela 6 e Figura 12), ficou evidente que o parasitismo pelo nematóide interferiu negativamente na produção de grãos. Na variedade Embrapa 133, a mais afetada, a redução foi de 85,9% para a P_i mais elevada (valor da ordem de 2,2g em comparação com 15,6g obtido nas plantas não inoculadas), sendo a estimativa da produção de grãos/planta obtida através da equação $y = 11,4782 - 0,2615.10^{-3}x + 0,1723.10^{-8}x^2$ ($R^2 = 0,47$ e $p < 0,01$). Na Coodetec 201, observou-se uma tendência inicial de aumento da produção na $P_i = 1200$, mas a partir da $P_i = 3600$ verificou-se uma clara interferência negativa do nematóide sobre a produção, explicada pela equação $y = 10,3088 - 0,1135.10^{-3}x + 0,5063.10^{-9}x^2$ ($R^2 = 0,49$ e $p < 0,01$), ocorrendo redução de até 62,9% em relação às plantas não inoculadas.

4.1.3 Efeito da P_i sobre a reprodução de *Meloidogyne javanica*

4.1.3.1 Produção de ovos de *Meloidogyne javanica* nas raízes

No experimento 1, o número de ovos/g de raiz aumentou igualmente nas variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 em função da P_i (Tabela 5 e Figura 14), atingindo valores de 6959 e 7049 ovos/g de raiz, respectivamente. No experimento 2, observaram-se diferenças nos números de ovos/g de raiz em função da variedade

(Tabela 6 e Figura 15). Na variedade Embrapa 133, verificou-se alta produção de ovos nas Pi mais baixas, de 1200 e 3600 J₂/planta, com valores de 24556 e 35064 ovos/g de raiz respectivamente, a qual declinou progressivamente com o aumento da Pi até estabilizar-se num valor próximo a 14000 ovos/g de raiz. De outra parte, a produção de ovos nas raízes da Coodetec 201 mostrou-se aproximadamente constante (em torno de 10000 ovos/g de raiz), independente do valor da Pi. A produção de ovos nas raízes de Embrapa 133 foi significativamente maior ($p = 0,01$) que em Coodetec 201 (Tabela 6).

4.1.3.2 Fator de reprodução de *Meloidogyne javanica*

O fator de reprodução apresentou, em termos gerais, um comportamento semelhante em ambos os experimentos, ou seja, valores mais altos na Pi menores declinando até valores próximos de zero nas maiores (Tabelas 5 e 6; Figuras 14 e 15). No experimento 1, conduzido durante 48-49 dias, o parasito teve condições de completar apenas uma geração e os valores de FR obtidos aproximam-se mais daqueles constantes em estudos correlatos, refletindo com maior precisão a concepção dada por Oostenbrink (1966) a essa variável. No experimento 2, desenvolvido ao longo de todo o ciclo vegetativo da soja, FR extremamente altos foram determinados para as Pi mais baixas, decorrendo obviamente da sobreposição de várias gerações do nematóide e devendo ser interpretados, portanto, dentro de tal contexto; nesse experimento, o fator de reprodução foi, em média, significativamente superior ($p = 0,01$) na variedade Embrapa 133.

4.1.4 Correlação entre as variáveis fisiológicas e de crescimento e produção da soja

4.1.4.1 Variáveis relacionadas com a fotossíntese

A observação da matriz de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas no experimento 1 (Tabela 7) denota que, independente da variedade, a condutância estomática e a fluorescência da clorofila *a* apresentaram uma baixa correlação com a fotossíntese (variável entre $r = 0,26$ e $0,34$; $p < 0,01$). Por outro lado, o desvio da cor normal das folhas apresentou correlação negativa com a fotossíntese, que foi maior na variedade Embrapa 133 ($r = -0,56$; $p < 0,01$) do que na Coodetec 201 ($r = -0,40$; $p < 0,01$).

TABELA 5. Resumo da análise de variância da integral da área foliar, da massa fresca do sistema radicular, da massa seca da parte aérea, do número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de *Meloidogyne javanica* em plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 inoculadas com populações (Pi) crescentes do parasito. (Experimento 1)

	EFEITO		
	Pi	V	Pi x V
Integral da área foliar	**	**	NS
Massa fresca das raízes	**	*	NS
Massa seca da parte aérea	**	**	NS
Ovos/grama de raiz	**	NS	NS
Fator de reprodução	**	NS	**

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

TABELA 6. Resumo da análise de variância da integral da área foliar, da massa fresca do sistema radicular, da massa seca total da parte aérea, da produção de grãos, do número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de *Meloidogyne javanica* em plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Coodetec 201 inoculadas com populações (Pi) crescentes do parasito. (Experimento 2)

	EFEITO		
	Pi	V	Pi x V
Integral da área foliar	**	**	*
Massa fresca das raízes	**	**	**
Massa seca da parte aérea	**	**	**
Produção de grãos	**	NS	**
Ovos/grama de raiz	**	**	**
Fator de reprodução	**	**	**

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

Figura 12. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a integral da área foliar, a massa fresca do sistema radicular e a massa seca da parte aérea de plantas de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201. (Experimento 1)

Figura 13. Relação entre a população inicial (P_i) de *Meloidogyne javanica* e a integral da área foliar, a massa fresca do sistema radicular, a massa seca total da parte aérea e a produção de grãos (% do controle) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C). (Experimento 2)

Figura 14. Relação entre a população inicial (J_2 /planta) de *Meloidogyne javanica* e a produção de ovos/grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide em raízes de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201. (Experimento 1)

Figura 15. Relação entre a população inicial (J_2 /planta) de *Meloidogyne javanica* e a produção de ovos/grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide em raízes de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C). (Experimento 2)

No experimento 2 (Tabela 8), evidencia-se maior correlação da fotossíntese com a condutância estomática ($r = 0,65$ para a variedade Embrapa 133 e $r = 0,61$ para Coodetec 201) e com a fluorescência da clorofila a ($r = 0,59$ e $r = 0,43$, respectivamente para Embrapa 133 e Coodetec 201). Diferentemente do ocorrido com o experimento 1, observou-se baixa correlação entre a fotossíntese e o desvio da cor normal das folhas. A correlação do teor de clorofila com a fotossíntese apresentou um comportamento variável em função da variedade, sendo alta na Coodetec 201 ($r = 0,68$; $p < 0,01$) e relativamente baixa na Embrapa 133 ($r = 0,39$; $p < 0,01$).

4.1.4.2 Variáveis relacionadas com o crescimento e produção

De todas as variáveis avaliadas, a que apresentou a maior correlação positiva, quer com a produção de massa seca total da parte aérea, quer com a produção de grãos, foi a integral da área foliar (IAF).

No experimento 1, o coeficiente de correlação da IAF com a massa seca total da parte aérea foi de 0,95 ($p < 0,01$) para ambas as variedades. Essa variável mostrou também correlação positiva relativamente alta com a massa fresca do sistema radicular ($r = 0,69$ e $0,51$, respectivamente para Embrapa 133 e Coodetec 201; $p < 0,01$) e negativa com o desvio da cor normal das folhas ($r = -0,53$ e $r = -0,48$, para Embrapa 133 e Coodetec 201, respectivamente). Tendo como base a IAF, a taxa fotossintética apresentou valores relativamente baixos de correlação com a massa seca da parte aérea (variável entre $r = 0,49$ e $0,44$, em função da variedade).

No experimento 2, de forma semelhante, a IAF apresentou uma alta correlação positiva com a produção de massa seca total ($r = 0,91$ e $r = 0,93$; $p < 0,01$), com a produção de grãos ($r = 0,78$ e $r = 0,92$; $p < 0,01$) e relativamente alta com a massa fresca do sistema radicular ($r = 0,65$ e $r = 0,49$; $p < 0,01$), respectivamente nas variedades Embrapa 133 e Coodetec 201. Nesse experimento, foram ainda mais baixos os valores do coeficiente de correlação entre a taxa fotossintética e as variáveis relacionadas com o crescimento e produção da soja (IAF, massa seca e produção da parte aérea e massa fresca da raiz), variando, em função da variedade, entre $r = 0,08$ e $r = 0,21$.

TABELA 7. Matriz de correlação de Pearson entre as diferentes variáveis avaliadas em plantas de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 inoculadas com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 1)

Embrapa 133						
	COND	FLUORO	COR	IAF	MSECA	MRAIZ
FOTO	$r = 0,30$ $p < 0,01$	$r = 0,34$ $p < 0,01$	$r = -0,56$ $p < 0,01$	$r = 0,46$ $p < 0,01$	$r = 0,49$ $p < 0,01$	$r = 0,35$ $p < 0,01$
COND		$r = 0,29$ $p < 0,01$	$r = -0,19$ $p < 0,01$	$r = 0,24$ $p < 0,01$	$r = 0,19$ $p < 0,01$	$r = 0,16$ $p < 0,01$
FLUORO			$r = -0,29$ $p < 0,01$	$r = 0,28$ $p < 0,01$	$r = 0,31$ $p < 0,01$	$r = 0,17$ $p < 0,01$
COR				$r = -0,48$ $p < 0,01$	$r = -0,53$ $p < 0,01$	$r = -0,30$ $p < 0,01$
IAF					$r = 0,95$ $p < 0,01$	$r = 0,69$ $p < 0,01$
MSECA						$r = 0,69$ $p < 0,01$
Coodetec 201						
	COND	FLUORO	COR	IAF	MSECA	MRAIZ
FOTO	$r = 0,26$ $p < 0,01$	$r = 0,26$ $p < 0,01$	$r = -0,40$ $p < 0,01$	$r = 0,42$ $p < 0,01$	$r = 0,44$ $p < 0,01$	$r = 0,23$ $p < 0,01$
COND		$r = 0,08$ $p < 0,11$	$r = -0,07$ $p < 0,12$	$r = 0,18$ $p < 0,01$	$r = 0,19$ $p < 0,01$	$r = 0,06$ $p < 0,16$
FLUORO			$r = -0,16$ $p < 0,01$	$r = 0,22$ $p < 0,01$	$r = 0,23$ $p < 0,01$	$r = 0,15$ $p < 0,01$
COR				$r = -0,43$ $p < 0,01$	$r = -0,48$ $p < 0,01$	$r = -0,12$ $p < 0,02$
IAF					$r = 0,95$ $p < 0,01$	$r = 0,51$ $p < 0,01$
MSECA						$r = 0,46$ $p < 0,01$

FOTO = taxa fotossintética líquida; COND = condutância estomática; FLUORO = fluorescência da clorofila *a*; COR = cor das folhas; IAF = integral da área foliar; MSECA = massa seca da parte aérea; MRAIZ = massa fresca do sistema radicular.

TABELA 8. Matriz de correlação de Pearson entre as diferentes variáveis avaliadas em plantas de soja das variedades Embrapa 133 e Coodetec 201 inoculadas com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

Embrapa 133								
	COND	FLUORO	COR	COLORO	IAF	MSECA	GRAOS	MRAIZ
FOTO	$r = 0,65$ $p < 0,01$	$r = 0,59$ $p < 0,01$	$r = -0,14$ $p < 0,01$	$r = 0,39$ $p < 0,01$	$r = 0,16$ $p < 0,01$	$r = 0,20$ $p < 0,01$	$r = 0,20$ $p < 0,01$	$r = 0,08$ $p = 0,04$
COND		$r = 0,37$ $p < 0,01$	$r = -0,05$ $p = 0,13$	$r = 0,22$ $p < 0,01$	$r = 0,14$ $p < 0,01$	$r = 0,12$ $p < 0,01$	$r = 0,12$ $p < 0,01$	$r = 0,07$ $p = 0,05$
FLUORO			$r = -0,06$ $p = 0,08$	$r = 0,48$ $p < 0,01$	$r = -0,07$ $p = 0,07$	$r = -0,03$ $p = 0,23$	$r = -0,01$ $p = 0,40$	$r = -0,06$ $p = 0,08$
COR				$r = -0,45$ $p < 0,01$	$r = -0,37$ $p < 0,01$	$r = -0,44$ $p < 0,01$	$r = -0,46$ $p < 0,01$	$r = -0,20$ $p < 0,01$
COLORO					$r = 0,14$ $p = 0,01$	$r = 0,27$ $p < 0,01$	$r = 0,33$ $p < 0,01$	$r = -0,04$ $p = 0,29$
IAF						$r = 0,91$ $p < 0,01$	$r = 0,78$ $p < 0,01$	$r = 0,65$ $p < 0,01$
MSECA							$r = 0,95$ $p < 0,01$	$r = 0,53$ $p < 0,01$
GRAOS								$r = 0,34$ $p < 0,01$
Coodetec 201								
	COND	FLUORO	COR	COLORO	IAF	MSECA	GRAOS	MRAIZ
FOTO	$r = 0,61$ $p < 0,01$	$r = 0,43$ $p < 0,01$	$r = -0,19$ $p < 0,01$	$r = 0,68$ $p < 0,01$	$r = 0,18$ $p < 0,01$	$r = 0,20$ $p < 0,01$	$r = 0,21$ $p < 0,01$	$r = 0,11$ $p < 0,01$
COND		$r = 0,36$ $p < 0,01$	$r = -0,15$ $p < 0,01$	$r = 0,52$ $p < 0,01$	$r = 0,13$ $p < 0,01$	$r = 0,13$ $p < 0,01$	$r = 0,13$ $p < 0,01$	$r = 0,08$ $p = 0,04$
FLUORO			$r = -0,30$ $p < 0,01$	$r = 0,71$ $p < 0,01$	$r = 0,27$ $p = 0,28$	$r = 0,08$ $p = 0,04$	$r = 0,07$ $p = 0,06$	$r = 0,10$ $p < 0,01$
COR				$r = -0,32$ $p < 0,01$	$r = -0,21$ $p < 0,01$	$r = -0,24$ $p < 0,01$	$r = -0,26$ $p < 0,01$	$r = -0,12$ $p < 0,01$
COLORO					$r = 0,12$ $p = 0,03$	$r = 0,21$ $p < 0,01$	$r = 0,18$ $p < 0,01$	$r = 0,27$ $p < 0,01$
IAF						$r = 0,93$ $p < 0,01$	$r = 0,92$ $p < 0,01$	$r = 0,49$ $p < 0,01$
MSECA							$r = 0,98$ $p < 0,01$	$r = 0,58$ $p < 0,01$
GRAOS								$r = 0,46$ $p < 0,01$

FOTO = taxa fotossintética líquida; COND = condutância estomática; FLUORO = fluorescência da clorofila a ; CLORO = teor de clorofila; COR = cor das folhas; IAF = integral da área foliar; MSECA = massa seca total da parte aérea; GRÃOS = produção de grãos; MRAIZ = massa fresca do sistema radicular.

4.2 Experimentos com *Heterodera glycines*

4.2.1 Efeito de *Heterodera glycines* sobre processos fisiológicos da soja

4.2.1.1 Efeito sobre a fotossíntese

A taxa fotossintética líquida das folhas sofreu uma variação significativa em função do aumento da população inicial (P_i).

A análise de variância mostrou diferenças significativas ($p = 0,01$) entre os tratamentos em todas as avaliações no experimento 1 (Tabela 9) e interações significativas entre P_i e as variedades aos 28 ($p = 0,05$), 37 e 48 DAI ($p = 0,01$). Nesses casos, em qualquer época de avaliação considerada, não houve diferenças da taxa fotossintética na variedade Pintado. As diferenças inicialmente pequenas entre os tratamentos (redução máxima de 18,4% aos 19 DAI) acentuaram-se com o passar do tempo (Figura 16), vindo a atingir valores bastante expressivos, na variedade Embrapa 133, à época da última avaliação (redução máxima de 76,6% aos 48 DAI), quando os dados obtidos ajustaram-se ($R^2 = 0,65$ e $p < 0,01$) à equação quadrática $y = 17,78 - 0,00017x + 0,1049 \cdot 10^{-8}x^2$. Aos 19 DAI, a fotossíntese foi significativamente maior ($p = 0,01$) na variedade Embrapa 133; aos 37 e 48 DAI, no entanto, foi maior ($p = 0,01$) na Pintado.

No experimento 2, em que apenas a variedade Embrapa 133 foi utilizada, à exceção do verificado aos 20 e 91 DAI, pela análise de variância pode-se detectar diferenças significativas ($p = 0,01$) entre os tratamentos (Tabela 10). De forma semelhante ao ocorrido no experimento 1, após um período inicial em que as diferenças entre os tratamentos foram nulas ou relativamente baixas (redução máxima de 16,7% aos 29 DAI) houve, com o passar do tempo, uma sensível diminuição na taxa fotossintética das plantas inoculadas com *H. glycines* até os 79 DAI (redução máxima de 50,4% aos 79 DAI), quando os dados obtidos ajustaram-se à equação de regressão quadrática ($R^2 = 0,39$ e $p < 0,01$) $y = 10,99 - 0,00023x + 0,2092 \cdot 10^{-8}x^2$ (Figura 17). Aos 91 DAI, com as plantas em adiantado estado de senescência, não se detectaram diferenças entre os tratamentos.

4.2.1.2 Efeito sobre a condutância estomática

De modo geral, a condutância estomática de folhas foi pouco influenciada pelas densidades populacionais iniciais crescentes.

No experimento 1, foram detectadas diferenças significativas ($p = 0,01$) em função da P_i apenas aos 19 e 37 DAI (Tabela 9). Houve uma visível alteração na tendência da condutância estomática em função da fase do experimento. Inicialmente (19 DAI), a condutância estomática diminuiu em função da P_i (redução de até 18,7%), vindo então a aumentar, até atingir, na variedade Embrapa 133, valores 50,0% superiores aos observados nas plantas não inoculadas (37 DAI), passando então, aos 48 DAI, a estabilizar (Figura 18). A condutância estomática foi significativamente maior ($p = 0,01$) na variedade Embrapa 133 aos 19 DAI e na Pintado aos 37 e 48 DAI.

No experimento 2, apenas foram detectadas diferenças significativas ($p = 0,01$) entre os tratamentos aos 79 DAI (Tabela 10), quando houve uma tendência de diminuição da condutância estomática até P_i entre 32400 e 97200 J_2 /planta, a partir dos quais aumentou (Figura 19).

4.2.1.3 Efeito sobre a fluorescência da clorofila α

A emissão de fluorescência da clorofila α , estimada pela medida da eficiência máxima do fotossistema II (F_v/F_m), pouco variou em função das P_i utilizadas.

No experimento 1, considerada a análise de variância (Tabela 9), verificou-se ocorrerem diferenças significativas entre os tratamentos aos 33 ($p = 0,05$), 42 e 49 ($p = 0,01$) DAI, havendo nessas três épocas de avaliação interação significativa entre P_i e as variedades, de forma que o efeito apenas fosse verificado sobre a variedade Embrapa 133. Mesmo assim, as reduções na fluorescência da clorofila α devidas ao parasitismo por *H. glycines* (Figura 20) nunca foram superiores a 6,2% (42 DAI). Aos 23 e 49 DAI, os valores de F_v/F_m foram em média significativamente maiores na variedade Pintado.

No experimento 2, houve diferenças significativas entre os tratamentos ($p = 0,01$) aos 46, 56, 66 e 90 DAI (Tabela 10). Porém, como observado no experimento 1, as variações da fluorescência da clorofila α foram pouco expressivas (Figura 21).

4.2.1.4 Efeito sobre a cor das folhas

Pela análise de variância, detectaram-se diferenças significativas ($p = 0,01$) na cor das folhas em função da Pi em todas as avaliações de ambos os experimentos (Tabelas 9 e 10).

No experimento 1, houve interação significativa ($p = 0,01$) entre Pi e as variedades aos 31, 42 e 47 DAI, verificando-se que o efeito apenas foi evidente sobre a Embrapa 133. A maior diferença na cor das folhas (ΔE_{ab}) entre plantas inoculadas e não inoculadas foi verificada na variedade Embrapa 133 aos 47 DAI, quando, na Pi mais elevada, houve um desvio de 17,2% da cor normal, ocasião em que os dados se ajustaram à equação $y = 0,5789 + 0,00038x - 0,2302 \cdot 10^{-8}x^2$ ($R^2 = 0,59$ e $p < 0,01$).

No experimento 2, as diferenças na cor das folhas entre plantas inoculadas e não inoculadas acentuaram-se a partir dos 32 DAI (Figura 23), com o maior valor (22,9% da cor normal) aos 70 DAI nas plantas inoculadas com 32400 J₂, quando os dados se ajustaram à equação $y = 0,7519 + 0,00077x - 0,6533 \cdot 10^{-8}x^2$ ($R^2 = 0,40$ e $p < 0,01$).

4.2.1.5 Efeito sobre o teor de clorofila foliar

O teor de clorofila foliar, avaliado apenas no experimento 2, variou significativamente ($p = 0,01$) em função da Pi (Tabela 10), oscilando, em termos absolutos, entre 37,6 a 17,6 ng/cm². Independente da época de avaliação, mesmo em presença da menor população inicial do nematóide, houve uma sensível diminuição no teor de clorofila (Figura 24), que, aos 79 DAI, foi reduzido, em relação às plantas não inoculadas, em até 52,9%. Nessa época, os dados obtidos ajustaram-se à equação $y = 30,76 - 0,00068x + 0,5683 \cdot 10^{-8}x^2$ ($R^2 = 0,50$ e $p < 0,01$).

TABELA 9. Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida, condutância estomática, fluorescência da clorofila α e cor das folhas de plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Pintado em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 1)

DAI	EFEITO		
	Pi	V	Pi x V
Taxa fotossintética líquida			
19	**	**	NS
28	**	NS	*
37	**	**	**
48	**	**	**
Condutância estomática			
19	**	**	NS
28	NS	NS	NS
37	**	**	*
48	NS	**	NS
Fluorescência da clorofila α			
23	NS	*	NS
33	*	NS	*
42	**	**	**
49	**	NS	**
Cor das folhas			
21	**	NS	NS
31	**	NS	**
42	**	**	**
47	**	**	**

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

TABELA 10. Resumo da análise de variância da taxa fotossintética líquida, condutância estomática, fluorescência da clorofila *a*, cor das folhas e teor de clorofila foliar de plantas de soja da variedades Embrapa 133 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações (Pi) crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 2)

DAI						
Taxa fotossintética líquida						
20	29	44	58	67	79	91
NS	**	**	**	**	**	NS
Condutância estomática						
20	29	44	58	67	79	91
NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
Fluorescência da clorofila <i>a</i>						
23	33	46	56	66	78	90
NS	NS	**	**	**	NS	**
Cor das folhas						
21	32	47	59	70	81	90
**	**	**	**	**	**	**
Teor de clorofila						
			58	67	79	91
			**	**	**	**

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

Figura 16. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a taxa fotossintética líquida (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 19, 28, 37 e 48 dias após a inoculação. (Experimento 1)

Figura 17. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a taxa fotossintética líquida (% do controle) em folíolos de soja da variedade Embrapa 133 aos 20, 29, 44, 58, 67, 79 e 91 dias após a inoculação. (Experimento 2)

Figura 18. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a condutância estomática (% do controle) em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 19, 28, 37 e 48 dias após a inoculação. (Experimento 1)

Figura 19. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a condutância estomática (% do controle) em folíolos de soja da variedade Embrapa 133 aos 20, 29, 44, 58, 67, 79 e 91 dias após a inoculação. (Experimento 2)

Figura 20. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a fluorescência (F_v/F_m) da clorofila *a* (% do controle), em folíolos de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 23, 33, 42 e 49 dias após a inoculação. (Experimento 1)

Figura 21. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a fluorescência (F_v/F_m) da clorofila *a* (% do controle) em folíolos de soja da variedade Embrapa 133 aos 23, 33, 46, 56, 66, 78 e 90 dias após a inoculação. (Experimento 2)

Figura 22. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a cor das folhas (% do controle) de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 21, 31, 42 e 47 dias após a inoculação. (Experimento 1)

Figura 23. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a cor das folhas (% do controle) em folíolos de soja da variedade Embrapa 133 aos 21, 32, 47, 59, 70, 81 e 90 dias após a inoculação. (Experimento 2)

Figura 24. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e o teor de clorofila (% do controle) em folhas de soja da variedade Embrapa 133 aos 58, 67, 79 e 91 dias após a inoculação. (Experimento 2)

4.2.2 Efeito de *Heterodera glycines* sobre o crescimento e a produção da soja

4.2.2.1 Efeito sobre a área foliar

A integral da área foliar (IAF) mostrou diferenças significativas ($p = 0,01$) em função da densidade da população inicial do nematóide em ambos os experimentos (Tabelas 11 e 12).

No experimento 1, houve interação significativa entre P_i e as variedades ($p = 0,01$) sendo o efeito do nematóide mais pronunciado sobre a Embrapa 133, na qual a redução da área foliar na P_i mais elevada foi de 70,6%, estando os dados ajustados à equação $y = 12542 - 0,3199x + 0,1254 \cdot 10^{-5}x^2$ ($R^2 = 0,63$ e $p < 0,01$). Ainda nessa variedade, observou-se, nas P_i s mais baixas, uma ligeira tendência de aumento da área foliar. Na variedade Pintado, a máxima redução da área foliar observada foi de 36,5% (Figura 25). Em média, a área foliar da variedade Pintado foi significativamente ($p = 0,01$) maior do que a da Embrapa 133 (Tabela 11)

De forma semelhante, no experimento 2, houve expressiva redução da área foliar da variedade Embrapa 133 (79,5%) em relação às plantas não inoculadas (Figura 26), sendo esse efeito explicado pela equação de regressão quadrática $y = 91098 - 3,0341x + 0,2473 \cdot 10^{-4}x^2$ ($R^2 = 0,50$ e $p < 0,01$).

4.2.2.2 Efeito sobre a massa fresca das raízes

O nematóide de cisto da soja interferiu significativamente ($p = 0,01$) na massa fresca de raízes (Tabelas 11 e 12).

No experimento 1, observou-se clara diferença nos efeitos do parasitismo sobre as variedades estudadas, com reduções máximas de 52,0 e 33,3%, respectivamente em Embrapa 133 e Pintado, em comparação com as plantas não inoculadas. Na Embrapa 133, sob densidades populacionais relativamente baixas, observou-se uma leve tendência de aumento da massa fresca das raízes (Figura 25). Em termos gerais, a massa fresca das raízes de Embrapa 133 foi significativamente ($p = 0,01$) maior do que a de Pintado.

No experimento 2, o efeito sobre a massa fresca de raízes de Embrapa 133 foi bastante pronunciado (Figura 26), ocorrendo reduções de até 83,0% em relação às

plantas não inoculadas. Nesse experimento, mesmo nas Pis mais baixas houve uma interferência negativa sobre a massa fresca das raízes. A equação que melhor explicou esse comportamento ($R^2 = 0,51$ e $p < 0,01$) foi a da regressão quadrática $y = 22,81 - 0,00085x + 0,7048.10^{-8} x^2$.

4.2.2.3 Efeito sobre a massa seca total da parte aérea

A redução da massa seca total da parte aérea em função da Pi foi altamente significativa ($p = 0,01$) nos dois experimentos (Tabelas 11 e 12; Figuras 25 e 26), evidenciando, de forma inequívoca, a ocorrência de danos às plantas de soja quando parasitadas por *H. glycines*.

No experimento 1, houve interação significativa ($p = 0,01$) entre Pi e variedades (Tabela 11), caracterizada pelo efeito muito mais pronunciado sobre a Embrapa 133, na qual a redução da massa seca da parte aérea atingiu 87,7% em relação às plantas não inoculadas, situação em que os dados se ajustaram à equação de regressão quadrática $y = 4,17 - 0,00015x + 0,1210.10^{-8} x^2$ ($R^2 = 0,73$ e $p < 0,01$). Na variedade Pintado, a redução da massa seca total da parte aérea foi no máximo de 30,3% em relação às plantas não inoculadas, sendo os dados melhor ajustados ($R^2 = 0,23$ e $p < 0,01$) à equação $y = 5,45 - 0,5618.10^{-4}x + 0,4136.10^{-9} x^2$. Em geral, a massa seca da parte aérea da Pintado foi significativamente ($p = 0,01$) maior do que a da Embrapa 133.

No experimento 2, o efeito da Pi sobre a massa seca total da parte aérea da Embrapa 133 seguiu padrões semelhantes aos observados no experimento 1, sendo, no entanto, já pronunciado em densidades relativamente baixas (Figura 26). Nesse experimento, a massa seca da parte aérea foi reduzida em até 93,2% quando comparada com a das plantas não inoculadas, sendo a equação $y = 13,42 - 0,00063x + 0,5225.10^{-8} x^2$ a que melhor se ajustou aos dados ($R^2 = 0,35$ e $p < 0,01$).

4.2.2.4 Efeito sobre a produção de grãos

A produção de grãos da variedade Embrapa 133, avaliada apenas no experimento 2, foi drasticamente reduzida em função da Pi (Tabela 12 e Figura 26), seguindo a

mesma tendência da produção de massa seca total da parte aérea. Já na Pi de 1200 J₂/planta, a produção de grãos foi reduzida em 93,5% em relação às plantas não inoculadas e, sob populações iniciais maiores, praticamente não houve produção de grãos. O melhor ajuste para os dados foi obtido pela equação $y = 4,79 - 0,00028x + 0,2317 \cdot 10^{-8} x^2$ ($R^2 = 0,26$ e $p < 0,01$).

4.2.3 Efeito da Pi sobre a reprodução do nematóide

4.2.3.1 Produção de ovos nas raízes das plantas

Como evidenciado no experimento 1 (Tabela 11 e Figura 27), não houve multiplicação de *H. glycines* em raízes da variedade Pintado. Na Embrapa 133, o número de ovos/grama de raiz aumentou em função da Pi até 32400 J₂/planta, vindo então a estabilizar. Os maiores valores observados, respectivamente nas Pis de 32400 e 97200 J₂/planta, foram de 82736 e 79568 ovos/g de raiz.

Ao final do experimento 2 (Figura 28), observaram-se valores crescentes do número de ovos/g de raízes até a Pi de 3600 J₂/planta, a partir da qual houve uma tendência de decréscimo. Em termos absolutos, o número de ovos/g de raiz variou de 25143 (1200 J₂/planta) a 33144 (3600 J₂/planta).

4.2.3.2 Fator de reprodução

Em termos gerais, o fator de reprodução do nematóide na variedade Embrapa 133 apresentou comportamento semelhante em ambos os experimentos, ou seja, alto na menor Pi (37,2 e 400,3, respectivamente no primeiro e segundo experimentos) e decaindo até valores próximos de zero na maior Pi (Figuras 27 e 28). Como evidenciado no experimento 1, não se observou reprodução na variedade Pintado (Figura 27).

TABELA 11. Resumo da análise de variância da integral da área foliar, da massa fresca do sistema radicular, da massa seca da parte aérea, do número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de *Heterodera glycines* em plantas de soja das variedades (V) Embrapa 133 e Pintado inoculadas com populações (Pi) crescentes do parasito. (Experimento 1)

	EFEITO		
	Pi	V	Pi x V
Integral da área foliar	**	**	NS
Massa fresca das raízes	**	**	**
Massa seca da parte aérea	**	**	**
Ovos/grama de raiz	**	**	**
Fator de reprodução	**	NS	**

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

TABELA 12. Resumo da análise de variância da integral da área foliar, da massa fresca do sistema radicular, da massa seca total da parte aérea, da produção de grãos, do número de ovos/grama de raiz e do fator de reprodução de *Heterodera glycines* em plantas de soja da variedades Embrapa 133 inoculadas com populações (Pi) crescentes do parasito. (Experimento 2)

VARIÁVEL	EFEITO (Pi)
Integral da área foliar	**
Massa fresca do sistema radicular	**
Massa seca total da parte aérea	**
Produção de grãos	**
Ovos/grama de raiz	**
Fator de reprodução	**

*, ** Significativo aos níveis de 0,05 e 0,01, respectivamente; NS, não significativo ao nível de 0,05.

Figura 25. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a integral da área foliar, a massa fresca do sistema radicular e a massa seca da parte aérea (% do controle) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P). (Experimento 1)

Figura 26. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a integral da área foliar, a massa fresca do sistema radicular, a massa seca total da parte aérea e a produção de grãos (% do controle) de plantas de soja da variedade Embrapa 133. (Experimento 2)

Figura 27. Relação entre a população inicial (J_2 /planta) de *Heterodera glycines* e a produção de ovos/grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide em raízes de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P). (Experimento 1)

Figura 28. Relação entre a população inicial (P_i) de *Heterodera glycines* e a produção de ovos/grama de raiz e o fator de reprodução do nematóide em raízes de soja da variedade Embrapa 133. (Experimento 2)

4.2.4 Correlação entre as variáveis fisiológicas e de crescimento e produção da soja

4.2.4.1 Variáveis relacionadas com a fotossíntese

A matriz de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas no experimento 1 (Tabela 13) e a taxa fotossintética evidenciou diferenças entre as variedades. Na Embrapa 133, os coeficientes de correlação entre a fotossíntese e a condutância estomática, a fluorescência da clorofila *a* e a cor das folhas (desvio da cor normal) foram $r = 0,44$ ($p < 0,01$), $r = -0,43$ ($p = 0,25$) e $r = -0,53$ ($p < 0,01$), respectivamente. Na Pintado, as mesmas variáveis apresentaram coeficientes de correlação com a taxa fotossintética de $r = 0,21$ ($p < 0,01$), $r = 0,36$ ($p < 0,01$) e $r = -0,13$ ($p = 0,02$).

No experimento 2 (Tabela 14), evidenciou-se maior correlação da fotossíntese com a condutância estomática ($r = 0,76$; $p < 0,01$) e com o desvio da cor normal das folhas ($r = -0,64$; $p < 0,01$) na variedade Embrapa 133. Nesse experimento, o coeficiente de correlação da taxa fotossintética com o teor de clorofila foliar foi de $r = 0,59$ ($p < 0,01$) e entre este e o desvio da cor normal das folhas de $r = -0,82$ ($p < 0,01$).

4.2.4.2 Variáveis relacionadas com o crescimento e a produção

Em ambos os experimentos, de todas as variáveis avaliadas, a que apresentou a maior correlação positiva, quer com a produção de massa seca total da parte aérea, quer com a produção de grãos, foi a integral da área foliar (IAF).

No experimento 1 (Tabela 13), o coeficiente de correlação entre a IAF e a produção da massa seca total da parte aérea variou entre $r = 0,94$ ($p < 0,01$) e $r = 0,92$ ($p < 0,01$), respectivamente nas variedades Embrapa 133 e Pintado. Correlações expressivas também foram observadas entre a IAF e a massa fresca das raízes, variando entre $r = 0,84$ ($p < 0,01$) e $r = 0,64$ ($p < 0,01$), respectivamente para as mesmas variedades. Ainda nesse experimento, verificou-se correlação negativa entre a massa seca da parte aérea e o desvio da cor normal das folhas, sendo maior na variedade Embrapa 133 ($r = -0,58$ e $p < 0,01$) do que na Pintado ($r = -0,33$ e $p < 0,01$). De forma semelhante, a correlação entre

a taxa fotossintética e a produção de massa seca foi maior na variedade Embrapa 133 ($r = 0,58$ e $p < 0,01$) do que na Pintado ($r = 0,21$ e $p < 0,01$).

No experimento 2 (Tabela 14), os coeficientes de correlação entre a IAF e as produções de massa seca total da parte aérea, de grãos e de massa fresca das raízes da variedade Embrapa 133 foram $r = 0,95$ ($p < 0,01$), $r = 0,90$ ($p < 0,01$) e $r = 0,93$ ($p < 0,01$), respectivamente. Embora de forma não tão expressiva, o teor de clorofila foliar apresentou uma correlação ($p < 0,01$) positiva relativamente alta com as produções de massa seca da parte aérea, de grãos e de massa fresca de raízes (respectivamente, $r = 0,73$, $r = 0,70$ e $r = 0,75$). Ainda nesse experimento, observaram-se coeficientes de correlação negativos entre as três variáveis citadas e o desvio da cor normal das folhas, respectivamente da ordem de $r = -0,51$, $r = -0,49$ e $r = -0,51$ ($p < 0,01$).

TABELA 13. Matriz de correlação de Pearson entre as diferentes variáveis avaliadas em plantas de soja das variedades Embrapa 133 e Pintado inoculadas com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 1)

Embrapa 133						
	COND	FLUORO	COR	IAF	MSECA	MRAIZ
FOTO	$r = 0,44$ $p < 0,01$	$r = -0,43$ $p = 0,25$	$r = -0,52$ $p < 0,01$	$r = 0,51$ $p < 0,01$	$r = 0,58$ $p < 0,01$	$r = 0,42$ $p < 0,01$
COND		$r = -0,37$ $p < 0,01$	$r = -0,09$ $p = 0,09$	$r = 0,06$ $p = 0,17$	$r = 0,34$ $p = 0,30$	$r = 0,06$ $p = 0,16$
FLUORO			$r = -0,22$ $p < 0,01$	$r = 0,28$ $p < 0,01$	$r = 0,26$ $p < 0,01$	$r = 0,29$ $p < 0,01$
COR				$r = -0,53$ $p < 0,01$	$r = -0,58$ $p < 0,01$	$r = -0,46$ $p < 0,01$
IAF					$r = 0,94$ $p < 0,01$	$r = 0,84$ $p < 0,01$
MSECA						$r = 0,73$ $p < 0,01$
Pintado						
	COND	FLUORO	COR	IAF	MSECA	MRAIZ
FOTO	$r = 0,21$ $p < 0,01$	$r = 0,36$ $p < 0,01$	$r = -0,13$ $p = 0,02$	$r = 0,20$ $p < 0,01$	$r = 0,21$ $p < 0,01$	$r = 0,11$ $p = 0,04$
COND		$r = -0,34$ $p < 0,11$	$r = -0,21$ $p < 0,01$	$r = 0,32$ $p < 0,01$	$r = 0,27$ $p < 0,01$	$r = 0,14$ $p = 0,16$
FLUORO			$r = -0,09$ $p = 0,08$	$r = -0,06$ $p = 0,16$	$r = -0,07$ $p = 0,13$	$r = -0,07$ $p = 0,15$
COR				$r = -0,36$ $p < 0,01$	$r = -0,33$ $p < 0,01$	$r = -0,30$ $p < 0,01$
IAF					$r = 0,92$ $p < 0,01$	$r = 0,64$ $p < 0,01$
MSECA						$r = 0,62$ $p < 0,01$

FOTO = taxa fotossintética líquida; COND = condutância estomática; FLUORO = fluorescência da clorofila a ; COR = cor das folhas; IAF = integral da área foliar; MSECA = massa seca da parte aérea; MRAIZ = massa fresca do sistema radicular.

TABELA 14. Matriz de correlação de Pearson entre as diferentes variáveis avaliadas em plantas de soja da variedade Embrapa 133 inoculadas com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 2)

	COND	FLUO	COR	COLORO	IAF	MSEC	GRÃOS	MRAIZ
FOTO	r = 0,76 p < 0,01	r = 0,43 p < 0,01	r = - 0,64 p < 0,01	r = 0,59 p < 0,01	r = 0,32 p < 0,01	r = 0,31 p < 0,01	r = 0,29 p < 0,01	r = 0,32 p < 0,01
COND		r = 0,26 p < 0,01	r = - 0,48 p < 0,01	r = 0,17 p < 0,01	r = 0,04 p = 0,20	r = 0,05 p = 0,17	r = 0,04 p = 0,20	r = 0,06 p = 0,11
FLUO			r = - 0,17 p < 0,01	r = 0,20 p < 0,01	r = 0,09 p = 0,03	r = 0,07 p = 0,07	r = 0,06 p = 0,12	r = 0,10 p = 0,02
COR				r = - 0,82 p < 0,01	r = - 0,51 p < 0,01	r = - 0,51 p < 0,01	r = - 0,49 p < 0,01	r = - 0,51 p < 0,01
COLORO					r = 0,75 p < 0,01	r = 0,73 p < 0,01	r = 0,70 p < 0,01	r = 0,75 p < 0,01
IAF						r = 0,95 p < 0,01	r = 0,90 p < 0,01	r = 0,93 p < 0,01
MSEC							r = 0,99 p < 0,01	r = 0,90 p < 0,01
GRÃOS								r = 0,85 p < 0,01

FOTO = taxa fotossintética líquida; COND = condutância estomática; FLUO = fluorescência da clorofila *a*; COR = cor das folhas; COLORO = teor de clorofila; IAF = integral da área foliar; MSEC = massa seca total da parte aérea; GRÃOS = produção de grãos; MRAIZ = massa fresca do sistema radicular.

5 DISCUSSÃO

5.1 Experimentos com *Meloidogyne javanica*

5.1.1 Efeitos sobre processos fisiológicos da soja

Até a fase de início da formação de grãos, as plantas de soja parasitadas por *M. javanica* apresentaram redução da taxa fotossintética, quando comparadas com as plantas não inoculadas (Figuras 3 e 4), sendo esse efeito mais pronunciado dos 27 aos 38 dias após a inoculação. O mesmo nematóide provocou a redução da atividade fotossintética na cultura do tomateiro (Loveys & Bird, 1973; Wallace, 1974) e, de forma semelhante ao observado no presente trabalho, na maioria das interações estudadas envolvendo espécies de *Meloidogyne*, os efeitos sobre a fotossíntese são apenas significativos a partir de uma população relativamente alta do nematóide.

Vários têm sido os processos relacionados com a diminuição da atividade fotossintética em plantas parasitadas por nematóides, dentre os quais a diminuição do teor de clorofila (Balogun & Babatola, 1990; Dutta et al., 1990; Haseeb & Shukla, 1995; Haseeb et al., 1998; Kaushal & Madavi, 1992; Nagesh & Dhawan, 1988), as alterações na condutância estomática (Saeed et al., 1997), as limitações fotoquímicas ou processos bioquímicos (Schans & Arntzen, 1991), a falta de nutrientes (Wallace, 1974) ou a interferência na síntese e/ou translocação de fatores reguladores da fotossíntese produzidos nas raízes (Loveys & Bird, 1973).

Em que pese a soja ser uma espécie com alta demanda por água, devido à grande resistência ao movimento dessa na planta (Shibles et al., 1975), à exceção do observado nas avaliações iniciais, o parasitismo por *M. javanica* pouco interferiu sobre o movimento estomático (condutância estomática), conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6. Bird

(1974) defende a hipótese de que um dos mecanismos responsáveis pela redução da taxa fotossintética nas plantas parasitadas esteja relacionado com o fechamento parcial dos estômatos devido ao estresse hídrico decorrente dos danos causados às raízes pelos nematóides, o que resultaria no decréscimo na entrada de CO₂ nas folhas, levando a uma redução na taxa de assimilação. No entanto, o estudo das interações entre *M. incognita* e cultivares de videira (Melakeberhan et al., 1990) e *G. pallida* e cultivares de batata (Schans & Arntzen, 1991) mostraram que, para esses patossistemas, a função estomática não foi responsável pela redução da fotossíntese. Os resultados observados nas avaliações realizadas aos 17 e 18 DAI, respectivamente nos experimentos 1 e 2, podem, contudo, conduzir ao pensamento de que uma alta população inicial de nematóides possa causar um grande estresse hídrico ao penetrar maciçamente em plantinhas jovens, a ponto de interferir na condutância estomática e, por consequência, na fotossíntese. Esse efeito foi também observado na interação entre *G. pallida* e cultivares de batata (Schans & Arntzen, 1991), nas quais houve uma redução na taxa fotossintética que foi devida, inicialmente, ao estresse de água, e passou, após três dias, a ser relacionada a processos não estomáticos.

A falta de variações na emissão de fluorescência da clorofila *a* entre os tratamentos (Figuras 7 e 8) evidencia que o parasitismo por *M. javanica* não interferiu no transporte de elétrons pelo PSII (Krause & Weis, 1991). A relativamente baixa correlação (Tabelas 7 e 8) entre essa variável e a taxa fotossintética (entre $r = 0,26$ e $0,59$ em função do experimento e da variedade) conduz à idéia que não seja a responsável pelas variações na eficiência fotossintética apresentadas por plantas de soja parasitadas.

Em geral, a coloração das plantas de soja parasitadas por *M. javanica* não diferiu de forma muito acentuada daquelas não inoculadas, exceção feita à avaliação realizada aos 41 DAI no experimento 1 (Figura 9). Essa variável foi avaliada na tentativa de detectar-se algum efeito relacionado com a absorção e/ou translocação de nitrogênio ou com a quantidade de clorofila foliar que pudesse explicar eventuais variações na taxa fotossintética de plantas parasitadas. Com efeito, Ma et al. (1995) encontraram uma alta correlação entre a cor das folhas (baseada no teor de clorofila) e a taxa fotossintética de plantas de soja. No entanto, a baixa variação no teor de clorofila foliar observada entre

os diversos tratamentos do experimento 2 (Figura 11) mostra não ser esse o caso para a interação entre soja e *M. javanica*. É possível que a alteração, embora restrita, na coloração das plantas parasitadas no presente trabalho esteja relacionada com a absorção e/ou translocação de nitrogênio. Esta hipótese é reforçada pelos resultados obtidos por Carneiro (1999), que mostraram ocorrer acúmulo de maior quantidade do nutriente nas raízes que na parte aérea no período de 40 dias após a inoculação de plantas de soja por *M. javanica* e *M. incognita* raça 3, coincidindo com a época em que foram verificadas as maiores variações na coloração das folhas no presente trabalho. De forma semelhante, a deficiência de nitrogênio devida a baixa nodulação tem sido considerada como uma das causas da baixa taxa fotossintética observada em plantas de soja parasitadas por *H. glycines* (Koenning & Barker, 1995).

Os efeitos limitados da Pi de *M. javanica* sobre a condutância estomática, a fluorescência da clorofila *a*, a cor das folhas e o teor de clorofila, bem como, em termos gerais, a baixa correlação verificada entre essas variáveis e a taxa fotossintética da soja, não permitem que se identifique um fator que pudesse, isoladamente, explicar as variações observadas nesta última. É possível que devido à complexidade da relação entre a Pi e a fotossíntese, seja determinada por mais de um fator, hipótese já há muito levantada por Wallace (1974).

5.1.2 Efeitos sobre o crescimento e a produção de soja

Tanto no experimento de curta quanto no de longa duração, a área foliar das plantas de soja, expressa em termos da integral da área foliar durante o período de avaliação (IAF), foi reduzida de maneira expressiva em função do aumento da população inicial (Pi) de *M. javanica* (Figuras 12 e 13), fato já observado no mesmo patossistema (Sharma & Rodríguez C., 1982) e nas interações entre *M. incognita* e tomateiro (Fortnum et al., 1991) ou *Corchorus olitorius* L. (Balogun & Babatola, 1990), entre tantas envolvendo várias espécies de nematóides em diferentes culturas (Fasan & Haverkort, 1991; Kaushal & Madavi, 1992; Schans & Arntzen, 1991; Sharma et al., 1993). Os nematóides de galhas utilizam rapidamente o carbono fixado nas folhas e consomem uma significativa parte do total de energia produzida pelas plantas (Carneiro

et al., 1999; Melakeberhan & Ferris, 1988; Melakeberhan et al., 1990). O grande tamanho e o alto conteúdo protéico do corpo das fêmeas associados à alta capacidade de produção de ovos e às modificações causadas na organização e fisiologia das raízes alteram o padrão energético das plantas, comprometendo-lhes a capacidade de manter e expandir certas estruturas, tais como as folhas. No experimento 2 a relação quadrática entre as variáveis evidenciou um aumento da IAF sob condições de baixa Pi (Figura 13), fato que foi igualmente observado nas interações entre *M. incognita* e tomateiro (Fortnum et al., 1991) e entre *G. pallida* e variedades de batata (Schans and Arntzen, 1991).

As expressivas reduções na produção da massa seca total da parte aérea e na produção de grãos de soja parasitada por populações crescentes de *M. javanica* observadas nos experimentos 1 e 2 corroboraram os resultados obtidos por Sharma & Rodríguez C. (1982) e prestam-se bem a evidenciar, mais uma vez, o grande potencial de dano desse nematóide para a cultura da soja. Quando transformadas para número de J_2 /planta, as populações iniciais (Pi) utilizadas pelos autores citados variaram, aproximadamente, entre 2000 e 128000 nematóides, o que possibilitou uma comparação direta entre os resultados dos dois estudos. No experimento 2, contudo, na Pi mais baixa (1200 J_2 /planta) tanto a massa seca da parte aérea quanto a produção de grãos na variedade Embrapa 133 foram maiores que a da testemunha não inoculada, resultando uma relação tipicamente quadrática. Esse comportamento já foi também verificado no parasitismo de soja por *M. incognita* (Kinloch, 1982; Windham & Barker, 1986) bem como em outras interações entre *Meloidogyne* spp. e culturas diversas (Di Vito et al., 1996; Fortnum et al., 1991; Wallace, 1971) e tem sido atribuído a um aparente efeito estimulante decorrente da presença do nematóide parasitando a planta em baixas populações, condição da qual resultaria rápida e intensa regeneração das raízes e produção de certas substâncias de crescimento, traduzindo-se no final em maior desenvolvimento da parte aérea (Wallace, 1971). É possível que no experimento 1 esse efeito não tenha se manifestado devido ao relativamente curto período disponível para que as plantas pudessem traduzir a maior massa de raízes ou a produção de substâncias de crescimento em aumento da massa seca da parte aérea.

Em ambos os experimentos ficou também evidente o efeito do parasitismo sobre a massa fresca das raízes. O aumento da massa fresca do sistema radicular nas Pis mais baixas (1200 até 10800 J₂/planta) coincidiu com o relatado em alguns outros trabalhos (Carneiro et al., 1999; Fortnum et al., 1991; Wallace, 1971) e, ao que tudo indica, está associado à formação de galhas nas raízes parasitadas bem como à emissão de raízes secundárias a partir das galhas. Por outro lado, com valores bem mais elevados de Pi, deve ocorrer diminuição na produção de fotoassimilados em decorrência da menor área foliar fotossintetizante associada ao efeito de dreno metabólico exercido pelo nematóide, resultando sensível redução da massa fresca das raízes. O coeficiente de correlação de Pearson (Tabelas 7 e 8) acusou uma correlação positiva significativa e relativamente alta (entre $r = 0,69$ e $0,49$, dependendo da variedade e do experimento) entre a massa fresca das raízes e a integral da área foliar, o que, em parte, explica a afirmação acima.

5.1.3 Análise da possibilidade de uso de dados da fotossíntese e da área foliar em modelos de previsão de perdas

Os resultados obtidos nos dois experimentos evidenciaram haver relações significativas entre a Pi de *M. javanica* e a redução da produção de plantas de soja, expressa em massa seca total da parte aérea ou de grãos, de modo que as equações que caracterizaram essas relações pudessem ser utilizadas para estimar as perdas em função da Pi, tal como proposto em vários outros trabalhos (Barker & Olthof, 1976; Barker et al., 1985; Duncan & Ferris, 1983; Ferris et al., 1981; Oostenbrink, 1971; Seinhorst, 1970, 1973). No entanto, elas não explicam toda a relação quantitativa entre a densidade populacional dos nematóides e o crescimento das plantas (Seinhorst, 1965), havendo forte interferência de local, tipo de solo, variedades, clima e mesmo de amostragem, em função da sua distribuição irregular nos solos (Ferris, 1978; Ferris, 1984; Windham & Barker, 1986). Para sanar essas deficiências dos modelos de previsão de perdas, recentemente tem sido utilizada uma alternativa, especialmente para patógenos da parte aérea, que leva em consideração variáveis relacionadas com a fotossíntese e a área foliar sadia, verdadeiramente responsáveis pela produção, para modelos de previsão de perdas (Bergamin Filho et al., 1997; Bianchini et al., 1998; Waggoner & Berger, 1987).

Em que pese a redução da taxa fotossintética em função do aumento da P_i de *M. javanica* observada especialmente nas fases iniciais da cultura (Figuras 3 e 4), não se encontrou, no presente trabalho, uma boa correlação entre aquela e a produção de massa seca total da parte aérea ou a produção de grãos (Tabelas 7 e 8). Com efeito, a relação entre a fotossíntese da folha e do dossel não está perfeitamente elucidada. A taxa fotossintética líquida medida em uma porção limitada de uma folha (6 cm² no caso do presente trabalho) dificilmente pode representar de forma adequada os valores da fotossíntese líquida total de uma planta em um determinado momento, e os modelos desenvolvidos para estabelecer essa relação na sojicultura não lograram muito sucesso (Grant et al., 1989). Além disso, na cultura da soja, a taxa fotossintética apresenta variações em intervalos muito curtos em função do ambiente (Shibles et al., 1980), de forma que nem sempre diferenças na taxa fotossintética resultam em diferenças na produção (Vernetti, 1983).

O aumento na P_i de *M. javanica* causou, nos dois experimentos, expressiva redução na integral da área foliar (Figuras 12 e 13), variável que apresentou alta correlação com as produções de massa seca da parte aérea e de grãos (Tabelas 7 e 8). Essa relação já havia sido observada na interação entre *M. javanica* e plantas de soja (Sharma & Rodríguez C., 1982) e em outros patossistemas envolvendo fitonematóides (Fasan & Haverkort, 1991; Schans & Arntzen, 1991). Sem dúvida, a produção de massa seca na cultura da soja apresenta uma alta dependência da IAF, a qual está diretamente relacionada com a quantidade de luz absorvida (Ogren & Rinne, 1973) e é o principal fator a influenciar na fotossíntese líquida total da parte aérea (Shibles et al., 1980). Dessa forma, a integral da área foliar, uma variável simples de ser obtida em qualquer fase do ciclo da cultura, poderia ser utilizada em modelos de previsão de perdas de soja parasitada por *M. javanica*, após a validação dos mesmos sob diferentes condições edafo-climáticas e para diferentes variedades.

5.1.4 Efeitos da densidade populacional sobre a reprodução do nematóide

A reprodução de *M. javanica*, expressa em termos do número de ovos/grama de raiz e do fator de reprodução (Figuras 14 e 15), seguiu os padrões esperados para o crescimento de populações de nematóides em função da Pi (McSorley, 1998). Assim, a população, em baixos níveis iniciais, cresce exponencialmente por um pequeno período de tempo, mas, devido à competição por alimento e/ou a outra limitação qualquer imposta pelo ambiente, passa a apresentar depois taxas cada vez menores de crescimento, fato já relatado nas interações de soja com *M. javanica* (Sharma & Rodríguez C., 1982) e *M. incognita* (Windham & Barker, 1986) e de tomate com *M. incognita* (Fortnum et al., 1991), entre outras. No experimento 1, desenvolvido durante a parte inicial do ciclo da soja e no qual apenas uma geração do nematóide foi completada, os valores crescentes do número de ovos/grama de raiz nas diferentes Pis sugere não ter havido limitações expressivas à penetração e à reprodução. Todavia, à medida que a planta diminui seu crescimento vegetativo (inclusive de raízes) por ocasião da floração e formação/enchimento dos grãos, a alta população de nematóides resultante de gerações formadas sucessivamente começa a encontrar limitações cada vez maiores para penetrar e parasitar as raízes, verificando-se então números menores de ovos/grama de raízes nas Pi mais altas, tal como o observado no experimento 2, de duração mais longa.

Os valores numéricos de FR determinados nas duas variedades, em especial no experimento 1, de início bem maiores do que 1,0 e diminuindo progressivamente com o aumento da Pi, caracteriza reação de suscetibilidade de ambas ao nematóide. No entanto, sob altas populações, Coodetec 201 expressou u'a maior limitação à reprodução do parasito do que Embrapa 133 (Figura 15).

Embora tida como tolerante (EMBRAPA, 1999) ou mesmo resistente (Dias et al., 2000) a *M. javanica*, no presente trabalho a variedade Coodetec 201 apresentou expressiva redução da massa seca da parte aérea e da produção de grãos (Figuras 12 e 13). Sem dúvida, o experimento 2 (Figura 13) evidenciou diferenças significativas na produção entre as variedades, especialmente nas populações mais baixas do nematóide, mas não o suficiente para se caracterizar Coodetec 201 como tolerante. É bem provável que nos trabalhos que deram origem à classificação da variedade como tolerante ou

resistente tenham sido utilizadas baixas populações iniciais de *M. javanica*. Fica evidente, contudo, o risco do cultivo de tal variedade em solos com altas populações do nematóide.

5.2 Experimentos com *Heterodera glycines*

5.2.1 Efeitos sobre processos fisiológicos da soja

O nematóide causou um efeito marcante sobre a taxa fotossintética líquida de plantas da variedade suscetível Embrapa 133 (Figuras 16 e 17). A redução da atividade fotossintética em plantas de soja parasitadas por *H. glycines* já havia sido relatada anteriormente, mostrando-se variável em função da cultivar, tipo e teor de umidade do solo, disponibilidade de nutrientes (especialmente nitrogênio) e mesmo com as condições experimentais, ou seja, se avaliada em campo ou casa de vegetação (Koenning & Barker, 1995; Melakeberhan, 1999; Postuka et al., 1986). A pouca interferência de *H. glycines* sobre a taxa fotossintética da variedade resistente (Pintado) ora utilizada vem de encontro ao observado por Melakeberhan (1999) e Postuka et al., (1986), evidenciando ser esse um efeito limitado às interações compatíveis.

Como já citado no item 5.1.1, vários são os processos fisiológicos já relatados como responsáveis, em maior ou menor grau, pela diminuição da atividade fotossintética em plantas parasitadas por nematóides, dentre os quais a diminuição do teor de clorofila (Balogun & Babatola, 1990; Dutta et al., 1990; Haseeb & Shukla, 1995; Haseeb et al., 1998; Kaushal & Madavi, 1992; Nagesh & Dhawan, 1988), as alterações na condutância estomática (Saeed et al., 1997), as limitações fotoquímicas ou processos bioquímicos (Schans & Arntzen, 1991), a falta de nutrientes (Wallace, 1974) ou a interferência na síntese e/ou translocação de fatores reguladores da fotossíntese produzidos nas raízes (Loveys & Bird, 1973) são os mais comuns. No caso específico da interação entre *H. glycines* e variedades suscetíveis de soja, a redução da atividade fotossintética tem sido primariamente relacionada com a reduzida quantidade de nutrientes, em especial o nitrogênio, absorvido e/ou translocado pelas raízes parasitadas (Koenning & Barker,

1995; Melakeberhan, 1999; Postuka et al., 1986), o que de certa forma está relacionado com a supressão da nodulação da bactéria simbiote *Bradyrhizobium japonicum* (Ko et al., 1985). Nas interações entre *H. avenae* com trigo (Nagesh & Dhawan, 1988) ou triticales (Kaushal & Madavi, 1992), o efeito sobre a fotossíntese foi melhor explicado pela redução do teor de clorofila foliar.

De forma semelhante ao ocorrido com o nematóide de galhas (*M. javanica*), mesmo sendo a soja uma espécie vegetal que apresenta alta demanda por água, devido à grande resistência ao movimento desta na planta (Shibles et al., 1975), apenas verificou-se a interferência clara de *H. glycines* sobre o movimento estomático (condutância estomática) na primeira avaliação (19 DAI) do experimento 1 e aos 79 DAI do experimento 2 (Figuras 18 e 19). Tais resultados estão de acordo com o encontrado no estudo das interações entre *M. incognita* e cultivares de videira (Melakeberhan et al., 1990) e *G. pallida* e cultivares de batata (Schans & Arntzen, 1991), e contrapõem-se à hipótese defendida por Bird (1974) de que um dos mecanismos responsáveis pela redução da taxa fotossintética nas plantas atacadas por nematóides esteja relacionado com o fechamento parcial dos estômatos devido ao estresse hídrico decorrente dos danos causados às raízes por esses parasitos, o que resultaria no decréscimo na entrada de CO₂ nas folhas, levando a uma redução na taxa de assimilação. Entretanto, é possível que a menor condutância estomática observada nas plantas inoculadas com as Pis mais elevadas nos estágios iniciais da cultura seja o resultado de um maior estresse hídrico devido à penetração maciça de juvenis em platinhas ainda jovens e com sistemas radiculares pouco desenvolvidos, ao ponto de interferir na condutância estomática e, por consequência, na fotossíntese. Esse efeito foi também observado na interação entre *G. pallida* e cultivares de batata (Schans & Arntzen, 1991), em que houve uma redução na taxa fotossintética devida, inicialmente, ao estresse de água, e que passou, após três dias, a ser relacionada a processos não estomáticos.

O parasitismo não alterou a emissão de fluorescência da clorofila *a* (Figuras 20 e 21), evidenciando não haver, por efeito do nematóide, interferência no transporte de elétrons pelo PSII (Krause & Weis, 1991). Os valores relativamente baixos dos coeficientes de correlação de Pearson (Tabelas 13 e 14) reforçam a idéia de que a variação

observada na taxa fotossintética de plantas parasitadas não seja decorrente de alterações no transporte de elétrons pelo PSII.

O desvio da cor verde normal das folhas (ΔE_{ab}) observado em plantas da variedade Embrapa 133 parasitadas (Figuras 22 e 23) caracterizou-se por um intenso amarelecimento, justificando o nome de 'nanismo amarelo da soja' ("soybean yellow dwarf"), originalmente proposto por Katsufugi (1919) e pelo qual a doença causada por *H. glycines* é conhecida hoje na literatura internacional (Kinloch, 1998; Noel, 1992). A alta correlação negativa ($r = -0,81$; $p < 0,01$) observada entre o desvio da cor normal e o teor de clorofila foliar, evidenciou ser a diminuição deste um dos principais fatores, se não o principal, a explicar o intenso amarelecimento observado nas plantas parasitadas. Diferenças na coloração de plantas de soja podem resultar, entre outras causas, da redução do conteúdo total de clorofila (Vernetti, 1983). Com efeito, o aumento da Pi causou diminuição do teor de clorofila foliar (Figura 24). Considerando-se que o elemento magnésio (Mg) constitui o núcleo da molécula de clorofila (Awad & Castro, 1983), é bem provável que a menor quantidade foliar do mesmo em plantas parasitadas (Andrade et al., 1996; Postuka et al., 1986), em função do forte efeito de dreno exercido por *H. glycines* nas raízes, seja responsável pelos baixos teores de clorofila observados neste trabalho, em que pese a existência de resultados contraditórios (Melakeberhan, 1999) mostrando maior assimilação de Mg em plantas de soja inoculadas.

Em várias outras interações entre nematóides e plantas cultivadas (Balogun & Babatola, 1990; Dutta et al., 1990; Haseeb & Shukla, 1995; Haseeb et al., 1998; Kauschal & Madavi, 1992; Nagesh & Dhawan, 1988), observaram-se efeitos sobre o teor de clorofila, que foram relacionados com a diminuição da atividade fotossintética das plantas parasitadas. Especificamente em plantas de soja, Ma et al. (1995) encontraram uma alta correlação entre a cor das folhas (baseada no teor de clorofila) e a taxa fotossintética. Todavia, os valores ora encontrados para os coeficientes de correlação (Tabelas 13 e 14) entre a taxa fotossintética e o desvio da cor normal ou o teor de clorofila das folhas de plantas da variedade Embrapa 133 não explicam toda a variação ocorrida na primeira, o que pode ser explicado pelo fato de o conteúdo de clorofila em folhas de soja normalmente exceder ao necessário para uma atividade fotossintética normal (Müller,

1981), de modo que uma ligeira clorose produz pouco ou nenhum efeito na taxa fotossintética. Sob baixos teores de clorofila, plantas de soja são capazes de manter a atividade fotossintética por meio de um mecanismo de compensação caracterizado pelo aumento da taxa de transporte de elétrons e da fotofosforilação (Brun, 1978).

O desvio da cor normal (amarelecimento) verificado nas plantas da variedade Embrapa 133 pode ser explicado, ainda, pela deficiência de nitrogênio devida à baixa nodulação em plantas parasitadas por *H. glycines* (Ko et al., 1985), considerada também uma das causas de redução da taxa fotossintética (Koenning & Barker, 1995; Melakeberhan, 1999; Postuka et al., 1986).

A complexidade da relação entre populações iniciais crescentes de *H. glycines* e a atividade fotossintética de plantas de soja verificada tanto no presente trabalho quanto em outros relacionados com o assunto, é indicativa de que tal variável seja afetada ou influenciada por mais de um fator, dentre os quais, sem dúvida, o conteúdo de clorofila foliar tem papel de destaque.

5.2.2 Efeitos sobre o crescimento e a produção de soja

Um dos efeitos mais expressivos do parasitismo consistiu na intensa redução da área foliar, expressa através da integral da área foliar (IAF) durante o período avaliado (Figuras 25 e 26). Resultados semelhantes foram também obtidos tanto em experimento conduzido em casa de vegetação (Postuka et al., 1986) quanto em campo (Koenning & Barker, 1995). Do mesmo modo, outras espécies do gênero, como *H. avenae* e *H. cajani* Koshy, causaram considerável redução da área foliar em plantas de tritcale (Kaushal & Madavi, 1992) e guandu (Sharma et al., 1993), respectivamente, a partir de Pis relativamente baixas, evidenciando ser esse um dos principais danos causados às plantas parasitadas.

Tal como a área foliar, a massa fresca das raízes foi claramente afetada em função da Pi (Figuras 25 e 26), fato já observado anteriormente (Postuka et al., 1986). A maior redução da massa fresca de raízes observada no experimento 2 resultou, ao que tudo indica, do maior número de gerações do nematóide ocorrido durante um ciclo

vegetativo completo da soja, o que deve ter aumentado sensivelmente a quantidade de inóculo no solo.

As intensas reduções na produção de massa seca total da parte aérea e de grãos de plantas parasitadas por densidades populacionais iniciais crescentes de *H. glycines* verificadas no presente trabalho vêm confirmar resultados relatados em outros estudos afins, alistados na seqüência, e ratificam a idéia de que essa nematose configura-se como o principal problema de ordem sanitária da cultura da soja (Wrather et al., 1997). Sem dúvida, mesmo Pis muito baixas são, potencialmente, capazes de causar expressiva redução nas produções de massa seca ou de grãos (Abawi & Jacobsen, 1984; Alston et al., 1991, 1993; Andrade et al., 1996, 1997, 1998; Asmus & Andrade, 1999; Browde et al., 1994 a, b; Garcia et al., 1997; Miltner et al., 1991; Niblack et al., 1992; Noel et al., 1980; Rodriguez-Kábana & Williams, 1983; Schmitt et al., 1987; Young, 1996), de forma que, sob condições de solo, clima e hospedeiro favoráveis, é possível que a simples presença do nematóide seja suficiente para a ocorrência de danos à cultura.

A ocorrência de aumentos da área foliar e da massa fresca das raízes da variedade Embrapa 133 nas Pis mais baixas, conforme observado no experimento 1, tem sido relatada também em outras interações entre nematóides e plantas hospedeiras (Di Vito et al., 1996; Fortnum et al., 1991; Kaushal & Madavi, 1992; Kinloch, 1982; Schans & Arntzen, 1991; Wallace, 1971; Windham & Barker, 1986) e tal comportamento pode ser atribuído a um efeito estimulante decorrente da presença do nematóide parasitando a planta em baixas densidades populacionais, condição da qual resultaria rápida e intensa regeneração das raízes e produção de certas substâncias de crescimento, traduzindo-se no final em maior desenvolvimento da parte aérea (Wallace, 1971). O aumento na quantidade de inóculo decorrente do maior número de ciclos do nematóide e o menor crescimento radicular da cultura a partir do início da fase reprodutiva poderiam justificar a ausência de tal efeito no experimento 2, de duração mais longa.

Embora resistente ao nematóide, fato comprovado pela ausência de reprodução nas raízes (Figura 27), a variedade Pintado sofreu reduções na área foliar e na produção da massa fresca das raízes e da massa seca total da parte aérea em função das Pis crescentes (Figura 25), que foram significativamente menores do que as ocorridas na

variedade suscetível Embrapa 133, mas visíveis. Uma das hipóteses para explicar esses resultados está em que, mesmo sem conseguirem desenvolver-se e reproduzir-se, as formas infectivas (J_2) de *H. glycines* penetraram nas raízes das plantas de soja resistente, o que poderia, em fases bem iniciais do ciclo da cultura, causar-lhe danos irreversíveis. Nesse particular, dados obtidos em experimento preliminar (Tabela 1 do item 3.4.8.1) mostraram haver, após um período de apenas 48 horas, penetração de aproximadamente 30% dos juvenis tanto em raízes da variedade Embrapa 133 (suscetível) quanto da Pintado (resistente). A penetração de *H. glycines* já havia sido observada em raízes de variedades resistentes de soja (Endo, 1965; Ross, 1958) ou mesmo em outras espécies de plantas não hospedeiras (Riggs, 1987). Após penetrarem nas raízes, as formas infectivas do nematóide de cisto migram através do córtex em direção ao estelo, podendo danificar severamente muitas células. Além disso, em raízes de plantas resistentes, as células próximas à região anterior do nematóide, ao invés de formarem o sítio de alimentação (sincício) típico das interações compatíveis, tornam-se desorganizadas e necróticas (Ross, 1958). Comportamento similar também foi verificado com formas infectivas de nematóides de galhas, a exemplo de *M. incognita*, em raízes de soja (Moura et al., 1993).

5.2.3 Análise da possibilidade de uso de dados da fotossíntese e da área foliar em modelos de previsão de perdas

O presente trabalho mostrou haver relações significativas entre a P_i de *H. glycines* e a redução da produção de plantas de soja, expressa em massa seca total da parte aérea ou de grãos. Desta forma, as equações de regressão que se ajustaram aos dados poderiam ser utilizadas para estimar as perdas em função da P_i , tal como proposto em outros trabalhos (Barker & Olthof, 1976; Barker et al., 1985; Ferris et al., 1981; Oostenbrink, 1971; Seinhorst, 1970, 1973). No entanto, elas podem não explicar toda a relação quantitativa entre a densidade populacional inicial dos nematóides e o crescimento das plantas (Seinhorst, 1965), havendo forte interferência de fatores como local de cultivo, tipo e fertilidade de solo, variedades, clima e até mesmo de amostragem, em função da distribuição comumente irregular desses organismos nos solos (Abawi & Jacobsen, 1984; Ferris, 1978, 1984; Koenning & Barker, 1995; Schmitt

et al., 1987). Ao considerar-se a dramática redução da produção de grãos observada no experimento 2, já na menor Pi (1200 J₂/planta), poder-se-ia prever que, havendo condições favoráveis à infecção e ao desenvolvimento de sintomas, a simples presença do nematóide seria suficiente para causar danos à soja, tal como relatado por Schmitt et al. (1987). Porém, nem sempre é isso o que se verifica (Moreira et al., 1998).

Para sanar essas deficiências dos modelos de previsão de perdas, recentemente tem sido utilizada uma alternativa, especialmente para patógenos da parte aérea, que leva em consideração variáveis relacionadas com a fotossíntese e a área foliar sadia, verdadeiramente responsáveis pela produção, para modelos de previsão de perdas (Bergamin Filho et al., 1997; Bianchini et al., 1998; Waggoner & Berger, 1987).

Os resultados obtidos mostraram clara interferência da Pi de *H. glycines* sobre a taxa fotossintética em folhas de soja, variável em função do experimento (curta ou longa duração), da variedade e da época de avaliação. Entretanto, considerando-se apenas a variedade suscetível (Embrapa 133), verificaram-se valores relativamente baixos de correlação entre a taxa fotossintética e a produção, quer de massa seca da parte aérea (variável entre $r = 0,58$ e $0,31$ nos experimentos 1 e 2), quer de grãos ($r = 0,29$), para que a mesma pudesse ser utilizada em modelos de previsão da produção e, inversamente, de danos à cultura em áreas infestadas pelo nematóide. Um dos motivos para tal, considerando-se a importância da fotossíntese para a produção (Müller, 1981), reside na dificuldade de estabelecer-se, de forma apropriada, a relação entre a fotossíntese foliar com a fotossíntese total do dossel, ou seja, uma porção limitada da folha (6 cm^2 no caso do presente trabalho) dificilmente poderia representar de modo adequado os valores da fotossíntese líquida total de uma planta em um determinado momento. Modelos desenvolvidos para estabelecer essa relação na cultura da soja não lograram muito sucesso (Grant et al., 1989). Além disso, na cultura da soja, a taxa fotossintética apresenta variações em intervalos muito curtos em função do ambiente (Shibles et al., 1980), ou seja, nem sempre diferenças na taxa fotossintética resultam em diferenças na produção (Verneti, 1983).

Comparado com a taxa fotossintética, o teor de clorofila foliar mostrou maior correlação com a produção de massa seca da parte aérea ($r = 0,73$) e com a produção de

grãos ($r = 0,70$). Sendo uma variável que modernamente pode ser obtida com facilidade e de forma não destrutiva em qualquer fase do ciclo da cultura, maior atenção poderia ser dispensada ao seu uso em modelos de previsão de danos à soja em áreas infestadas por *H. glycines*. No entanto, alguns pontos devem ser levados em consideração, tais como a variação no conteúdo de clorofila em função da idade das folhas (Brun, 1978; Ogren & Rinne, 1973) e a compensação na capacidade fotossintética em plantas com menor teor de clorofila, caracterizada pelo aumento da taxa de transporte de elétrons e da fotofosforilação (Brun, 1978).

Tal como verificado nos experimentos com *M. javanica*, a variável que apresentou as maiores correlações com a produção de massa seca da parte aérea ($r = 0,94$ a $0,95$, conforme o experimento) ou de grãos ($r = 0,90$) na variedade suscetível (Embrapa 133) sob o parasitismo de *H. glycines* foi a integral da área foliar (IAF), o que confirma resultados anteriormente observados com os nematóides de cisto da soja (Postuka et al., 1986) e da batata (Fasan & Haverkort, 1991; Schans & Arntzen, 1991). De acordo com Koenning & Barker (1995), apenas parte da supressão da produção da soja pode ser atribuída à menor taxa fotossintética causada por *H. glycines*; um efeito mais importante do nematóide sobre a fotossíntese resulta da redução do total da área fotossintética. De fato, sob condições normais, a produção de massa seca na cultura da soja apresenta alta dependência da IAF, que se relaciona diretamente com a quantidade de luz absorvida (Ogren & Rinne, 1973) e é o principal fator a influenciar na fotossíntese líquida total da parte aérea (Shibles et al., 1980). Dessa forma, a integral da área foliar, uma variável simples de ser obtida em qualquer época durante o ciclo da soja, afigura-se de grande potencial para uso em modelos de previsão de perdas devidas a *H. glycines*, após a validação dos mesmos sob diferentes condições edafo-climáticas e em diferentes variedades.

5.2.4 Efeitos da densidade populacional sobre a reprodução do nematóide

Verificou-se reprodução apenas na variedade suscetível Embrapa 133 (Figuras 27 e 28), segundo os padrões esperados para o crescimento de populações de nematóides em função da inoculação de plantas com valores progressivamente maiores de P_i (McSorley, 1998), pelos quais, nos casos de baixas P_i s, a população cresce exponencial-

mente por um pequeno período de tempo, mas, devido à competição por alimento ou a outra limitação qualquer imposta pelo ambiente, passa depois a apresentar taxas cada vez menores de crescimento.

No experimento 1, em que ocorreu apenas um ciclo do nematóide, os valores crescentes do número de ovos/grama de raiz nas diferentes Pis sugeriram não ter havido limitações expressivas à penetração e à reprodução. Com a diminuição do crescimento vegetativo (inclusive de raízes) por ocasião da floração e formação/enchimento dos grãos, a alta população decorrente de gerações sucessivas do nematóide que foram se completando começou a encontrar limitações para penetrar e parasitar as raízes, resultando, nas Pis mais altas, números menores de ovos/grama de raiz, tal como observado no experimento 2 e também verificado nos experimentos com *M. javanica* (item 5.1.4).

Os altos valores do fator de reprodução de *H. glycines* na variedade suscetível Embrapa 133 evidenciaram a grande capacidade reprodutiva do nematóide e de certa forma explicam a intensidade com que a espécie estabelece-se em áreas cultivadas com plantas hospedeiras, atingindo rapidamente altas densidades populacionais (Duarte, 1996; Schmitt, 1992).

6. CONCLUSÕES

Nas condições em que se desenvolveram os experimentos e com base nos dados obtidos, pôde-se concluir que:

- O parasitismo por *M. javanica* pouco afeta a taxa fotossintética, a condutância estomática, a fluorescência de clorofila *a*, a cor das folhas e o teor de clorofila foliar de variedades suscetíveis de soja, mas a área foliar, a massa fresca de raízes e a produção de massa seca total da parte aérea (de grãos, inclusive) podem ser negativamente influenciadas, na dependência do nível de população inicial do nematóide;
- Dentre as variáveis estudadas, a integral da área foliar é a que melhor explica a ocorrência de danos à soja devido ao parasitismo por *M. javanica*, com indicação de sua inclusão em modelos de previsão de perdas baseados na fisiologia da produção de plantas doentes;
- Sob níveis mais elevados de população inicial, a variedade Coodetec 201 comporta-se como suscetível a *M. javanica*.
- O parasitismo por *H. glycines* afeta a taxa fotossintética, a cor das folhas e o teor de clorofila foliar, mas praticamente não causa alterações na condutância estomática e na fluorescência da clorofila *a* em plantas de soja suscetíveis. A área foliar, a massa fresca de raízes e a produção de massa seca total da parte aérea (de grãos, inclusive) sofrem drásticas reduções independente do nível de população inicial do nematóide;

- As variáveis que melhor explicam a ocorrência de danos à soja devido ao parasitismo por *H. glycines* são, em ordem decrescente, a integral da área foliar, o teor de clorofila foliar e o desvio da cor normal das folhas. Pela facilidade de obtenção, a integral da área foliar pode ser indicada para inclusão em modelos de previsão de perdas baseados em aspectos da fisiologia da produção de plantas doentes;
- Embora sem propiciar a *H. glycines* o desenvolvimento e a reprodução, a variedade Pintado, que se comporta como resistente, pode sofrer pequena mas perceptível redução na área foliar e na produção de massa seca da parte aérea quando exposta a níveis populacionais muito elevados do parasito, ao que tudo indica como resultado da penetração maciça de formas infestantes no sistema radicular ainda em formação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAWI, G.S.; JACOBSEN, B.J. Effect of initial inoculum densities of *Heterodera glycines* on growth of soybean and kidney bean and their efficiency as host under greenhouse conditions. **Phytopathology**, v.74, n.12, p.1470-1474, 1984.
- ACEDO, J.R.; DROPKIN, V.H. Technique for obtaining eggs and juveniles of *Heterodera glycines*. **Journal of Nematology**, v.14, n.3, p.418-420, 1982.
- ALSTON, D.G.; BRADLEY JR., J.R.; COBLE, H.D.; SCHMITT, D..P. Impact of population density of *Heterodera glycines* on soybean canopy growth and weed competition. **Plant Disease**, v.75, n.10, p.1016-1018, 1991.
- ALSTON, D.G.; SCHMITT, D.P.; BRADLEY JR., J.R.; COBLE, H.D. Multiple pest interactions in soybean: effects on *Heterodera glycines* egg populations and crop yield. **Journal of Nematology**, v.25, n.1, p.42-49, 1993.
- ANDRADE, P.J.M.; ASMUS, G.L.; CAVALCANTI, A.G. Avaliação de danos causados à soja por diferentes níveis populacionais de *Heterodera glycines* no solo. **Fitopatologia Brasileira**, v.21, supl., p.462, 1996. /Resumo/
- ANDRADE, P.J.M.; ASMUS, G.L.; CAVALCANTI, A.G. Avaliação de danos causados à soja por diferentes níveis populacionais de *Heterodera glycines* no solo. II. **Fitopatologia Brasileira**, v.22, supl., p. 323, 1997. /Resumo/

- ANDRADE, P.J.M.; ASMUS, G.L.; CAVALCANTI, A.G. Avaliação de danos causados à soja por diferentes níveis populacionais de *Heterodera glycines* no solo. III. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 21., Maringá, 1998. **Anais**. Maringá: UEM/SBN, 1998. p. 26
- ASMUS, G.L.; ANDRADE, P.J.M. Níveis de danos. In: SILVA, J.F.V. (Org.) **O nematóide de cisto da soja: a experiência brasileira**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1999. cap.4, p.71-81.
- AWAD, M.; CASTRO, P.R. **Introdução à fisiologia vegetal**. São Paulo: Nobel, 1983. 177p.
- AZEVEDO FILHO, A.J.B.V. Seguro agrícola no Brasil: evolução e perspectivas. In: CONGRESSO DE TECNOLOGIA E COMPETITIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 1, Cuiabá, 2000. **Anais**. Cuiabá: Fundação MT, 2000. p. 95-105.
- BALOGUN, O.S.; BABATOLA, J.O. Pathogenicity of *Meloidogyne incognita* on *Corchorus olitorius*. **Nematologia Mediterranea**, v.18, p.23-25, 1990.
- BARKER, K.R.; OLTHOF, T.H.A. Relationships between nematode population densities and crop responses. **Annual Review of Phytopathology**, v.14, p.327-353, 1976.
- BARKER, K.R.; SCHMITT, D.P.; IMBRIANI, J.L. Nematode population dynamics with emphasis on determining damage potential to crops. In: BARKER, K.R.; CARTER, C.C.; SASSER, J.N. (Eds.) **An advanced treatise on Meloidogyne**, vol.2. Methodology. Raleigh: North Carolina State University, 1985. cap.10, p.135-148.

- BASSANEZI, R.B. Efeito de doenças foliares na eficiência fotossintética do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) como contribuição para o desenvolvimento de um sistema sustentável de manejo de doenças. Piracicaba, 2000. 185p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico**. São Paulo, Ed. Agr. Ceres, 1996. 299p.
- BERGAMIN FILHO, A.; LOPES, D.B.; AMORIM, L.; GODOY, C.V.; BERGER, R.D. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. **RAAP**, v.3, p.133-184, 1995.
- BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S.M.T.P.G.; GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGER, R.D.; HAU, B. Angular leaf spot of *Phaseolus* beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, v.87, n.5, p.506-515, 1997.
- BHUBANANANDA, S.; PRASAD, J. Photosynthetic rate in rice as influenced by the root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola*, infection. **Revue de Nématologie**, v.12, n.4, p.431-432, 1989.
- BIANCHINI, A.; MARUR, C.J.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; SCHOLZ, M.B. Efeito do vírus do mosaico dourado do feijoeiro (BGMV) sobre parâmetros relacionados com a fotossíntese do feijoeiro. **Summa Phytopathologica**, v.24, n.3-4, p.204-210, 1998.
- BIRD, A.F. Plant response to root-knot nematode. **Annual Review of Phytopathology**, n.12, p.69-85, 1974.

- BIRD, A.F.; LOVEYS, B.R. The incorporation of photosynthates by *Meloidogyne javanica*. **Journal of Nematology**, v.7, p.111-113, 1975.
- BONETI, J.I.S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.3, n.6, p.553, 1981.
- BOSTIAN, A.L.; SCHMITT, D.P.; BARKER, K.R. *In vitro* hatch and survival of *Heterodera glycines* as affected by Alachlor and Phenamiphos. **Journal of Nematology**, v.16, n.1, p.22-26, 1984.
- BROWDE, J.A.; PEDIGO, L.P.; OWEN, M.D.K.; TYLKA, G.L. Soybean yield and pest management as influenced by nematodes, herbicides, and defoliating insects. **Agronomy Journal**, v.86, p.601-608, 1994a.
- BROWDE, J.A.; PEDIGO, L.P.; OWEN, M.D.K.; TYLKA, G.L.; LEVENE, B.C. Growth of soybean stressed by nematodes, herbicides, and simulated insect defoliation. **Agronomy Journal**, v.86, n.6, p.968-974, 1994b.
- BRUN, W.A. Assimilation. In.: NORMAN, A.G. (Ed.) **Soybean physiology, agronomy, and utilization**. Londres: Academic Press, 1978. cap. 3, p.45-76.
- BYRD, D.W.; KIRPATRICK, T.; BARKER, K.R. An improved technique for clearing and staining plant tissue for detection of nematodes. **Journal of Nematology**, v.15, n.1, p.142-143, 1983.
- CARNEIRO, R.G. Efeitos de *Meloidogyne incognita* raça 3 e *M. javanica* sobre a absorção e translocação de nitrogênio, fósforo e cálcio e sobre a partição de carbono em cultivares de soja. Piracicaba, 1999. 96p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- CARNEIRO, R.G.; MAZZAFERA, P.; FERRAZ, L.C.C.B. Carbon partitioning in soybean infected with *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. **Journal of Nematology**, v.31, n.3, p.348-355, 1999.
- DIAS, W.P.; GARCIA, A.; SILVA, J.F.V. Nematóides associados à cultura da soja no Brasil e suas implicações na produção. In: CONGRESSO DE TECNOLOGIA E COMPETITIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 1, Cuiabá, 2000. **Anais**. Cuiabá: Fundação MT, 2000. p. 203-211.
- DI VITO, M.; ZACCHEO, G.; DELLA GATTA, C.; CATALANO, F. Relationship between initial population densities of *Meloidogyne javanica* and yield of sunflower in microplots. **Nematologia Mediterranea**, v.24, p.109-112, 1996.
- DUARTE, Y.C.S.; SILVA, V.C.; SILVA, J.F.V.; GARCIA, A.; SPINOZA, V. Dinâmica populacional do nematóide de cisto da soja, *Heterodera glycines*, em Tarumã, SP. **Fitopatologia Brasileira**, v.21 (suplem.), p.414, 1996./Resumos/
- DUNCAN, L.W.; FERRIS, H. Validation of a model for prediction of host damage by two nematode species. **Journal of Nematology**, v.15, n.2, p.227-234, 1983.
- DUTTA, M.N.; NAYAK, S.K.; PRASAD, J.S. Influence of *Helicotylenchus multicinctus* on the chlorophyll content, photosynthetic rate and root activity in rice. **Nematologia Mediterranea**, v.18, n.1, p.5-6, 1990.
- ENDO, B.Y. Histological responses of resistant and susceptible soybean varieties, and backcross progeny to entry and development of *Heterodera glycines*. **Phytopathology**, v.55, p.249-372, 1965.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1996/1997**. Londrina, 1996. 164p. (EMBRAPA. CNPSo. Documentos,96).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000**. Londrina, 1999. 226p. (EMBRAPA. CNPSo. Documentos, 132).

FASAN, T.; HAVERKORT, A.J. The influence of cyst nematodes and drought on potato growth. 1. Effects on plant growth under semi-controlled conditions. **Netherland Journal of Plant Pathology**, v.97, p.151-161, 1991.

FERRIS, H. Nematode economic thresholds: Derivation, requirements and theoretical considerations. **Journal of Nematology**, v.10, p. 341-350, 1978.

FERRIS, H. Nematode damage functions: the problems of experimental and sampling error. **Journal of Nematology**, v.16, n.1, p.1-9, 1984.

FERRIS, H.; TURNER, W.D.; DUNCAN, L.W. An algorithm for fitting Seinhorst curves to the relationship between plant growth and preplant nematode densities. **Journal of Nematology**, v.13, n.3, p.300-304, 1981.

FORTNUM, B.A.; KASPERBAUER, M.J.; HUNT, P.G.; BRIDGES, W.C. Biomass partitioning in tomato plants infected with *Meloidogyne incognita*. **Journal of Nematology**, v.23, n.3, p.291-297, 1991.

- GARCIA, A.; SILVA, J.F.V.; PEREIRA, J.E. Determinação do nível populacional de dano para *Heterodera glycines* na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 20., Gramado, 1997. **Resumos**. Gramado: SBN, 1997. p.60.
- GRANT, R.F.; PETERS, D.B.; LARSON, E.M.; HUCK, M.G. Simulation of canopy photosynthesis in maize and soybean. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.48, p.75-92, 1989.
- HASEEB, A.; SHUKLA, P.K. Influence of *Pratylenchus thornei* on growth, photosynthetic rate, chlorophyll, total sugar and oil yield of *Mentha citrata*. **Nematologia Mediterranea**, v.23, n.1, p.89-91, 1995.
- HASEEB, A.; BUTOOL, F.; SHUKLA, P.K. Relationship between initial inoculum density of *Meloidogyne incognita* and growth, physiology and oil yield of *Ocimum kilimandscharicum*. **Nematologia Mediterranea**, v.26, n.1, p.19-22, 1998.
- HASEEB, A.; SRIVASTAVA, N.K.; PANDEY, R. The influence of *Meloidogyne incognita* on growth, physiology, nutrient concentration and alkaloid yield of *Hyocymus niger*. **Nematologia Mediterranea**, v.18, n.2, p.127-129, 1990.
- HUSSEY, R.S.; WILLIAMSON, V.M. Physiological and molecular aspects of nematode parasitism. In: BARKER, K.R.; PEDERSON, G.A.; WINDHAM, G.L. (Ed.) **Plant and nematode interactions**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1998. cap.5, p.87-108.
- INGHAM, R.E.; DETLING, J.K. Effects of the root-feeding nematode *Tylenchorhynchus claytoni* on growth and leaf gas exchange of *Bouteloua gracilis* (Gramineae). **Pedobiologia**, v.35, n.4, p.219-224, 1991.

- JENKINS, W.R. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v.48, p.692, 1964.
- KATSUFUGI, K. "Yellow dwarf", a new nematode disease of soybean. **Annals of the Phytopathological Society of Japan**, v. 1, p. 12-16, 1919.
- KAUSHAL, K.K.; MADAVI, R. Effect of *Heterodera avenae* on the growth, photosynthesis and chlorophyll content in triticale. **Indian Journal of Nematology**, v.22, n.1, p.29-35, 1992 (publ. 1993).
- KINLOCH, R.A. Soybean. In: BARKER, K.R.; PEDERSON, G.A.; WINDHAM, G.L. (Ed.) **Plant and nematode interactions**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1998. cap.15, p.317-333.
- KINLOCH, R.A. The relationship between soil populations of *Meloidogyne incognita* and yield reduction of soybean in the coastal plain. **Journal of Nematology**, v.14, n.2, p.162-167, 1982.
- KO, M.P.; BARKER, K.R.; HUANG, J.S. Nodulation of soybeans as affected by half-root infection with *Heterodera glycines*. **Journal of Nematology**, v.16, n.1, p.97-105, 1984.
- KOENNING, S.R.; BARKER, K.R. Soybean photosynthesis and yield as influenced by *Heterodera glycines*, soil type and irrigation. **Journal of Nematology**, v.27, n.1, p.51-62, 1995.
- KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis : the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.42, p.313-349, 1991.

- KRUSBERG, L.R. Host response to nematode infection. **Annual Review of Phytopathology**, v.1, p.219-240, 1963.
- LIMA, R.D.; FERRAZ, S.; SANTOS, J.M. Ocorrência de *Heterodera* sp. em soja no Triângulo Mineiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 16, Lavras, 1992. **Resumos**. Lavras: ESAL/SBN, 1992. s.p.
- LOPES, D.B.; BERGER, R.D.; BERGAMIN FILHO, A. Absorção da área foliar sadia (HAA): uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. **Summa Phytopathologica**, v.20, n.3-4, p.143-151, 1994.
- LORDELLO, A.I.L.; LORDELLO, R.R.A.; QUAGGIO, J.A. *Heterodera* sp. reduz produção de soja no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 16, Lavras, 1992. **Resumos**. Lavras: ESAL/SBN, 1992. p.81.
- LOVEYS, B.R.; BIRD, A. The influence of nematodes on photosynthesis in tomato plants. **Physiological Plant Pathology**, v.3, p.525-529, 1973.
- MA, L.B.; MORRISON, M.J.; VOLDENG, H.D. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. **Crop Science**, v.34, n.5, p.1411-1414, 1995.
- McSORLEY, R. Population dynamics. In: BARKER, K.R.; PEDERSON, G.A.; WINDHAM, G.L. (Ed.) **Plant and nematode interactions**. Madison, American Society of Agronomy, 1998. cap.6, p.109-133.
- MELAKEBERHAN, H. Effects of nutrient source on the physiological mechanisms of *Heterodera glycines* and soybean genotypes interactions. **Nematology**, v.1, n.2, p.113-120, 1999.

- MELAKEBERHAN, H.; FERRIS, H. Growth and energy demand of *Meloidogyne incognita* susceptible and resistant *Vitis vinifera* cultivars. **Journal of Nematology**, v.20, p.545-554, 1988.
- MELAKEBERHAN, H.; FERRIS, H.; DIAS, J.M. Physiological response of resistant and susceptible *Vitis vinifera* to *Meloidogyne incognita*. **Journal of Nematology**, v.22, p.224-230, 1990.
- MILTNER, E.D.; KARNOK, K.J.; HUSSEY, R.S. Root response of tolerant and intolerant soybean cultivars to soybean cyst nematode. **Agronomy Journal**, v.83, p. 571-576, 1991.
- MINOLTA. Precise color communication. Minolta Co., 49p., 1994.
- MONTEIRO, A.R.; MORAIS, S.R.A.C. Ocorrência do nematóide de cisto da soja, *Heterodera glycines* Ichinohe, 1952, prejudicando a cultura no Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 16, Lavras, 1992. **Resumos**. Lavras: ESAL/SBN, 1992. s.p.
- MOREIRA, W.A.; CARVALHO, Y. de; ASSUNÇÃO, M. da S. Efeito de diferentes densidades populacionais de *Heterodera glycines* sobre a cultura de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, supl., p. 306, 1998. /Resumo/
- MOURA, R.M.; DAVIS, E.L.; LUZZI, B.M.; BOERMA, H.R.; HUSSEY, R.S. Post-infectional development of *Meloidogyne incognita* on susceptible and resistant soybean genotypes. **Nematropica**, v.23, n.1, p.7-13, 1993.
- MÜLLER, L. Fisiologia. In.: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.) **A soja no Brasil**. 1981. cap4., p.109-129.

- NAGESH, M.; DHAWAN, S.C. Effect of inoculum density of *Heterodera avenae* on photosynthetic efficiency, chlorophyll, and mineral contents of wheat. **Indian Journal of Nematology**, v.18, n.1, p.40-43, 1988 (publ. 1989).
- NIBLACK, T.L.; BAKER, N.K.; NORTON, D.C. Soybean yield losses due to *Heterodera glycines* in Iowa. **Plant Disease**, v.76, n.9, p.943-948, 1992.
- NOEL, G.R. History, distribution and economics. In: RIGGS, R.D.; WRATHER, J.A. (Eds.) **Biology and management of the soybean cyst nematode**. St. Paul, Minn.: APS Press, 1992. cap.1, p.1-14.
- NOEL, G.R.; BLOOR, P.V.; POZDOL, R.F.; EDWARDS, D.I. Influence of *Heterodera glycines* on soybean yield components and observations on economic injury levels. **Journal of Nematology**, v.12, n.4, p.232-233, 1980.
- OGREN, W.L.; RINNE, R.W. Photosynthesis and seed metabolism. In: CALDWELL, B.E. (Ed.) **Soybeans: improvement, production and uses**. Madison, American Society of Agronomy, 1973. cap. 11, p.391-416.
- OOSTENBRINK, M. **Major characteristics of the relations between nematodes and plants**. Mededelingen Landbouwhogeschool, Wageningen, 46p., 1966.
- OOSTENBRINK, M. Quantitative aspects of plant-nematode relationships. **Indian Journal of Nematology**, v.1, p.68-74, 1971.
- PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 160p.

- POSTUKA, J.W.; DROPKIN, V.H.; NELSON, C.J. Photosynthesis, photorespiration, and respiration of soybean after infection with root nematodes. **Photosynthetica**, v.20, n.4, p.405-410, 1986.
- RIGGS, R.D. Nonhost root penetration by soybean cyst nematode. **Journal of Nematology**, v.19, n.2, p.251-254, 1987.
- RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; WILLIAMS, J.C. Soybean yield losses caused by *Meloidogyne arenaria* and *Heterodera glycines* in a field infested with the two parasites. **Nematropica**, v.11, n.2, p.93-104, 1981.
- ROSS, J.P. Host-parasite relationship of the soybean cyst nematode in resistant soybean roots. **Phytopathology**, v.58, p.578-579, 1958.
- SAEED, I.A.M.; MACGUIDWIN, A.E.; ROUSE, D.I. Disease progress based on effects of *Verticillium dahliae* and *Pratylenchus penetrans* on gas exchange in russet burbank potato. **Phytopathology**, v.87, n.4, p.440-445, 1997a.
- SAEED, I.A.M.; MAGGUIDWIN, A.E.; ROUSE, D.I. Effect of initial nematode population density on the interaction of *Pratylenchus penetrans* and *Verticillium dahliae* on 'Russet Burbank' potato. **Journal of Nematology**, v.30, n.1, p.100-107, 1998.
- SAEED, I.A.M.; MACGUIDWIN, A.E.; ROUSE, D.I. Synergism of *Pratylenchus penetrans* and *Verticillium dahliae* manifested by reduced gas exchange in potato. **Phytopathology**, v.87, n.4, p.435-439, 1997b.
- SAEED, I.A.M.; MACGUIDWIN, A.E.; ROUSE, D.I.; SHARKEY, T.D. Limitation to photosynthesis in *Pratylenchus penetrans* and *Verticillium dahliae* infected potato. **Crop Science**, v.39, n.5, p.1340-1346, 1999.

- SCHANS, J.; ARNTZEN, F.K. Photosynthesis, transpiration and plant growth characters of different potato cultivars at various densities of *Globodera pallida*. **Netherland Journal of Plant Pathology**, v.97, p.297-310, 1991.
- SCHMITT, D.P.; FERRIS, H.; BARKER, K.R. Response of soybean to *Heterodera glycines* races 1 and 2 in different soil types. **Journal of Nematology**, v.19, n.2, p.240-250, 1987.
- SEINHORST, J.W. The relation between nematode density and damage to plants. **Nematologica**, v.11, p.137-154, 1965.
- SEINHORST, J.W. Dynamics of populations of plant parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, v.8, p.131-156, 1970.
- SEINHORST, J.W. The relationship between yield and square root of nematode density. **Nematologica**, v.18, p.585-590, 1972.
- SEINHORST, J.W. The relation between nematode distribution in a field and loss in yield at different average nematode densities. **Nematologica**, v.19, p.421-427, 1973.
- SHARMA, S.B.; NENE, Y.L.; REDDY, M.V.; McDONALD, D. Effect of *Heterodera cajani* on biomass and grain yield of pigeon pea on vertisil in pot and field experiments. **Plant Pathology**, v.42, p.163-167, 1993.
- SHARMA, R.D.; RODRÍGUEZ C., L.H. Efeito da densidade de população inicial do nematódeo *Meloidogyne javanica* sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.3, p.469-477, 1982.

- SHIBLES, R.; ANDERSON, I.C.; GIBSON, A.H. Soybean. In: EVANS, L.T. (Ed.) **Crop physiology. Some case histories**. Cambridge: University Press, 1975. cap. 6, p.151-189.
- SILVA, J.F.V. Problemas sanitários da soja no Brasil com ênfase em fitonematóides. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 21., Maringá, PR, 1998. **Anais**. Maringá: UEM/SBN, 1988. p.16-20.
- SOUSA, C.B. de. A logística de industrialização e o consumo dos derivados de soja. In: CONGRESSO DE TECNOLOGIA E COMPETITIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 1, Cuiabá, 2000. **Anais**. Cuiabá: Fundação MT, 2000. p. 123-125.
- SWAIN, B.; PRASAD, J.S. Photosynthetic rate in rice as influenced by the root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola*, infection. **Revue de Nematologie**, v.12, n.4, p.431-432; 1989.
- VERNETTI, F.J. Genética da soja – caracteres qualitativos. VERNETTI, F.J. (Coord.). **Soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. cap.7, p.526-531.
- WAGGONER, P.E.; BERGER, R.D. Defoliation, disease and growth. **Phytopathology**, v.77, n.3, p.393-398, 1987.
- WALLACE, H.R. The influence of the density of nematode populations on plants. **Nematologica**, v.17, p.154-166, 1971.
- WALLACE, H.R. The influence of root knot nematode, *Meloidogyne javanica*, on photosynthesis and on nutrient demand by roots of tomato plants. **Nematologica**, v.20, p.27-33, 1974.

- WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of fiel crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v.11, p.41-76, 1947.
- WINDHAM, G.R.; BARKER, K.R. Effects of soil type on the damage potential of *Meloidogyne incognita* on soybean. **Journal of Nematology**, v.18, p.331-338, 1986.
- WRATHER, J.A; ANDERSON, T.R.; ARSYAD, D.M.; GAI, J.; PORTO-PUGLIA. A.; RAM, H.H.; YORINORI, J.T. Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. **Plant Disease**, v.81, n.1, p.107-110, 1997.
- YORINORI, J.T. Riscos de surgimento de novas doenças na cultura da soja. In: CONGRESSO DE TECNOLOGIA E COMPETITIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 1, Cuiabá, 2000. **Anais**. Cuiabá: Fundação MT, 2000. p. 165-169.
- YOUNG, L.D. Yield loss in soybean caused by *Heterodera glycines*. **Journal of Nematology**, v.28, n.4 (supl.), p. 604-607, 1996.
- YOUNG, L.D.; HEATHERLY, L.G. *Heterodera glycines* invasion and reproduction on soybean grown in clay and silt loam soils. **Journal of Nematology**, v.22, p.618-619, 1990.

APÊNDICE 1

Tabelas contendo os dados originais: experimentos com *Meloidogyne javanica*

Tabela 1. Taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 17, 27, 37 e 47 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 1)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
17	E	18,2	17,1	17,3	16,9	16,4	16,7	17,1
	C	17,8	17,4	16,7	17,3	16,8	14,2	16,7
	Média	18,0	17,3	17,0	17,1	16,6	15,5	
27	E	16,0	13,9	13,9	13,5	13,6	12,7	13,9
	C	17,5	15,7	16,1	15,2	12,6	15,1	15,4
	Média	16,8	14,8	15,0	14,4	13,1	13,9	
37	E	19,8	19,5	17,5	16,1	13,0	12,4	16,4
	C	18,5	17,8	17,4	17,8	13,4	13,0	16,3
	Média	19,2	18,7	17,5	17,0	13,2	12,7	
47	E	17,8	17,5	17,2	16,4	13,8	12,6	15,9
	C	16,0	15,4	16,1	15,3	15,1	13,9	15,3
	Média	16,9	16,5	16,7	15,9	14,5	13,3	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 2. Taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 18, 29, 38, 54, 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
18	E	14,7	14,7	13,7	14,8	13,6	12,0	13,9
	C	11,0	11,4	10,6	11,9	11,4	10,4	11,1
	Média	12,9	13,0	12,2	13,3	12,5	11,2	
29	E	18,4	17,3	16,2	18,2	15,8	13,2	16,5
	C	14,3	14,3	14,4	17,5	14,2	10,7	14,2
	Média	16,4	15,8	15,3	17,9	15,0	11,9	
38	E	17,7	16,8	15,9	16,0	15,5	9,8	15,3
	C	16,0	16,4	16,6	15,9	15,5	13,3	15,6
	Média	16,8	16,6	16,3	15,9	15,5	11,6	
54	E	17,8	16,8	16,9	15,4	13,9	13,8	15,8
	C	13,9	13,2	13,5	13,6	12,1	12,9	13,2
	Média	15,8	15,0	15,2	14,5	13,0	13,4	
67	E	17,0	15,6	14,1	16,1	16,1	16,7	15,9
	C	16,6	17,1	17,5	16,9	18,2	16,5	17,1
	Média	16,8	16,3	15,8	16,5	17,2	16,6	
76	E	14,7	14,6	13,2	14,8	14,8	14,2	14,4
	C	15,4	15,4	15,4	14,6	16,8	15,5	15,5
	Média	15,0	15,0	14,3	14,7	15,8	14,9	
87	E	10,4	9,1	10,3	9,0	9,8	9,6	9,7
	C	10,5	10,5	10,5	10,0	12,5	10,2	10,7
	Média	10,5	9,8	10,4	9,5	11,2	9,9	
98	E	7,4	7,2	8,4	9,5	11,2	10,9	9,1
	C	9,6	11,8	10,8	10,2	10,6	8,8	10,3
	Média	8,5	9,5	9,6	9,9	10,9	9,8	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 3. Condutância estomática (gs) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 17, 27, 37 e 47 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 1)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
17	E	0,20	0,19	0,19	0,19	0,17	0,15	0,18
	C	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,13	0,16
	Média	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,14	
27	E	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,13
	C	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13
	Média	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	
37	E	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,13
	C	0,13	0,13	0,14	0,15	0,14	0,12	0,13
	Média	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13	
47	E	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	C	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12
	Média	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 4. Condutância estomática (gs) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 18, 29, 38, 54, 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
18	E	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,08	0,14
	C	0,08	0,10	0,07	0,09	0,09	0,07	0,08
	Média	0,12	0,13	0,11	0,12	0,11	0,08	
29	E	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,10	0,12
	C	0,11	0,12	0,12	0,14	0,12	0,09	0,11
	Média	0,12	0,13	0,12	0,13	0,12A	0,09	
38	E	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,11	0,12
	C	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11
	Média	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	
54	E	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09
	C	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09
	Média	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	
67	E	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10
	C	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09
	Média	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	
76	E	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07
	C	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06
	Média	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	
87	E	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06
	C	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,04
	Média	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
98	E	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05
	C	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04
	Média	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 5. Fluorescência da clorofila a (F_v/F_m) em plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 22, 33, 43 e 47 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 1)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
22	E	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,78	0,80
	C	0,77	0,77	0,77	0,78	0,76	0,77	0,77
	Média	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	
33	E	0,82	0,79	0,78	0,77	0,77	0,76	0,78
	C	0,76	0,75	0,75	0,74	0,68	0,70	0,73
	Média	0,79	0,77	0,76	0,76	0,73	0,73	
43	E	0,83	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,82
	C	0,83	0,83	0,83	0,82	0,80	0,80	0,82
	Média	0,83	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	
47	E	0,76	0,77	0,75	0,74	0,70	0,72	0,74
	C	0,77	0,77	0,76	0,76	0,75	0,75	0,76
	Média	0,77	0,77	0,76	0,75	0,73	0,73	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 6. Fluorescência da clorofila *a* (F_v/F_m) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 22, 33, 43, 56, 67, 77, 89 e 99 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
22	E	0,76	0,76	0,76	0,76	0,74	0,74	0,75
	C	0,74	0,76	0,77	0,77	0,77	0,78	0,77
	Média	0,75	0,76	0,77	0,76	0,76	0,76	
33	E	0,80	0,79	0,79	0,80	0,79	0,75	0,79
	C	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,82
	Média	0,81	0,81	0,80	0,81	0,80	0,78	
43	E	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
	C	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
	Média	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	
56	E	0,82	0,81	0,81	0,81	0,80	0,79	0,81
	C	0,81	0,79	0,80	0,80	0,80	0,79	0,80
	Média	0,81	0,80	0,81	0,80	0,80	0,79	
67	E	0,83	0,81	0,80	0,81	0,80	0,80	0,81
	C	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82	0,84
	Média	0,84	0,83	0,82	0,83	0,83	0,81	
77	E	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79	0,80
	C	0,78	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77	0,78
	Média	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	
89	E	0,79	0,74	0,75	0,75	0,78	0,79	0,77
	C	0,81	0,81	0,81	0,80	0,81	0,81	0,81
	Média	0,80	0,78	0,78	0,77	0,79	0,80	
99	E	0,52	0,48	0,58	0,61	0,61	0,72	0,59
	C	0,69	0,69	0,65	0,68	0,53	0,64	0,65
	Média	0,61	0,58	0,62	0,64	0,57	0,68	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 7. Desvio da cor normal das folhas (ΔE_{ab}) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 19, 32, 41 e 48 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 1)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
19	E	0,0	3,8	5,3	5,0	5,0	4,5	3,9
	C	0,0	2,6	3,3	4,8	3,5	4,6	3,1
	Média	0,0	3,2	4,3	4,9	4,3	4,6	
32	E	0,0	5,7	11,0	9,4	12,5	15,1	9,0
	C	0,0	4,8	5,0	5,3	13,2	10,4	6,5
	Média	0,0	5,3	8,0	7,4	12,9	12,8	
41	E	0,0	3,8	4,5	6,8	13,9	19,3	8,1
	C	0,0	5,9	5,5	9,0	16,1	17,5	9,0
	Média	0,0	4,9	5,0	7,9	15,0	18,4	
48	E	0,0	3,4	4,1	4,4	8,6	10,8	5,2
	C	0,0	2,8	4,1	3,8	4,3	5,9	3,5
	Média	0,0	3,1	4,1	4,1	6,5	8,4	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 8. Desvio da cor normal das folhas (ΔE_{ab}) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 20, 32, 41, 57, 69, 80, 90 e 98 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
20	E	0,0	1,5	1,8	1,9	2,9	3,5	1,9
	C	0,0	1,8	2,3	1,7	2,8	3,3	2,0
	Média	0,0	1,7	2,1	1,8	2,9	3,4	
32	E	0,0	5,0	4,8	4,1	5,9	9,0	4,8
	C	0,0	4,3	3,9	3,4	5,1	6,2	3,8
	Média	0,0	4,7	4,4	3,8	5,5	7,6	
41	E	0,0	3,0	2,7	4,2	4,2	9,1	3,9
	C	0,0	3,6	4,2	2,8	4,5	4,8	3,3
	Média	0,0	3,3	3,5	3,5	4,4	7,0	
57	E	0,0	3,3	4,7	4,9	5,5	6,8	4,2
	C	0,0	5,6	4,2	4,7	7,9	7,4	5,0
	Média	0,0	4,5	4,5	4,8	6,7	7,1	
69	E	0,0	2,8	3,1	3,1	3,9	6,6	3,3
	C	0,0	1,7	2,1	2,7	2,4	6,0	2,5
	Média	0,0	2,3	2,6	2,9	3,2	6,3	
80	E	0,0	2,3	2,7	2,1	3,0	5,3	2,6
	C	0,0	2,3	1,8	3,3	2,9	6,4	2,8
	Média	0,0	2,3	2,3	2,7	3,0	5,9	
90	E	0,0	2,2	2,6	2,5	3,2	6,5	2,8
	C	0,0	6,0	3,9	3,8	3,6	7,6	4,2
	Média	0,0	4,1	3,3	3,2	3,4	7,1	
98	E	0,0	6,3	4,6	3,3	4,6	9,4	4,7
	C	0,0	8,2	7,6	4,0	9,5	7,5	6,1
	Média	0,0	7,3	6,1	3,7	7,1	8,5	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 9. Teor de clorofila foliar (ng/cm²) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) aos 67, 76, 87 e 98 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
67	E	34,4	29,9	28,2	30,9	31,0	32,7	31,2
	C	35,4	35,2	36,0	35,4	35,7	31,7	34,9
	Média	34,9	32,6	32,1	33,2	33,3	32,2	
76	E	39,9	36,2	35,4	36,4	35,3	34,6	36,3
	C	35,8	35,8	35,1	35,2	35,1	32,4	34,9
	Média	37,9	36,0	35,2	35,8	35,2	33,6	
87	E	38,5	34,8	35,2	34,5	33,8	33,5	35,1
	C	32,7	34,0	35,2	31,3	34,9	31,6	33,3
	Média	35,6	34,4	35,2	32,9	34,4	32,6	
98	E	30,8	29,6	29,7	31,1	31,0	27,6	30,0
	C	21,9	28,5	25,7	24,2	21,7	23,3	24,2
	Média	26,4	29,1	27,7	27,7	26,4	25,5	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 10. Integral da área foliar (cm²), massa fresca do sistema radicular (g) e massa seca da parte aérea (g) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) inoculadas com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 1)

	J ₂ /planta						
Variedade	0	1200	3600	10800	32400	97200	Médias
Integral da área foliar							
E	11975	10263	9538	8548	5950	3813	8348
C	16007	14342	12630	11021	6998	5721	11120
Médias	13991	1230	11084	9784	6474	4767	
Massa fresca do sistema radicular							
E	18,6	19,1	19,8	19,1	14,8	10,5	17,0
C	15,7	17,1	16,9	17,1	12,8	12,9	15,4
Médias	17,2	18,1	18,3	18,1	13,8	11,7	
Massa seca da parte aérea							
E	6,3	5,3	4,7	4,3	2,6	1,5	4,1
C	8,4	7,7	6,6	5,8	3,7	3,1	5,9
Médias	7,3	6,5	5,7	5,0	3,2	2,3	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 11. Integral da área foliar (cm²), massa fresca do sistema radicular (g), massa seca total da parte aérea (g) e produção de grãos (g) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) inoculadas com populações crescentes de *Meloidogyne javanica*. (Experimento 2)

	J ₂ /planta						
Variedade	0	1200	3600	10800	32400	97200	Médias
Integral da área foliar							
E	185922	196482	151496	155797	145577	58917	149032
C	113381	130066	110143	107586	90850	53850	100979
Médias	149652	163274	130820	131692	118213	56383	
Massa fresca do sistema radicular							
E	56,	88,5	87,3	86,6	55,6	21,3	66,0
C	29,6	43,3	44,4	41,5	28,9	18,3	34,3
Médias	43,2	65,9	65,8	64,0	42,2	19,8	
Massa seca total da parte aérea							
E	31,4	27,5	20,0	20,7	18,5	7,4	20,9
C	20,4	21,9	17,8	17,4	15,1	8,7	16,9
Médias	25,9	24,7	18,9	19,1	16,8	8,1	
Produção de grãos (g)/planta							
E	15,6	11,2	6,9	7,1	6,2	2,2	8,2
C	10,8	10,7	9,0	8,8	7,4	4,0	8,5
Médias	13,2	11,0	7,9	8,0	6,8	3,1	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 12. Número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de *Meloidogyne javanica* em plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) inoculadas com populações crescentes do parasito. (Experimento 1)

Variedade	J ₂ /planta						Médias
	0	1200	3600	10800	32400	97200	
Ovos/grama de raiz							
E	0,0	444	1174	2062	3530	6959	2362
C	0,0	574	692	2023	3863	7049	2367
Médias	0,0	509	933	2043	3697	7004	
Fator de reprodução (FR)							
E	0,0	6.7	6.4	3.6	1.6	0.7	3.2
C	0,0	8.0	3.1	3.2	1.6	0.9	2.8
Médias	0,0	7.4	4.8	3.4	1.6	0.8	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 13. Número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de *Meloidogyne javanica* em plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Coodetec 201 (C) inoculadas com populações crescentes do parasito. (Experimento 2)

Variedade	J ₂ /planta						Médias
	0	1200	3600	10800	32400	97200	
Ovos/grama de raiz							
E	0,0	24556	35064	22274	15173	13805	18479
C	0,0	10836	13891	11689	11004	10871	9715
Médias	0,0	17696	24478	16981	13088	12338	
Fator de reprodução (FR)							
E	0,0	1789,4	832,3	178,6	26,8	2,9	471,7
C	0,0	387,6	199,1	48,0	11,5	1,6	108,0
Médias	0,0	1088,5	515,7	113,3	19,16	2,27	

Dados médios de 10 repetições.

APÊNDICE 2

Tabelas contendo os dados originais: experimentos com *Heterodera glycines*

Tabela 1. Taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 19, 28, 37 e 48 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 1)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
19	E	19,2	18,7	18,2	17,3	17,1	15,5	17,7
	P	13,1	14,2	13,2	12,9	12,3	11,6	12,9
	Média	16,1	16,5	15,7	15,1	14,7	13,6	
28	E	17,1	16,7	14,8	12,8	10,5	12,4	14,5
	P	15,7	15,6	15,3	14,0	13,4	13,2	14,0
	Média	16,4	16,1	15,1	13,4	12,8	11,9	
37	E	15,3	14,8	13,8	13,1	12,2	12,8	13,7
	P	14,3	14,4	14,7	14,3	14,8	15,2	14,6
	Média	14,8	14,6	14,3	13,7	13,5	14,0	
48	E	18,9	17,6	16,4	15,3	13,7	10,7	15,4
	P	16,1	16,1	16,5	16,0	17,3	16,2	16,4
	Média	17,5	16,9	16,4	15,6	15,5	13,5	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 2. Condutância estomática (gs) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 19, 28, 37 e 48 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 1)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
19	E	0,16	0,17	0,15	0,15	0,14	0,13	0,15
	P	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13	0,12	0,14
	Média	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	
28	E	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	P	0,12	0,10	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11
	Média	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
37	E	0,08	0,08	0,07	0,09	0,11	0,12	0,09
	P	0,13	0,11	0,13	0,12	0,14	0,14	0,13
	Média	0,11	0,09	0,10	0,10	0,12	0,13	
48	E	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	P	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12
	Média	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 3. Taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e condutância estomática (gs) de plantas de soja Embrapa 133 aos 20, 29, 44, 58, 67, 79 e 91 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 2)

DAI	J ₂ /planta					
	0	1200	3600	10800	32400	97200
Taxa fotossintética líquida						
20	16,8	15,2	15,6	14,8	15,4	15,5
29	20,3	19,6	19,5	17,2	16,9	16,6
44	18,5	14,9	13,1	12,5	11,1	12,9
58	15,7	12,0	10,7	9,7	8,6	10,1
67	15,9	10,6	10,3	10,0	8,5	8,5
79	12,9	10,3	9,4	7,4	6,4	8,2
91	5,7	7,9	6,6	7,0	5,9	6,6
Condutância estomática						
20	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,14
29	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
44	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
58	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07
67	0,06	0,05	0,06	0,07	0,05	0,06
79	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,06
91	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04

Médias de 10 repetições.

Tabela 4. Fluorescência da clorofila *a* (F_v/F_m) em plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 23, 33, 42 e 49 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 1)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
23	E	0,78	0,76	0,77	0,75	0,77	0,77	0,77
	P	0,78	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
	Média	0,78	0,77	0,78	0,77	0,78	0,78	
33	E	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,80	0,83
	P	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
	Média	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82	0,81	
42	E	0,80	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,79
	P	0,81	0,82	0,81	0,82	0,82	0,82	0,82
	Média	0,81	0,81	0,81	0,80	0,79	0,79	
49	E	0,83	0,83	0,82	0,82	0,80	0,80	0,82
	P	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
	Média	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 5. Desvio da cor normal das folhas (ΔE_{ab}) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) aos 21, 31, 42 e 47 dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 1)

DAI	Variedade	J ₂ /planta						Médias
		0	1200	3600	10800	32400	97200	
21	E	0,0	4,0	3,3	4,6	4,1	4,2	3,4
	P	0,0	4,4	4,3	5,3	5,9	4,9	4,1
	Média	0,0	4,2	3,8	5,0	5,0	4,6	
31	E	0,0	2,1	3,5	4,9	10,4	7,8	4,8
	P	0,0	4,6	3,2	5,3	3,6	4,3	3,5
	Média	0,0	3,4	3,4	5,1	7,0	6,1	
42	E	0,0	4,7	4,3	4,2	11,5	15,9	6,8
	P	0,0	4,0	3,0	3,2	3,7	3,1	2,8
	Média	0,0	4,4	3,7	3,7	7,6	9,5	
47	E	0,0	4,6	3,8	4,9	12,1	17,2	7,1
	P	0,0	2,7	3,6	2,7	4,3	4,8	3,0
	Média	0,0	3,7	3,7	3,8	8,2	11,0	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 6. Fluorescência da clorofila a (F_v/F_m), desvio da cor normal das folhas (ΔEab) e teor de clorofila foliar (ng/cm^2) de plantas de soja Embrapa 133 em diferentes dias após a inoculação (DAI) com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 2)

DAI	J ₂ /planta					
	0	1200	3600	10800	32400	97200
Fluorescência da clorofila a						
23	0,77	0,77	0,78	0,77	0,77	0,77
33	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81	0,82
46	0,83	0,82	0,82	0,81	0,80	0,80
56	0,81	0,80	0,80	0,80	0,79	0,78
66	0,83	0,79	0,75	0,64	0,77	0,78
78	0,83	0,81	0,81	0,81	0,78	0,76
90	0,61	0,74	0,73	0,75	0,73	0,67
Cor das folhas						
21	0,0	2,0	2,2	2,7	2,3	2,6
32	0,0	2,3	2,6	3,8	4,6	5,8
47	0,0	6,4	10,8	11,2	17,0	15,3
59	0,0	8,3	11,2	15,3	19,0	16,1
70	0,0	10,8	13,0	20,0	22,9	20,9
81	0,0	11,0	12,1	12,3	20,5	14,7
90	0,0	10,7	13,6	21,1	20,8	16,3
Teor de clorofila						
58	32,4	26,4	24,7	23,0	19,3	20,6
67	36,4	26,3	25,4	20,7	19,3	19,0
79	37,6	27,5	26,4	19,3	17,4	18,5
91	33,8	27,4	25,6	21,4	17,9	19,7

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 7. Integral da área foliar (cm²), massa fresca do sistema radicular (g) e massa seca total da parte aérea (g) de plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) inoculadas com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 1)

	J ₂ /planta						
Variedade	0	1200	3600	10800	32400	97200	Médias
Integral da área foliar							
E	12570	13223	10587	8815	4970	3696	8977
P	14832	13838	13960	11738	11217	9418	12500
Médias	13701	13530	12273	10276	8093	6557	
Massa fresca do sistema radicular							
E	9,8	10,6	10,3	8,3	5,1	4,7	8,1
P	6,9	6,5	6,2	6,0	5,4	4,6	5,9
Médias	8,3	8,6	8,2	7,1	5,2	5,2	
Massa seca total da parte aérea							
E	4,9	4,1	3,1	2,1	0,8	0,6	2,6
P	5,6	5,7	5,2	4,3	4,3	3,9	4,8
Médias	5,2	4,9	4,1	3,2	2,6	2,2	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 8. Integral da área foliar (cm²), massa fresca do sistema radicular (g), massa seca total da parte aérea (g) e produção de grãos (g) de plantas de soja Embrapa 133 inoculadas com populações crescentes de *Heterodera glycines*. (Experimento 2)

J ₂ /planta					
0	1200	3600	10800	32400	97200
Integral da área foliar					
138995	75790	52663	39371	33571	28491
Massa fresca do sistema radicular					
34,8	19,3	12,3	9,1	6,2	5,9
Massa seca total da parte aérea					
28,1	6,3	4,1	3,0	1,9	1,3
Produção de grãos					
12,4	0,8	0,3	0,2	0,0	0,0
Médias de 10 repetições.					

Tabela 9. Número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de *Heterodera glycines* em plantas de soja das variedades Embrapa 133 (E) e Pintado (P) inoculadas com populações crescentes do parasito. (Experimento 1)

Variedade	J ₂ /planta						Médias
	0	1200	3600	10800	32400	97200	
Ovos/grama de raiz							
E	0,0	4371	8820	36051	82736	79568	35258
P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Médias	0,0	2186	4410	18026	41368	39784	
Fator de reprodução							
E	0,0	37,2	21,1	24,5	12,0	3,3	16,4
P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Médias	0,0	18,6	10,5	12,3	6,0	1,7	

Dados médios de 10 repetições.

Tabela 10. Número de ovos/grama de raiz e fator de reprodução de *Heterodera glycines* em plantas de soja Embrapa 133 inoculadas com populações crescentes do parasito. (Experimento 2)

J ₂ /planta					
0	1200	3600	10800	32400	97200
Ovos/g de raiz					
0,0	25143	33144	33009	28640	26748
Fator de reprodução					
0,0	400,3	114,8	28,1	5,4	1,8

Médias de 10 repetições.