

INSTITUTO AGRONÔMICO

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
TROPICAL E SUBTROPICAL**

**ANÁLISE DE CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS
EM PLANTIOS DIRETO E CONVENCIONAL DE
MILHO E SOJA**

JOÃO PAULO LOPES

Orientador: Eduardo Caruso Machado
Co-orientador: Robert Deuber

Dissertação submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de **Mestre**
em Agricultura Tropical e Subtropical
Área de Concentração em Tecnologia de
Produção Agrícola

Campinas, SP
Junho 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agrônômico

L864a Lopes, Joao Paulo

Análise de Crescimento e trocas gasosas em plantios direto e convencional de milho e soja./ João Paulo Lopes. Campinas, 2008.

50 fls

Orientador: Eduardo Caruso Machado

Co-orientador: Robert Deuber

Dissertação (Mestrado) – Concentração em Tecnologia de Produção Agrícola

1. Análise de crescimento 2. Plantio direto 3. Milho L. 4. Soja
I. Machado, Eduardo Caruso II. Deuber, Robert III. Título

CDD 631.51



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
pgrad@iac.sp.gov.br



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO
AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

TÍTULO: Análise de crescimento e trocas gasosas em plantios direto e convencional de milho e soja

Aluno(a): **João Paulo Lopes**
Processo SAA nº. **12132/06**

Orientador(a): **Eduardo Caruso Machado**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dr.(a) Eduardo Caruso Machado - IAC

Dr.(a) Gustavo Habermann - UNESP

Dr.(a) Rafael Vasconcelos Ribeiro - IAC

Campinas, 17 de junho de 2008

Visto:

Ana Maria M.A. Lagôa
Coordenadora
Pós-Graduação Instituto Agrônomo

A Deus e
ao poderoso Santo Expedito,
DEDICO

Aos meus pais, Lucinda e João,
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- Ao amigo Dr. Eduardo Caruso Machado, pesquisador e orientador, pelo exemplo de dedicação a pesquisa, seriedade e competência.
- Ao pesquisador e co-orientador Dr. Robert Deuber, pela receptividade e amizade dispensada durante a realização deste trabalho.
- Ao Auxiliar de Pesquisa Severino Nogueira, pela ajuda no trabalho de coleta de campo e laboratorial e pelo exemplo de fé.
- Aos funcionários da PG-IAC, Adilza, Beth, Célia e Eliete, pela compreensão nos atrasos e apoio às dificuldades burocráticas.
- Aos pesquisadores do IAC: Cristiano de Andrade, Rafael Ribeiro, Glauco Rolim, Norma Erismann e Maria do Carmo Novo, pela colaboração para a realização deste trabalho.
- A toda minha família e aos amigos Luiz Abreu e Luiz Niero.
- Aos colegas de trabalho do colégio agrícola Benedito Storani do Centro Paula Souza pela compreensão nas ausências e incentivo a este objetivo.
- A Mariana Costa, pelo apoio e carinho.
- A todos do SINDI-PÓS, pela difusão de experiências e amizade, em especial a diretoria fundadora, gestão 2006/2007, sempre na esperança da continuidade dos trabalhos.

“Quem retém as palavras possui o conhecimento,
e o sereno de espírito é homem de inteligência.”

Provérbios 17:27

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE ANEXOS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Análise quantitativa do crescimento.....	12
3.2 Trocas gasosas.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1 Triticale.....	16
4.2 Milho.....	17
4.3 Soja.....	25
4.4 Trocas gasosas.....	30
5 CONCLUSÕES.....	40
6 REFERÊNCIAS.....	41
7 ANEXOS.....	47
7.1 Anexo 1.....	47
7.2 Anexo 2.....	48
7.3 Anexo 3.....	48
7.4 Anexo 4.....	49
7.5 Anexo 5.....	49
7.6 Anexo 6.....	50
7.7 Anexo 7.....	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de grãos de milho híbrido IAC-8333 e de soja IAC-23 cultivados em sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC).....	24
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1 – Temperatura do ar e precipitação (A) e extrato do balanço hídrico de 2006/2007 (B) calculado em Campinas (SP) segundo Thornthwaite e Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por ROLIM et al. (1998). Capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. Área hachurada indica o período experimental (dezembro de 2006 a abril de 2007). Os cálculos foram realizados a partir de dados obtidos em estação meteorológica localizada a 500 m do campo experimental (CIIAGRO/IAC)..... 15
- Figura 2 – Acúmulo de fitomassa seca total, de panículas, de folha e colmo em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de triticale IAC-3 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições e barras o desvio padrão..... 16
- Figura 3 – Acúmulo de fitomassa seca total e de espigas (A) e fitomassa seca de folha e colmo (B) em função do número de dias após a emergência (DAE), em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Letra s indica diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de plantio pelo teste Tukey ao nível de 5% no ponto indicado. Cada símbolo representa a média de seis repetições..... 17
- Figura 4 – Taxa de crescimento da cultura, TCC, (A), taxa de assimilação líquida, TAL, (B) e índice de área foliar, IAF, (C) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Letra s indica diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de plantio pelo teste Tukey ao nível de 5% no ponto indicado. Cada símbolo representa a média de seis repetições..... 20
- Figura 5 – Taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa de crescimento de espiga (TCE) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições..... 22
- Figura 6 – Taxa de crescimento relativo (TCR) e razão de área foliar (RAF) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições..... 23

Figura 7 – Acúmulo de fitomassa seca total e de vagem (A) e fitomassa seca de folha e haste (B) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistemas de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Letra s indica diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de plantio pelo teste Tukey ao nível de 5% no ponto indicado. Cada símbolo representa a média de seis repetições.....	25
Figura 8 – Taxa de crescimento da cultura, TCC, (A), taxa de assimilação líquida, TAL, (B) e índice de área foliar, IAF, (C) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Letra s indica diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de plantio pelo teste Tukey ao nível de 5% no ponto indicado. Cada símbolo representa a média de seis repetições.....	27
Figura 9 – Taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa de crescimento de vagem (TCV) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições.....	28
Figura 10 – Taxa de crescimento relativo (TCR) e razão de área foliar (RAF) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições.....	29
Figura 11 – Variação diurna da temperatura da folha (Tfolha), densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) e diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPVfolha-ar) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão.....	31
Figura 12 – Variação diurna da taxa de assimilação de CO ₂ (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão.....	33

- Figura 13 – Variação diurna da temperatura da folha (T_{folha}), densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) e diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão..... 36
- Figura 14 – Variação diurna da assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) em plantas de soja IAC-23 cultivado no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão..... 37
- Figura 15 – Variação assimilação de CO_2 (A) e da condutância estomática (gs) em plantas de milho híbrido IAC-8333 (A) e de soja IAC-23 (B) cultivados no sistema de plantio direto (PD, símbolos cheios) e convencional (PC, símbolos vazios). Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007 (quadrados), 07/02/2007 (triângulos) e 08/03/2007 (círculos). Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão..... 39
- Figura 16 – Variação diurna da eficiência do uso de água (EUA) em plantas de milho híbrido IAC-8333 (parte superior) e de soja IAC-23 (parte inferior) cultivados no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão..... 39

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1 – Esquema de distribuição de parcelas e sub-parcelas no campo experimental. Os números dentro dos círculos representam as parcelas e os números nas linhas as sub-parcelas. No inverno (02/07/2006) foi semeado em área total triticales. Após a colheita do triticales na metade da área foi semeado soja IAC 23 (12/12/2006) e na outra metade o milho híbrido IAC 8333 (13/12/2006). Foram mantidas as mesmas faixas de plantio direto e convencional do triticales para a soja e milho..... 47
- Anexo 2 – Coeficientes das funções de Boltzmann ($Y = A_2 + (A_1 - A_2)/(1 + \exp((x - x_0)/dx))$) selecionadas para descrever o acúmulo de fitomassa seca total e de espigas em milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC)..... 48
- Anexo 3 – Coeficientes das funções de Gauss ($Y = y_0 + (A/(w\sqrt{\pi/2}))\exp(-2((x - x_c)/w)^2)$) selecionadas para descrever o índice de área foliar em milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC)..... 48
- Anexo 4 – Coeficientes das funções de Boltzmann ($Y = A_2 + (A_1 - A_2)/(1 + \exp((x - x_0)/dx))$) selecionadas para descrever o acúmulo de fitomassa seca total e de vagens em soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC)..... 49
- Anexo 5 – Coeficientes das funções de Gauss ($Y = y_0 + (A/(w\sqrt{\pi/2}))\exp(-2((x - x_c)/w)^2)$) selecionadas para descrever a fitomassa seca total e o índice de área foliar em soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC)..... 49
- Anexo 6 – Análise foliar do milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Avaliação realizada em duas datas: 24/01/2007 e 07/02/2007..... 50
- Anexo 7 – Análise foliar de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Avaliação realizada em duas datas: 24/01/2007 e 07/02/2007..... 50

LOPES, João Paulo. **Análise de crescimento e trocas gasosas em plantio direto e convencional de milho e soja**. 2008. 50f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – Pós-Graduação – IAC.

RESUMO

O plantio direto minimiza a mobilização do solo e mantém a cobertura morta sobre a superfície. Cada sistema de plantio exerce efeitos característicos sobre o ambiente e pode afetar o crescimento da planta. Neste trabalho avaliaram-se por meio de análise de crescimento e de trocas gasosas, os efeitos do plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) nas culturas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] e milho (*Zea mays* L.), após cultivo de triticale (*X Triticosecale* Wittmack). Ambos experimentos, um com soja e outro com milho, foram conduzidos na safra 2006/2007, em Campinas-SP. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas (sistema de plantio) subdivididas (datas de coletas) com seis repetições. Os dados primários de massa seca e área foliar foram obtidos em plantas, contidas em um metro de linha, cortadas ao nível do solo em intervalos de 15 dias. Calculou-se o índice de área foliar (IAF), a taxa de crescimento da cultura (TCC), de espigas ou vagens, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida e razão de área foliar. As medidas de trocas gasosas [assimilação de CO₂ (A); transpiração (E) e condutância estomática (gs)] foram efetuadas com um analisador portátil de fotossíntese (Li-6400), aos 36, 49 e 80 dias após a emergência das plantas (DAE), nas fases de crescimento vegetativo, floração e enchimento de grãos. Em milho, o IAF, a TCC, a fitomassa seca total, das espigas, dos colmos e dos grãos foram superiores em PC. Na soja, os valores de IAF, fitomassa seca total e de vagens apresentaram diferenças somente do meio para o final do ciclo, sendo maior em PC. Em soja, a produção de grãos não foi afetada pelo sistema de plantio. As diferenças observadas em favor de PC em ambas as espécies parecem estar relacionadas ao desenvolvimento mais rápido e maior do IAF. As trocas gasosas não apresentaram diferenças entre os sistemas de plantio. O crescimento, os valores de A, gs e E foram afetados pela ocorrência de déficit hídrico nos segundos decêndios de fevereiro (50 DAE) e de março (80 DAE).

Palavras-Chave: Fotossíntese; sistema de plantio; *Zea mays*; *Glycine Max*; *X Triticosecale*

LOPES, João Paulo. **Growth analysis and gas exchanges in no tillage and conventional cropping of the corn and soybean**. 2008. 50f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – Pós-Graduação – IAC.

ABSTRACT

No tillage crop minimizes the soil mobilization and keeps the previous crops mulch over the soil surface. Each cropping system acts in a particular way on the environmental characteristics and may affect differently the crop growth. In this research the effects of no tillage crop (NT) and conventional cropping (CC) on corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivated after triticale (*X Triticosecale* Wittmack), were evaluated by means of growth analysis and gas exchanges. Two field experiments were carried out in the 2006/07 season, in Campinas, São Paulo, Brazil. Randomized blocks with plots (cropping system) and sub-plots (sampling dates), with six replications. Were used (as the experimental design) the primary data of dry matter and leaf area were collected from all plants in one meter row, cut at the soil level, every 15 days. Calculations of leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), ears or legumes, relative growth rate, net assimilation rate and leaf area rate were done. Measurements of CO₂ assimilation (A), transpiration (E) and stomatal conductance (gs) were taken with a portable gas analyser (Li-6400) at 36, 49 and 80 days after the plant emergence (DAE), at the vegetative growth, flowering and grain filling stages respectively. In corn, the LAI, CGR, total dry matter, dry matter of stems, ears and grains were higher on CC. For soybean, the values of LAI, total dry matter and legume dry matter were different only from the middle to the end of the crop cycle, being also higher on CC. For soybean, the grain yield was not affected by cropping system. The observed differences in favour of the CC system seem to be related with the faster crop growth and higher LAI, for both crops. The gas exchanges did not show any differences between the cropping systems. Values of growth, A, gs and E were affected by water deficit in two periods of 20 days in February (50 DAE) and March (80 DAE) for both systems.

Key words: photosynthesis, crop systems, *Zea mays*; *Glycine max*; *X Triticosecale*

1 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto foi introduzido no sul do Brasil no início da década de 1970. O objetivo básico inicialmente foi impedir a erosão hídrica e reverter o processo acelerado de degradação do solo e da água verificado em nosso país. Inicialmente o incremento da área com esse tipo de plantio foi pouco expressivo, sendo que a partir da década de 1990 ocorreu grande expansão da área sob plantio direto, tanto na região sul quanto nas áreas ocupadas originalmente pelo cerrado região do cerrado (LOPES et al., 2004). Atualmente são cultivados no Brasil cerca de 20 milhões de hectares sob plantio direto. Mundialmente, a área sob sistema de plantio direto é de 64 milhões de hectares e o Brasil ocupa a segunda maior área, enquanto que os Estados Unidos é o país que apresenta a maior área sob esse sistema (CERVI, 2003).

O plantio direto é um sistema que visa minimizar a mobilização do solo e manter a cobertura morta e a ‘palhada’ da cultura anterior sobre a superfície do solo. Para minimizar a mobilização do solo, a semeadura revolve o solo apenas na linha de plantio, onde são depositadas as sementes e fertilizantes. Não existe outro tipo de preparo de solo além do plantio resultando em uma economia de implementos, combustível e tempo de serviço. As plantas infestantes são controladas com uso de herbicidas que não exigem incorporação.

Esse sistema de manejo é muito eficiente no controle da erosão. A ‘palhada’ protege a superfície do solo contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo a desagregação e a impermeabilização da superfície, garantindo maior infiltração da água no solo e diminuindo, com isso, o arraste de partículas. Alguns dados apontam redução de até 90% de perda de terra e até 70% de perda de água por escoamento superficial (DE MARIA, 2006).

Além dos efeitos benéficos no solo, o plantio direto exerce efeitos sobre a planta em função da alteração do ambiente de crescimento. Os trabalhos que comparam o plantio direto e convencional avaliam os efeitos deste tipo de manejo sobre o rendimento final das culturas e sobre as características e propriedades do solo (YUSUF et al., 1999; PEDERSEN & LAUER, 2003; QIN et al., 2005). Os resultados, em relação ao rendimento da cultura, quando se compara o plantio direto com o plantio convencional são muitas vezes contraditórios. Observam-se tanto rendimentos maiores sob plantio direto quanto sob plantio convencional, além de muitas vezes apresentarem

rendimentos semelhantes (HILL, 1990; ISMAIL et al., 1994; HERNANI & SALTON, 1997; PAULETTI et al., 2003; SILVEIRA & STONE, 2003; CARVALHO et al., 2004; SECCO et al., 2005). Tais controvérsias podem estar relacionadas a outras ocorrências como estresse hídrico, altas temperaturas, adubações diferentes, ou seja, a fatores que interferem paralelamente no desenvolvimento vegetal (COX et al., 1990; PEDERSEN & LAUER, 2003; CARVALHO et al., 2004; SINGER et al., 2007).

Há alguns trabalhos, porém, que analisam o crescimento e as respostas da planta durante todo o seu ciclo para, com isso, poder entender os efeitos deste manejo sobre as plantas. Há resultados que indicam que, mesmo com um rendimento próximo entre os dois sistemas de plantio, podem existir diferenças no padrão de crescimento e desenvolvimento inicial da cultura (YUSUF et al., 1999).

Segundo URCHAI et al. (2000) por meio da análise de crescimento podem-se avaliar os efeitos de sistemas de manejo sobre as plantas, pois se descrevem as mudanças nas características do crescimento em função do tempo, o que não é possível com o simples registro do rendimento. A análise de crescimento representa a referência inicial na análise de produção, requerendo informações que podem ser obtidas sem a necessidade de equipamentos sofisticados (PEREIRA & MACHADO, 1987). Essas informações, como massa seca da planta e de suas partes e da área foliar, são utilizadas na estimativa de vários índices fisiológicos, como índice de área foliar, taxa de crescimento relativo e da cultura e taxa de assimilação líquida. Esses índices fisiológicos auxiliam a interpretação dos efeitos do ambiente sobre as plantas.

A análise de crescimento pode ser interpretada com uma análise da dinâmica fotossintética durante o desenvolvimento da cultura. A agricultura é basicamente um sistema de exploração da energia solar por meio da fotossíntese, visto que este processo é responsável pelo acúmulo de toda a matéria orgânica das plantas. Qualquer fator que interfira na eficiência deste processo interferirá no desenvolvimento da planta. Pouco se sabe sobre o desenvolvimento e as trocas gasosas mesmo nas grandes culturas como soja e milho submetidos a diferentes sistemas de plantio.

A hipótese de trabalho considera que o sistema de plantio altera as condições do ambiente de cultivo, portanto podendo alterar o padrão de crescimento, das trocas gasosas e da produção. Esse trabalho teve por objetivo analisar as possíveis alterações no desenvolvimento e nas trocas gasosas de soja e de milho em seqüência ao triticale nos sistemas de plantio direto e convencional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Uma característica fundamental no sistema de plantio direto é a rotação de culturas na área. Cultivos contínuos das mesmas espécies podem ocasionar, com o passar dos anos, perda de produtividade (SILVEIRA & STONE, 2003). O fato ocorre porque se alteram as características do solo e assim as condições do ambiente se tornam propícias à multiplicação de pragas e doenças. A maneira para se solucionar ou atenuar esses problemas é a prática de rotação de culturas, a qual, pela inclusão de espécies com sistema radicular vigoroso e pelos aportes diferenciados de matéria seca, pode alterar as propriedades físicas e químicas do solo. A intensidade da alteração depende do período de cultivo, do número de cultivos por ano e das espécies cultivadas.

Após três a quatro anos no sistema de plantio direto, as características do solo afetam o ambiente de cultivo da planta. Em geral, os solos neste sistema apresentam, na camada superficial maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total, quando comparado com o preparo convencional. Tal resultado é decorrente, sobretudo, da organização natural do solo quando não é mobilizado e, por outro lado, da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, principalmente em solos argilosos e com teores elevados de umidade (VIEIRA & MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985; CASTRO, 1989).

O plantio direto propicia maior acúmulo de matéria orgânica e fósforo próximo à superfície do solo, maior homogeneidade ao longo do perfil quanto à estrutura, com melhor desenvolvimento radicular do milho, maior infiltração e condutividade hidráulica, maior umidade no solo na fase inicial da cultura e maior retenção de água nas camadas superficiais (CASTRO, 1994; YUSUF et al., 1999). O aumento da concentração de material orgânico na camada superficial promove maior atividade biológica resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilização (agentes cimentantes) dos agregados. O efeito benéfico sobre essa agregação é o resultado da atividade conjunta dos microrganismos, da fauna e da vegetação, resultando em maior fertilidade do solo (SILVEIRA & STONE, 2003).

O sistema de plantio direto ainda traz mudanças no ambiente e na planta. Por não haver incorporação ao solo dos restos de culturas, permite a sobrevivência de muitos patógenos nos resíduos não decompostos de um ano para outro que oportunamente atacam a soja (YORINORI, 1977). Os fungos causadores de cancro da haste e de oídio,

por exemplo, multiplicam-se nas primeiras plantas infectadas e, posteriormente, durante o período de entressafra nos restos de culturas (EMBRAPA, 1999). Também, o crestamento bacteriano tem a incidência aumentada no sistema de plantio direto (BIANCHINI, 1981).

Ao contrário do que se observa em relação às melhorias no solo e economia nos gastos em fatores de produção, existe grande discrepância dos resultados em relação à produtividade final, comparando os dois sistemas de plantio. Em geral a produtividade final é bem próxima em relação aos sistemas de plantio direto e convencional, porém encontram-se produções ora maiores no sistema de plantio direto ora maiores no sistema convencional.

CARVALHO et al. (2004) conduziram experimentos no sul do Mato Grosso do Sul, comparando a produtividade de milho cultivado em sucessão a adubos verdes nos sistemas de plantio direto e de preparo convencional do solo. Observaram diferenças em massa seca, altura de planta e inserção de espiga, massa da espiga e de 100 grãos, mas que não foram suficientes para determinar diferença na produtividade de grãos no primeiro ano. No entanto, verificaram incremento de produção no sistema de plantio convencional apenas no segundo ano de experimentação. Os autores ainda observaram que mesmo em ano de ocorrência de veranico o sistema de plantio convencional propiciou maior produtividade.

Outros autores também encontraram rendimentos inferiores na cultura do milho quando cultivado sob sistema de plantio direto (HILL, 1990). Em estudo de 20 anos, ISMAIL et al. (1994) encontraram maior rendimento de grãos de milho sob preparo convencional nos primeiros 12 anos. Nos anos seguintes a produtividade no sistema de plantio direto foi maior, devido possivelmente à elevação da matéria orgânica no solo sob sistema de plantio direto.

SILVEIRA & STONE (2003) estudaram sistemas de preparo do solo e rotações de culturas e observaram que não houve interação significativa, sendo, portanto, discutidos os efeitos isolados dessas duas variáveis sobre a produtividade das culturas de milho, soja e trigo. A produtividade do milho sob preparo do solo com arado de aiveca foi, na média dos seis anos, entre 7 e 9% superior às obtidas no preparo com grade e no plantio direto, respectivamente. Os autores concluíram que esses resultados ocorreram devido a ausência de compactação subsuperficial (pé-de-grade), que frequentemente se verifica no preparo com grade aradora e da compactação superficial que ocorre no plantio direto.

Nesta mesma linha, alguns trabalhos sugeriram que no plantio convencional pode ocorrer formação de pé-de-grade, que prejudica o desenvolvimento de raízes mais profundas. No entanto, este tipo de resultado nem sempre é observado. Há trabalhos que ao contrário indicam maior desenvolvimento do sistema radicular sob plantio convencional (CARVALHO et al., 2004; QIN et al., 2005). O uso de arado de aivecas tornou-se uma alternativa ao arado de disco, por dificultar o processo de formação de camada compactada.

PAULETTI et al. (2003) não observaram diferenças significativas em rendimento de grãos de milho nos diferentes sistemas de manejo do solo e anos de cultivo. Os autores sugeriram que as áreas sob diferentes sistemas não apresentaram níveis de fertilidade diferentes. SECCO et al. (2005) observaram que as produtividades das culturas de soja e do milho não tiveram diferenças significativas entre os sistemas de plantio direto e o plantio convencional.

Na cultura de trigo, a diferença de produtividade é mais sensível, apresentando resultados mais favoráveis no sistema de plantio convencional. Tanto SILVEIRA & STONE (2003) quanto SECCO et al. (2005) constataram efeito significativo dos tratamentos de preparo do solo sobre a produtividade de trigo, sendo as menores produtividades obtidas no plantio direto. A cultura de trigo mostrou-se sensível ao estado estrutural do solo. Com a maior mobilização do sistema convencional, o solo passou a ter maior aeração e menor compactação, favorecendo o crescimento das raízes e propiciando condições mais adequadas à cultura e produtividades até 20% maiores.

Para CARVALHO et al. (2004), o preparo convencional do solo pode resultar em população de plantas superior ao sistema de plantio direto. Neste trabalho foi utilizada a mesma regulagem da semeadora nos dois sistemas de manejo do solo. No sistema de plantio direto, a maior densidade do solo na camada entre 0–0,1 m provavelmente dificultou a deposição das sementes na profundidade adequada, fazendo com que ficassem próximas à superfície e prejudicando a germinação e conseqüentemente reduzindo a população final. Apenas o sistema de preparo convencional sofreu efeito de ano agrícola, com população de plantas superior, evidenciando que a menor densidade do solo pode ter favorecido o estabelecimento da cultura.

CARVALHO et al. (2004) mostraram que o sistema de preparo convencional favoreceu o desenvolvimento vegetativo da planta de milho, proporcionou maior altura de plantas e alturas de inserção da espiga superiores a do sistema de plantio direto. Em relação à massa de espiga, número de grãos por espiga e massa de 100 grãos, o sistema

de plantio direto foi inferior ao sistema convencional. A maior mobilização de N no início do sistema de plantio direto e a decomposição mais lenta dos resíduos culturais, que ocorrem nesse sistema podem ter prejudicado a adequada nutrição da cultura e contribuído para os menores valores dos componentes da produção, observados no primeiro ano de cultivo. No entanto, o maior número de grãos por espiga e a maior massa de 100 grãos, obtidos no plantio convencional, resultaram em maior massa de espiga sem palha.

COSTA et al. (2003) estudaram a recuperação da planta de soja submetida a diferentes intensidades de desfolha, cultivada em sistema de plantio direto e sistema convencional. Os autores observaram que a capacidade de recuperação da planta de soja nos diferentes sistemas de plantio não apresentou diferença significativa, e as produtividades finais parecidas, evidenciando crescimentos parecidos das plantas em diferentes sistemas de plantio.

PEDERSEN & LAUER (2004a) estudaram rotação de cultura entre soja e milho nos Estados Unidos comparando plantio convencional e plantio direto. Segundo os autores, não foram encontradas diferenças nas variáveis estudadas (índice de área foliar, massa seca e umidade do solo). O plantio convencional da soja ocasionou maior umidade do solo, mas determinou valores menores em relação ao acúmulo de matéria seca, altura de plantas, além da produtividade final. O índice de área foliar apresentou diferenças entre os anos, sendo em alguns anos maior no plantio convencional e, em outros, maior no sistema de plantio direto. Em outro estudo, os autores verificaram que estes índices de crescimento da soja (índice de área foliar, taxa de crescimento e matéria seca) estão relacionados principalmente a fase de enchimento de grãos (R5 a R6) e que no sistema de plantio direto estes índices alcançaram menores valores em relação ao plantio convencional.

Outro aspecto observado na comparação de plantio direto e convencional é o chamado “crescimento compensatório”. Ou seja, plantas em sistema de plantio convencional apresentam melhor desenvolvimento inicial que as plantas em plantio direto, no entanto esse maior desenvolvimento não reflete em diferença na produtividade, uma vez que pode ocorrer um “crescimento compensatório” das plantas em plantio direto (YUSUF et al., 1999). Os autores observaram que o rendimento de grãos, a umidade do solo, o teor de proteína, e o índice do óleo eram similares para tratamentos em plantio direto e convencional. O teor de matéria seca da haste, da folha e total eram todos inicialmente entre 15 a 20% menores no plantio direto em relação ao

plântio convencional, mas a diferença diminuía até os estádios R5 ou R6 da soja, concluindo assim a existência de um “crescimento compensatório”. No início das colheitas de amostragens (estádio V2) a taxa de crescimento era aproximadamente 20% inferior no sistema de plântio direto em relação ao convencional, mas a diferença declinava até o estágio R2. Com os outros índices estudados acontecia o mesmo efeito ocasionando sempre uma vantagem inicial no sistema convencional, que acabava diminuindo ao longo do desenvolvimento da planta. Em relação ao índice de área foliar a vantagem ocorreu até o estágio R4, até o estágio de R5 para a taxa de assimilação líquida e até o estágio de R6 para a massa da folha. Isso evidencia a importância de se estudar os fatores que afetam o crescimento das plantas, para entender as diferenças ocorridas nas plantas em resposta ao sistema de cultivo (YUSUF et al., 1999).

URCHEI et al. (2000) observaram que o sistema de plântio direto propiciou maiores valores de fitomassa seca total, índice de área foliar, taxa de crescimento e taxa de assimilação líquida em feijoeiro irrigado. Entretanto a irrigação da área foi baseada em tensiômetros localizados nas faixas de plântio direto. Como já foi visto, o plântio direto propicia maior umidade do solo e menor evapotranspiração em relação ao plântio convencional. Devido a isso as faixas de plântio direto apresentaram menor déficit hídrico em relação ao convencional.

O crescimento e produção dos vegetais são dependentes da fotossíntese. Os organismos fotossintetizantes utilizam a energia solar para sintetizar compostos energéticos (ATP) e redutores (NADPH) que são utilizados para redução do CO_2 e H_2O em triose-fosfato (triose-P). A energia e massa armazenadas nessas moléculas são utilizadas para impulsionar processos metabólicos e desenvolvimento da planta (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A produção de fitomassa está relacionada diretamente com a quantidade de CO_2 fixada pela planta e a produção de grão também depende da forma com que os fotoassimilados são distribuídos para o crescimento dos grãos e para os outros órgãos da planta.

O acesso de CO_2 atmosférico nas células fotossintetizantes do mesófilo ocorre através da abertura estomática. Por essa mesma via, entretanto, ocorre a passagem do vapor de água do interior da cavidade sub-estomática para a atmosfera. Devido às diferenças nas constantes de difusão de CO_2 e de vapor de água no ar, as variações de condutância (gs) afetam de maneira diferente a transpiração (E) e a assimilação de CO_2 (A) na planta (MACHADO & LAGÔA, 1994). As condições propícias para a fixação

do carbono favorecem a abertura do estômato, enquanto condições propícias para a perda de água favorecem seu fechamento.

A condutância estomática é diretamente proporcional à abertura do poro estomático. A maior abertura que pode ocorrer no poro estomático, determina o limite máximo de entrada de um gás no mesófilo foliar. Em condições naturais, a limitação da fotossíntese ocorre freqüentemente devido ao fechamento estomático em condições de alta demanda atmosférica e/ou de altos valores de transpiração. Nessa situação, os estômatos têm papel essencial no balanço entre a entrada de CO₂ e saída de vapor d'água no mesófilo foliar, regulando tanto a atividade fotossintética como o consumo de água pelas plantas. A razão entre estes fluxos define a eficiência do uso de água (BRAKKE & ALLEN JUNIOR, 1995).

A capacidade fotossintética altera-se durante o curso de um dia como também no curso do desenvolvimento de uma cultura (RAWSON et al., 1978; MACHADO et al., 1994; 1996; RIBEIRO et al., 2004, 2006; ERISMANN et al., 2006). A variação diária está relacionada à variação das condições do ambiente, isto é, variação da radiação solar, temperatura e déficit de pressão de vapor do ar. Cada um destes fatores do ambiente afeta a resposta da assimilação de CO₂, quer afetando processos metabólicos ou processos difusivos. A condutância estomática controla a difusão de CO₂ e as respostas do estômato são controladas por estímulos internos e externos (FARQUHAR & SHARKEY, 1982).

Como os diferentes sistemas de plantio causam variações na temperatura, teor de umidade e compactação do solo, os mesmos podem também afetar a assimilação de CO₂. Dentre os fatores ambientais, a ocorrência de deficiência hídrica afeta a assimilação de CO₂ de forma significativa e proporcional à intensidade de estresse. De fato, COX et al. (1999) observaram que o sistema de plantio direto acarretou em aumento da resistência mecânica para o crescimento das raízes, causando decréscimo na absorção de água e da assimilação de CO₂.

A variação da assimilação de CO₂ durante o ciclo de uma cultura está relacionada a vários fatores, tanto ambientais, quanto aos relacionados ao estágio de desenvolvimento da cultura. Durante o começo da fase de crescimento vegetativo, a capacidade fotossintética assume valores baixos, visto que as folhas ainda estão em processo de desenvolvimento e crescem, no início, às expensas de reservas. A folha jovem e totalmente expandida apresenta a mais alta capacidade fotossintética e a capacidade tende a ser nula a medida que a folha entra em senescência (LARCHER,

2004). Por outro lado, as relações fonte-dreno também afetam a assimilação de CO₂. Nas plantas produtoras de grãos, a alta demanda por fotoassimilados estimula a fotossíntese nas fases de florescimento e de enchimento de grãos (RAWSON et al., 1978; MACHADO et al, 1994, 1996). Visto que a acumulação de carbono pode ser afetada por variações nas condições ambientais e condições fisiológicas relacionadas à idade da planta, é interessante que se estude este processo tanto durante o curso de um dia como em vários estádios do desenvolvimento da planta.

3 MATERIAL E MÉTODO

Os experimentos foram realizados no Centro Experimental Central do Instituto Agrônômico, em Campinas, SP (22° 54' S, 47° 03' O), em uma área de 40 x 60 m com leve declive e 674 m de altitude. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), o solo da área é um Latossolo Vermelho Distroférico típico. O clima, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, com estação quente e úmida entre outubro e março, temperatura média de 23 °C e precipitação total de 1060 mm. A estação seca ocorre entre abril e setembro, com temperatura média de 20 °C e precipitação total de 325 mm (SETZER, 1966).

Foram utilizadas neste trabalho três espécies: triticale IAC-3 (*X Triticosecale* Wittmack), soja IAC-23 (*Glycine max* (L.) Merrill) e milho híbrido IAC-8333 (*Zea mays* L.). Inicialmente foi semeado o triticale em área total (40 x 60 m) e na seqüência, após a colheita, o mesmo campo experimental foi dividido e cultivado com soja e milho.

O triticale foi semeado, no espaçamento de 0,17 m entre linhas em 02/07/2006, em quatro faixas alternadas de 10 x 60 m, na densidade de 200 sementes aptas por metro quadrado. Em duas das faixas o solo foi preparado com uma aração (aivecas) e duas gradagens, sendo usada uma grade pesada e posteriormente uma grade niveladora. Nas outras duas faixas em que foi realizado o plantio direto, não houve movimentação do solo. O triticale foi colhido em 04/11/2006 e em seguida os restos culturais da área total foram roçados. O triticale foi plantado com o objetivo de formar uma camada de fitomassa sobre o solo (palhada). Após o triticale, na mesma área experimental, foram realizados dois experimentos simultâneos, sendo um com milho e outro com soja. Cada uma das espécies também foi plantada em duas faixas nos seguintes tratamentos: 1) no sistema de plantio direto (PD) e outro 2) no sistema de plantio convencional (PC). As parcelas utilizadas para o PD com soja e milho foram as mesmas utilizadas no plantio direto de triticale. O mesmo critério foi utilizado para o PC. No Anexo 1 é apresentado um esquema do campo experimental.

O solo das parcelas destinadas ao PC de soja e milho foi preparado da mesma forma descrita para o triticale. Na área total foi aplicado herbicida glifosato na dosagem 2 L ha⁻¹ de Roundup (p.c.) uma semana antes da semeadura.

As características químicas do solo foram avaliadas em amostras coletadas na camada de 0-20 cm e, com base nas análises de solo, foram efetuadas as adubações seguindo recomendações de RAIJ et al. (2001). O milho foi adubado com 236 kg ha⁻¹ do formulado (N-P-K) 08-28-16 e a soja com 300 kg do formulado 04-20-20.

A semeadura da soja foi efetuada no espaçamento de 0,45 m entre linhas, com 24 plantas por metro linear atingindo uma população de 450000 plantas ha⁻¹. No caso do milho, o espaçamento foi de 0,90 m com 7 sementes por metro linear atingindo uma população de 65000 plantas ha⁻¹. Nas duas parcelas, tanto de PD como PC, a semeadura foi efetuada com semeadora/adubadora (Semeato PS-M) própria para plantio direto. A regulagem usada na semeadora/adubadora foi a mesma nos dois tratamentos. Logo a área de PC, onde o solo foi revolvido e teve sua estrutura desagregada, o peso da máquina fez com que a semente ficasse um pouco mais profunda, porém, a emergência das plantas ocorreu na mesma data, isto é ao redor de sete dias após a semeadura.

A soja foi semeada no dia 12/12/2006 e o milho no dia 13/12/2006. O plantio teve atraso devido à colheita tardia do triticales e à baixa disponibilidade de água no solo em novembro (Figura 1).

Foram realizados como tratos culturais na soja uma aplicação de herbicida pré-emergente pendimetalin, sendo 3,0 L ha⁻¹ do produto comercial Herbadox no dia 13/12/2006. No dia 25 de maio, fez-se a aplicação em pós-emergência da mistura dos herbicidas fluazifop-butil + fomesafen, na formulação Fusiflex (p.c.), na dose de 2,0 L/ha. No milho foi aplicado no dia 25/01/2007 a mistura dos herbicidas pós-emergentes nicosulfuron, Sanson (p.c.) e 2,4-D, 2,4-D Fluid (p.c.) nas dosagens de 75 mL ha⁻¹ e 70 mL ha⁻¹ respectivamente.

O milho e a soja plantados foram conduzidos como dois experimentos distintos, em áreas contíguas. O delineamento para cada experimento foi em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas no tempo, com 6 repetições. Nas parcelas foram considerados os 2 tratamentos: plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada parcela foi dividida em 10 subparcelas, nas quais foram efetuadas as coletas destrutivas periódicas de plantas para análise quantitativa do crescimento, descrita à frente. Cada parcela media 10 m de largura por 30 m de comprimento, e cada subparcela tinha 10 m x 3 m. Os dados primários (massa seca, massa dos grãos e área foliar) foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, quando detectada diferença significativa entre os tratamentos.

Foram coletadas ainda em duas datas durante o ciclo das culturas folhas para realização de análise química foliar, comparando os dois sistemas de plantio, sendo uma realizada em 24/01/2007 tanto no milho como na soja, na fase de crescimento vegetativo. A segunda coleta de folhas foi realizada no dia 21/02/2007 entre as fases de florescimento e enchimento de grão. As folhas coletadas sempre foram as mais recentes com o desenvolvimento pleno. As análises contemplaram apenas macronutrientes, sendo quantificados: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Nas fases de crescimento vegetativo, florescimento e enchimento de grãos foram realizadas medidas de trocas gasosas (assimilação de CO₂, transpiração e condutância estomática) nas duas culturas, conforme descrito a seguir, no item 3.2.

No final do experimento foi realizada colheita de amostra da área para estimativa de produtividade. Foram cortadas todas as plantas em 2 linhas de 5 metros de cada repetição, tanto para milho, quanto para a soja. Os grãos foram separados de vagens e espigas e pesados.

3.1 Análise quantitativa do crescimento

Para a avaliação da fitomassa seca e da área foliar foram realizadas 8 e 7 coletas, respectivamente para o milho e soja, uma em cada subparcela. Cada coleta constou do corte, na altura do colo, da parte aérea de todas as plantas contidas em 1,0 m linear, tanto para a soja como no milho. As coletas destrutivas foram iniciadas respectivamente 15 e 30 dias após a emergência (DAE), para a soja e milho, sendo repetidas em intervalos de 15 dias até a maturação fisiológica de ambas as culturas. Os valores de cada coleta foram convertidos para representar 1 m² de terreno.

As plantas depois de colhidas foram levadas ao laboratório e separadas em folha, haste e vagem (após o florescimento), no caso da soja e em folha, colmo e espiga no caso do milho, para avaliação da fitomassa seca das diversas partes da planta separadamente. A fitomassa seca foi medida após secagem em estufa com circulação de ar forçada por 7 dias a 70°C. Antes da secagem mediu-se a área individual de cada folha da amostra utilizando-se um integrador de área, modelo Li-3100 (Licor Inc., Lincoln-EUA).

Em análise de crescimento de comunidades vegetais é comum utilizar a unidade de área do terreno como base para expressar a fitomassa seca e a área foliar. Para descrever o acúmulo de fitomassa seca e a área foliar por metro quadrado podem-se

utilizar funções matemáticas denominadas funções de crescimento (RICHARDS, 1969). Neste trabalho optou-se por usar a função de Boltzmann para descrever o acúmulo de fitomassa total (Y) e de espigas (E) e a função de Gauss para o índice de área foliar (IAF) em milho. Os coeficientes de ajuste de cada função para o milho são apresentados nos Anexos 2 e 3. Em soja utilizou-se a função de Gauss para descrever o acúmulo de fitomassa seca total e do IAF e a de Boltzmann, para vagens. Os coeficientes de cada função ajustada para soja são apresentados nos anexos 4 e 5. Os ajustes de curvas foram obtidos utilizando-se o programa Origin 7.5 (Microcal Software, Inc.-USA).

Com a manipulação das funções ajustadas obtiveram-se diversos índices fisiológicos, como os descritos abaixo (BEADLE, 1993):

a) Taxa de crescimento da cultura (TCC) que é dada por:

$$TCC = dY/dt \quad [g \text{ m}^{-2} \text{ de terreno d}^{-1}]$$

onde dY/dt indica a derivada do acúmulo de fitomassa seca (Y) pelo tempo.

b) Taxa de crescimento das espigas (TCE) para milho que é dada por:

$$TCE = dE/dt \quad [g \text{ m}^{-2} \text{ de terreno d}^{-1}]$$

onde dE/dt indica a derivada do acúmulo de fitomassa seca nas espigas (E) pelo tempo.

c) Taxa de crescimento das vagens (TCV) para soja dada por:

$$TCV = dV/dt \quad [g \text{ m}^{-2} \text{ de terreno d}^{-1}]$$

onde dV/dt indica a derivada do acúmulo de fitomassa seca nas vagens (V) pelo tempo.

d) Taxa de crescimento relativo (TCR), que é obtida dividindo a TCC pela fitomassa total:

$$TCR = (1/Y \cdot dY/dt) \quad [g \text{ g}^{-1} \text{ de fitomassa seca d}^{-1}]$$

e) Taxa de assimilação líquida (TAL), que é obtida pela relação entre a TCC e o IAF :

$$TAL = (1/IAF \cdot dY/dt) \quad [g \text{ m}^{-2} \text{ área foliar d}^{-1}]$$

f) Razão de área foliar (RAF), que é dada pelo quociente das funções IAF e Y

$$RAF = (IAF/Y) \quad [m^2 \text{ de área foliar g}^{-1} \text{ fitomassa fresca}]$$

g) Índice de área foliar (IAF) que é a área foliar em relação a área de terreno (*S*) ocupada, dada pela equação (WATSON, 1952),

$$IAF = AF/S \quad [m^2 m^{-2}]$$

onde *AF* é a área das folhas em m² contidas em 1 m² de terreno ocupado pela cultura.

3.2 Trocas gasosas

As medidas de trocas gasosas foram realizadas em três ocasiões: em 24/01/2007 nas duas culturas, contemplando a fase de crescimento vegetativo; em 07/02/2007 na fase de florescimento e em 08/03/2007, na fase de enchimento de grão.

As variáveis assimilação líquida de CO₂ (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*g_s*) e a diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar (*DPV_{folha-ar}*), foram medidas com o equipamento portátil de fotossíntese modelo LI-6400 (Licor Inc. Lincoln, NE), que estima a concentração de CO₂ e de vapor de água, por atenuação da radiação infravermelha. O equipamento ainda mede, e permite controlar, o microclima e a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (*DFFFA*) dentro da câmara de medida, que abrange uma área foliar de 6 cm² (2x3 cm).

As medidas, tanto em milho quanto em soja, foram executadas sob condições naturais em dias limpos, no período entre 7:00 e 17:00 h em intervalos de aproximadamente 2 horas, com cinco repetições. Em milho na 1^a ocasião de medidas utilizou-se a folha mais desenvolvida e nas 2^a e 3^a medidas utilizou-se a folha bandeira. Em soja utilizaram-se folhas maduras recém expandidas. A fim de homogeneizar as repetições, a *DFFFA* foi fornecida por um diodo emissor de luz acoplado à câmara de fotossíntese, no valor igual ao medido pelo quantômetro do equipamento em cada horário de medida.

O balanço hídrico climatológico decendial para o período entre novembro de 2006 e junho de 2007 (*CAD*= 75 mm) foi calculado com a utilização da planilha eletrônica desenvolvida por ROLIM et al. (1998), utilizando-se dados meteorológicos fornecidos pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO, <http://ciiagro.iac.sp.gov.br>), do Instituto Agrônomo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ano agrícola de 2006/2007 apresentou altas temperaturas e chuvas em quantidade elevada, porém ocorreu déficit hídrico nos dois últimos decêndios do mês de fevereiro (Figura 1), época em que as culturas de milho e de soja se encontravam na fase de pós-florescimento e início de enchimento de grãos, respectivamente. Posteriormente em março e abril também ocorreu déficit hídrico, períodos estes coincidentes com o final de enchimento de grão na soja e no milho, respectivamente.

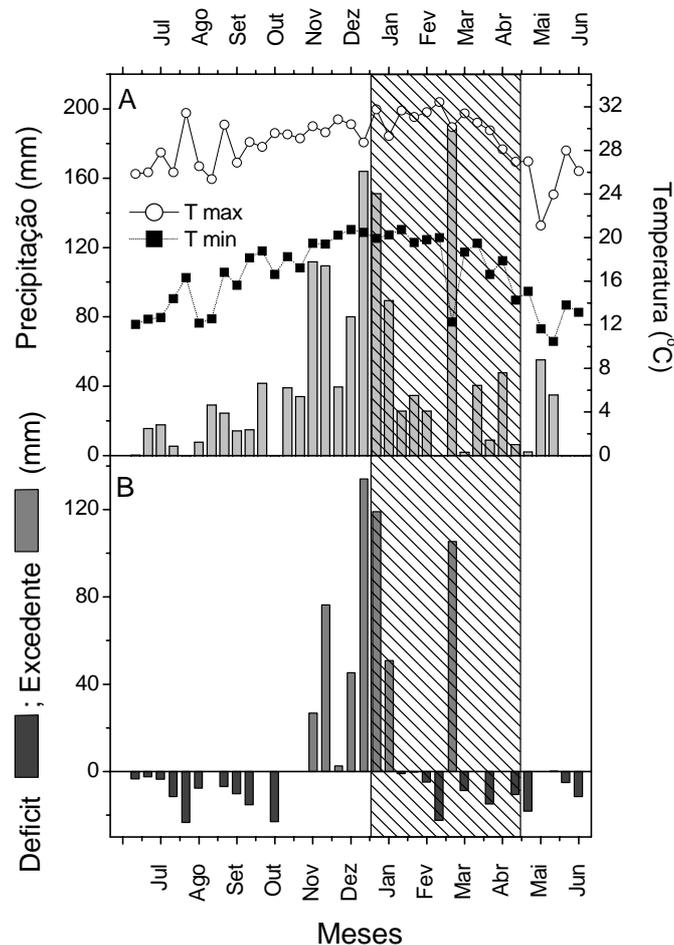


Figura 1 – Temperatura do ar e precipitação (A) e extrato do balanço hídrico de 2006/2007 (B) calculado em Campinas (SP) segundo Thornthwaite e Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por ROLIM et al. (1998). Capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. Área hachurada indica o período experimental (dezembro de 2006 a abril de 2007). Os cálculos foram realizados a partir de dados obtidos em estação meteorológica localizada a 500 m do campo experimental (CIIAGRO/IAC).

Ainda em fevereiro foram registradas temperaturas máximas que ultrapassaram 30°C e mínimas próximas a 20°C. Considerando que o clima local é classificado como Cwa, segundo Köppen (ROLIM et al., 2007), com estação quente e úmida entre outubro e março. A temperatura média nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2007 ficou em 25,1°C, 25,7°C e 24,2°C, respectivamente, ou seja, ao redor de 2°C acima da média normal, segundo o CIIAGRO/IAC. Esse fator, aliado a deficiência hídrica pode ter afetado a plena expressão do enchimento de grãos e também das trocas gasosas.

A cultura do milho apresentou 50% de pendramento ao redor de 50 DAE, começando a fase de formação de espiga e crescimento de grãos próximo aos 60 DAE, ocorrido na primeira quinzena de fevereiro. A cultura de soja apresentou 50% de florescimento entre 35 e 40 DAE e início da fase de enchimento de grãos aos 45 DAE, ocorrido no início de fevereiro.

4.1 Triticale

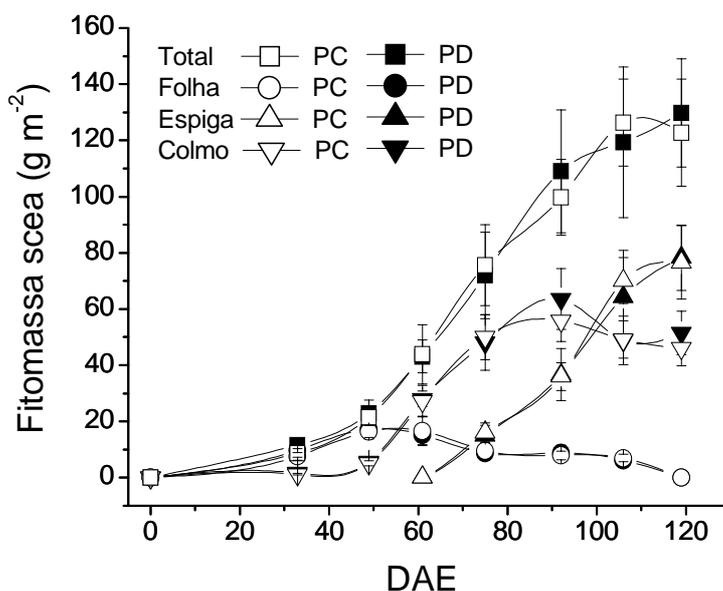


Figura 2 – Acúmulo de fitomassa seca total, de panículas, de folha e colmo em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de triticale IAC-3 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições e linhas verticais o desvio padrão.

O triticale foi plantado com o objetivo de formar uma cobertura morta sobre o terreno de plantio e de propiciar por mais de um ciclo cultural o preparo de solo diferenciado. Praticamente desde a semeadura (02/07/2006) até a colheita (04/11/2006) ocorreu déficit hídrico no solo (Figura 1).

A figura 2 mostra que em ambos os sistemas de cultivo o acúmulo de fitomassa seca nos diferentes órgãos da planta foi igual. Assim, além da diferença dos tipos de preparo do solo, as demais condições para o plantio de soja e milho foram semelhantes, inclusive a quantidade de ‘palhada’ que permaneceu no campo após a colheita do triticale.

É observado que a partir dos 50 e 90 DAE, as fitomassa seca de folhas e colmo, respectivamente entram em declínio, enquanto a fitomassa seca de panícula se eleva, evidenciando o direcionamento de fotoassimilados para os grãos.

4.2 Milho

Os acúmulos de fitomassa total e de espigas foram ajustados à equação de Boltzmann (Figura 3A e 3B), enquanto o índice de área foliar foi ajustado à função de Gauss (Figura 4 C). Os coeficientes das equações de ajuste estão apresentados nos anexos 2 e 3.

De um modo geral, os padrões de acúmulo de fitomassa seca total e das espigas (figura 3A) foram semelhantes aos relatados na literatura para milho (MACHADO et al., 1982, 1985; COX et al., 1990).

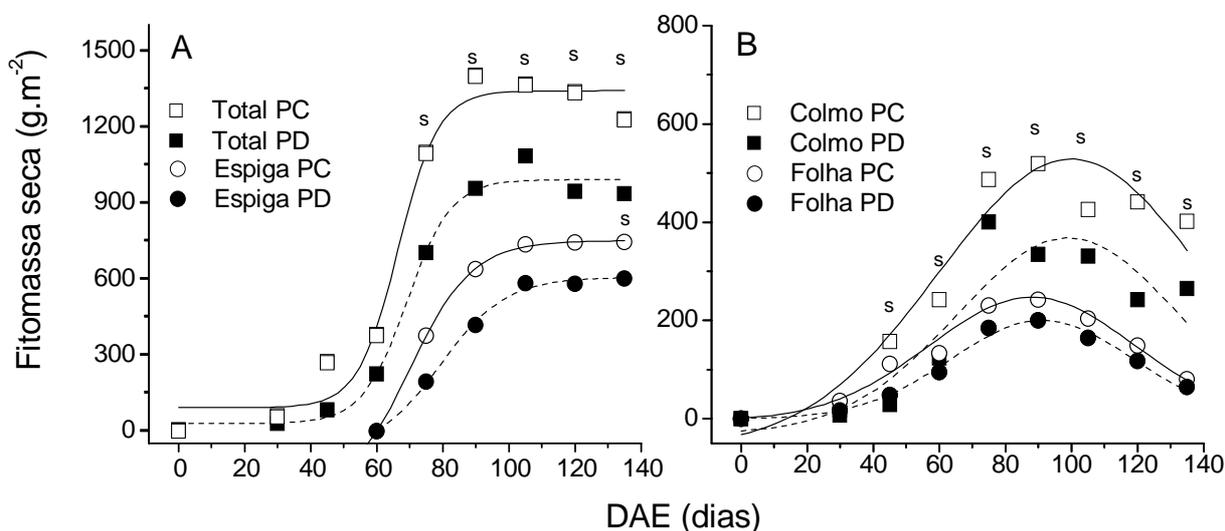


Figura 3 – Acúmulo de fitomassa seca total e de espigas (A) e fitomassa seca de folha e colmo (B) em função do número de dias após a emergência (DAE), em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Letra s indica diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de plantio pelo teste Tukey ao nível de 5% no ponto indicado. Cada símbolo representa a média de seis repetições.

A cultura apresentou valor máximo de fitomassa seca das folhas por volta de 90 DAE nos dois sistemas de plantio, sendo aparentemente maior no sistema PC em relação ao PD (Figura 3B). A curva se distancia entre os tratamentos a partir da 4ª coleta, porém sem apresentar diferença significativa. SINGER et al. (2007) encontraram em milho valor maior de fitomassa de folhas em PC, a partir dos 100 DAE.

No caso de espigas, o crescimento ocorreu após o florescimento, aumentando rapidamente até um máximo aos 135 DAE. A partir de 75 DAE, como visto na curva de fitomassa total, a curva de fitomassa da espiga se distancia em PC, em relação à PD porém sem resultado estatístico (Figura 3A). Outros autores também observaram maior crescimento de espigas e/ou produção de grãos em PC (PAULETTI et al., 2003; CARVALHO et al., 2004), porém não em todos os anos de experimentação. No entanto, nem sempre os resultados relativos à produtividade são semelhantes. Há alguns relatos em que a maior produtividade ocorreu em PD (URCHEI et al., 2000; PEDERSEN & LAUER, 2003).

A fitomassa seca de colmo apresentou diferença significativa, sendo que o acúmulo foi 37,3% maior em PC, no ponto de acúmulo máximo, isto é ao redor do 100º DAE. A diferença de acúmulo de fitomassa seca em colmos surgiu na segunda coleta, aos 45 DAE, e continuou até o final do ciclo da cultura. Os valores máximos obtidos foram de 527,0 g m⁻² no PC e 367,8 g m⁻² no PD. Valores da mesma ordem de grandeza foram obtidos por MACHADO et al. (1985) para a cultura do milho.

A somatória das fitomassas secas das diferentes partes da planta resultou na fitomassa total da planta, revelando maior acúmulo no sistema de PC, principalmente a partir de 60 DAE, época final de florescimento da cultura e início da formação de espigas. No ponto de máximo acúmulo, a fitomassa no sistema de PC foi 26,3% maior em relação à PD. Maior acúmulo de fitomassa em PC também foi observado em milho por SINGER et al. (2007), que observaram que em anos que ocorrem “veranicos” com conseqüente deficiência hídrica a cultura no sistema PC apresentou melhor desempenho. Há outros relatos de maiores valores de fitomassa seca e produção de grãos no sistema de PC em ano de ocorrência de deficiência hídrica (CENTURION & DEMATTÊ, 1985, CARVALHO et al., 2004). Estes autores sugeriram um favorecimento do sistema PC no estabelecimento da cultura, talvez relacionado ao sistema radicular. A mobilização do solo diminuindo a densidade na camada superficial pode favorecer o crescimento inicial das raízes. Foi verificado ainda que com um maior

crescimento de raiz, a planta pode apresentar maior tolerância à estiagem (QIN et al., 2005).

No entanto, há controvérsias em relação a estes resultados. Alguns autores também citam vantagens do crescimento de milho em cultivos com PD devido à melhor conservação da água (COX et al., 1990; PEDERSEN & LAUER, 2003; CARVALHO et al., 2004). Portanto, este é um ponto que deve ser mais bem esclarecido e estudado. Possivelmente resultados conflitantes poderão ser esclarecidos com estudos mais detalhados do crescimento aéreo e radicular da planta em conjunto com a caracterização do solo.

O maior valor de fitomassa seca total foi verificado aos 90 DAE no PC e aos 105 DAE no PD. Após estas datas, nos dois sistemas o acúmulo de fitomassa seca total praticamente cessou em função da queda de folhas e, principalmente devido à perda de massa nos colmos, apesar de haver crescimento significativo das espigas (Figura 3). A queda na fitomassa seca de folha ocorreu devido ao início da senescência. MACHADO et al. (1982) também observaram queda na massa dos colmos e demonstraram que ela foi associada à transferência de carboidratos para outros órgãos em crescimento, especificamente as espigas. No caso presente o mesmo deve ter ocorrido, como sugerem os resultados da figura 5, descrita à frente.

A figura 4 mostra as curvas de TCC, IAF e TAL da cultura do milho. Poucos estudos avaliaram índices como os apontados acima, assim como TCR, TCG e RAF quando comparados sistemas de plantio.

Em ambos os sistemas de plantio, inicialmente TCC foi baixa com posterior aumento até um máximo pouco após o florescimento (Figura 4A). A maior TCC ficou em $34,1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Na sexta coleta, por volta de 110 DAE as TCCs em ambos os sistemas ficaram negativas, devido à queda da fitomassa seca de folhas e colmo. No final do ciclo o IAF cai devido à queda de folhas velhas, alterando a TCC. MACHADO et al. (1985) observaram valores parecidos de TCC e IAF em diferentes híbridos.

O desenvolvimento do IAF foi descrito pela função de Gauss, cujos coeficientes da equação são apresentados no Anexo 3. O IAF apresentou diferenças significativas entre os sistemas de plantio a partir da segunda coleta realizada com 45 DAE (Figura 4C).

A TCC é definida pelo produto do IAF pela TAL, sendo, portanto o IAF interpretado como coeficiente entre TCC e TAL (BEADLE, 1993). Portanto, as diferenças observadas em TCC entre os sistemas de plantio foram devidas principalmente às diferenças no IAF. O IAF máximo foi verificado entre 60 e 75 DAE

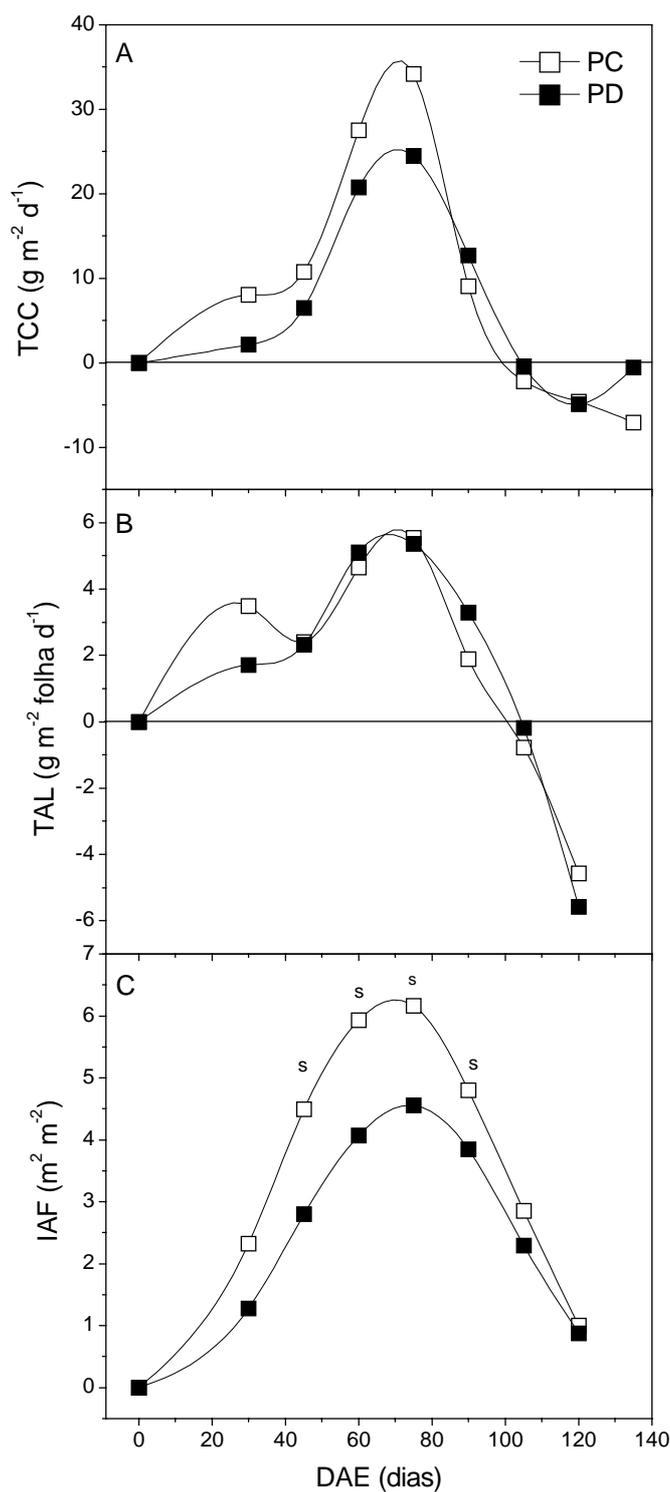


Figura 4 – Taxa de crescimento da cultura, TCC, (A), taxa de assimilação líquida, TAL, (B) e índice de área foliar, IAF, (C) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Letra s indica diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de plantio pelo teste Tukey ao nível de 5% no ponto indicado. Cada símbolo representa a média de seis repetições.

com valores de 6,2 no PC e 4,7 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ no PD. Outros autores também verificaram que a variação de TCC foi relacionada mais com a variação de IAF do que em TAL em milho (SILVA et al., 1974; MACHADO et al., 1982, 1985). Nesta fase de enchimento de grãos (80 DAE), as folhas correspondiam a 61,5 % do total de fitomassa da parte aérea da planta.

Os maiores valores de TAL foram verificados entre a quarta e quinta coleta, entre 60 e 80 DAE, correspondendo ao final do florescimento e início de enchimento de grãos. Essa resposta mostra que este índice, nos dois sistemas de plantio pode ter respondido de forma positiva ao aumento da demanda por fotoassimilados pelos órgãos reprodutivos (MACHADO et al., 1982, 1985, 1990). Após o florescimento e com o início da formação de espigas a TAL reduziu. Nota-se, entretanto que no PD, o índice teve uma queda mais acentuada no final do ciclo (Figura 4B).

A TCC aumentou rapidamente até ao redor dos 80 DAE, decaindo posteriormente, por ocasião do desenvolvimento das espigas nos dois tratamentos (Figura 5). No início, logo após o florescimento, a TCE apresentou valores baixos aumentando até um máximo também ao redor dos 80 DAE, para depois decair no sentido do final do ciclo. Interessante observar que após os 80 DAE a TCE passou a ser maior que TCC, ou seja, parte da planta (espigas) cresceu mais do que o todo. Com a diminuição no crescimento estrutural da planta a TCE foi maior que a TCC, podendo ser explicado por uma possível translocação de fotoassimilados para as espigas, previamente acumulados nos colmos (Figura 3B). Em gramíneas, este tipo de resposta em que há translocação de carboidratos e de nitrogênio previamente acumulados em colmos e em folhas para o crescimento de espigas foi relatado (MACHADO et al., 1985, 1994; SILVEIRA & MACHADO, 1990).

Comparando os sistemas de plantio, a TCE apresentou diferença entre 85 e 100 DAE, quando o PC apresentou TCE máxima de 25,2 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ e 13,1 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ no PD, acarretando, no final, maior produção em PC.

A comparação entre RAF e TCR nos dois sistemas de plantio para a cultura do milho é apresentada na figura 6. A TCR representa um índice de eficiência de conversão de matéria seca por unidade de matéria seca já existente na planta. Como a RAF é o quociente entre a TCR e a TAL, logo está relacionada com a conversão de matéria seca e com a eficiência de assimilação de fotoassimilados. Em ambos os sistemas de plantio, a TCR foi elevada no início da cultura, decaindo até a maturação devido ao aumento da fitomassa seca total em relação ao IAF. Este resultado é esperado visto que a RAF

diminuiu, ou seja, o sistema fotossintético diminuiu relativamente à fitomassa total, implicando em aumento mais acentuado da parte da planta que somente consome fotoassimilados, por exemplo, no processo respiratório. Até antes dos 60 DAE, a TCR no PD foi maior que no PC, exatamente porque a RAF também foi maior em PD.

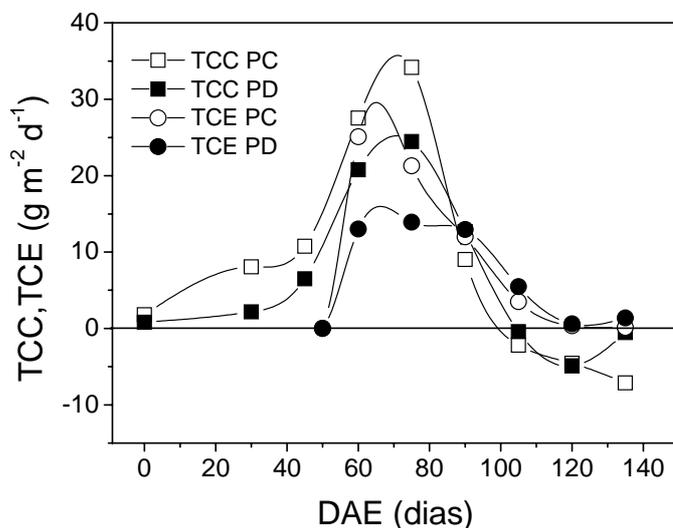


Figura 5 – Taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa de crescimento de espiga (TCE) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições.

Os resultados observados em relação ao milho mostraram que a produção de fitomassa seca total e de espigas e o IAF foram favoráveis no sistema de PC. Dados da literatura concordam com os observados neste estudo, porém estes resultados não são absolutos. Há também alguns artigos em que se observaram maior produção no sistema PD (PEDERSEN & LAUER, 2004b; CARVALHO et al., 2004).

Solos no sistema de PD tendem a apresentar menor temperatura, maior umidade e maior densidade comparado com solos do sistema de PC (CARNELL, 1985; COX et al., 1990). Estas características do solo podem afetar o crescimento das raízes e da parte aérea, acúmulo de nutrientes, assimilação de CO₂ e produtividade das plantas. Por um lado alguns autores sugerem que na ocorrência de deficiência hídrica a produção de grãos pode ser comparativamente maior depois de repetidos anos de cultivo no sistema PD em relação ao PC, devido à maior disponibilidade de água em PD (JOHNSON et al., 1984; AL-DARBY & LOWERY, 1986; COX et al., 1990). Por outro lado, cultivos contínuos em PD podem aumentar a resistência mecânica do solo (BAUDER et al.,

1981; COX et al.,1990; QIN et al., 2005) retardando o crescimento das raízes no início da estação de crescimento, conforme observou GRIFFITH et al. (1988). Em anos secos é possível, conforme o tipo de solo (mais argiloso), que o menor crescimento das raízes cause queda na produção de fitomassa final.

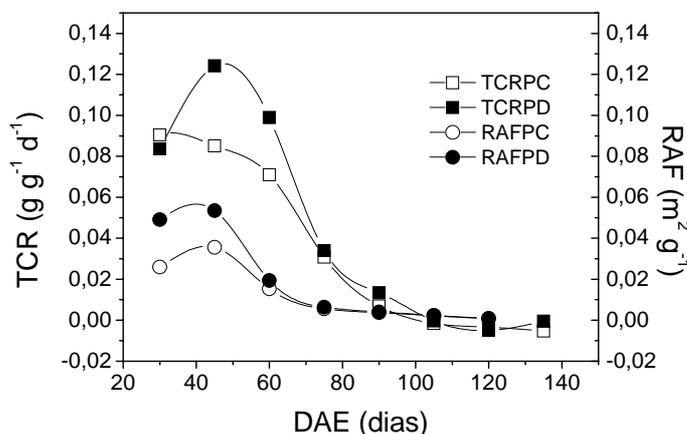


Figura 6 – Taxa de crescimento relativo (TCR) e razão de área foliar (RAF) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições.

Em ano sem estresse hídrico, COX et al. (1990) mediu a assimilação de CO₂ (A) praticamente por todo o ciclo do milho e observou somente em duas datas (51 e 61 DAE) que A foi maior no PC em relação ao PD, porém, não pode obter nenhuma evidência que explicasse esta ocorrência. Desta forma, também se pode considerar que não foi observada diferença de resposta de A ao tipo de plantio ou manejo, no entanto, a produção de fitomassa seca total e de espigas foram consistentemente maiores no PC. Por outro lado, em ano com estresse hídrico e baixas temperaturas, COX et al. (1990) observaram que no sistema PC ocorreu menor taxa de absorção de água, bem como menor resistência mecânica à penetração de raízes. Isto indicou que as raízes poderiam desenvolver-se mais rapidamente em PC. Tal circunstância pode levar ao melhor desempenho de PC em situação de estresse hídrico. COX et al. (1990) demonstraram que A foi maior em PC nos períodos menos favoráveis em relação à disponibilidade hídrica. Nos períodos sem estresse, A foi semelhante nos dois sistemas de cultivo. Também, neste caso houve maior acúmulo de fitomassa no sistema de PC, porém de forma mais consistente em relação ao ano sem deficiência hídrica.

Desta forma, o sucesso de cada sistema de plantio pode estar relacionado às condições ambientais durante o cultivo e do tipo de solo (GRIFFITH et al., 1988). No

presente caso, o acúmulo de fitomassa da planta de milho foi maior no PC. Isto ocorreu, possivelmente, devido ao maior desenvolvimento do IAF (Figura 4) que propiciou uma pequena alteração na curva de TCC, visto que TAL não foi significativamente afetada pelo sistema de plantio. Talvez o maior desenvolvimento do IAF possa estar relacionado com o crescimento facilitado das raízes em PC, que propiciaria maior absorção de água e de nutrientes. A este respeito, QIN et al. (2005) observaram maior crescimento do sistema radicular em plantio cujo campo foi revolvido com arado de discos e em solo argiloso. No entanto, no caso presente não temos evidências de que ocorreu maior absorção de água e nutrientes em PC. Primeiro porque o teor de nutrientes (Anexo 6) foi semelhante entre os dois sistemas de plantio e segundo porque a eficiência do uso de água (Figura 16), que será tratada à frente, também não diferiu entre os dois sistemas de plantio.

A produção de grãos de milho em PC foi 32,2% maior (Tabela 1), acompanhando as diferenças observadas na fitomassa seca total, de colmo e de espigas (Figura 3). A produtividade do milho ficou em 8167 kg ha⁻¹ no PC e 6180 kg ha⁻¹ no PD. Como discutido anteriormente, a diferença de fitomassa seca total foi de mais de 26 % no PC em relação ao PD. Resultado semelhante foi verificado por CARVALHO et al. (2004), sendo atribuído ao déficit hídrico e as altas temperaturas verificadas durante o ciclo de cultivo. No caso do presente estudo, ocorreu ao longo do cultivo condição semelhante, proporcionando, além de maior acúmulo de fitomassa seca, aumento no IAF.

Tabela 1 – Produção de grãos de milho híbrido IAC-8333 e de soja IAC-23 cultivados em sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC).

Tratamento	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	Soja	Milho
PC	2818,6 a*	8198,6 b
PD	2523,8 a	6139,1 a

* Letras iguais, os resultados não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

4.3 Soja

O acúmulo de fitomassa total foi descrito pela função de Gauss e de fitomassa de vagem pela de Boltzmann, cujos coeficientes de ajustes são apresentados nos anexos 4 e 5.

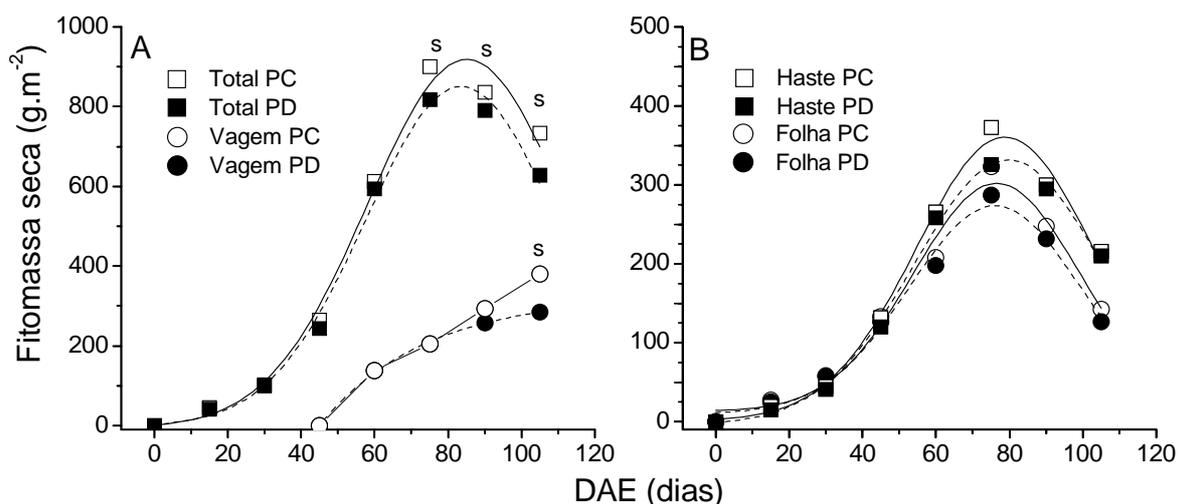


Figura 7 – Acúmulo de fitomassa seca total e de vagem (A) e fitomassa seca de folha e haste (B) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistemas de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Letra s indica diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de plantio pelo teste Tukey ao nível de 5% no ponto indicado. Cada símbolo representa a média de seis repetições.

As fitomassas secas de folhas e hastes (Figura 7B) apresentaram padrão de crescimento semelhante entre sistemas de plantio: o acúmulo de fitomassa foi baixo no início da cultura, aumentando até um acúmulo máximo por volta de 80 DAE, fase de pleno enchimento de grãos, decaindo em seguida até a maturação fisiológica da soja. Os valores máximos de fitomassa seca de haste foram em 374 g m⁻² para PC e 325 g m⁻² no PD. Os valores de fitomassa seca de folha não apresentaram diferenças significativas e os valores máximos foram 302 g m⁻² e 274 g m⁻² para PC e PD, respectivamente. PEDERSEN & LAUER (2004a) descreveram valores próximos, tanto para haste quanto para folha e não observaram resultados diferentes, em relação ao PD e PC. Estes autores observaram diferenças em valores de fitomassa seca de haste e folhas próximos aos 60 DAE. Já YUSUF et al. (1999) descreveram um maior crescimento inicial no PC, mas

houve crescimento compensatório maior em PD, e as fitomassas ao final do ciclo foram semelhantes em ambos os sistemas.

O acúmulo de fitomassa seca de vagem (Figura 7A), ao longo do ciclo foi semelhante entre os tratamentos, apresentando, no entanto, diferença após 90 DAE, quando o PC superou o PD em 33% com valores máximos de $380,4 \text{ g m}^{-2}$ e $285,20 \text{ g m}^{-2}$, respectivamente. A produção de grãos também foi maior em PC, porém não foi significativo estatisticamente (Tabela 1), mesmo com a fitomassa seca total e de vagens sendo superiores em PC (Figura 7A).

O acúmulo de fitomassa seca total (Figura 7A), até ao redor dos 60 DAE foi devido principalmente ao crescimento das folhas e hastes. Após os 40 DAE, isto é após o florescimento, a participação das vagens foi crescente até o final da cultura, quando representaram 45 e 51% da fitomassa total em PD e PC, respectivamente. Por outro lado, a fitomassa seca de folha e de haste decaíram, fazendo com que a curva de fitomassa seca total também apresentasse queda no final do ciclo (Figura 7).

Alguns autores encontraram resultados semelhantes, com diferença em favor de PC entre 60 e 90 DAE (YUSUF et al., 1999; PEDERSEN & LAUER, 2004b). Por outro lado, BULLOCK et al. (1998) observaram vantagem no PD em relação ao PC. URCHEI et al. (2000) também relataram grande vantagem no PD em relação ao PC na cultura do feijão. Ou seja, à semelhança do que foi descrito para o milho, os resultados relativos a produção no caso da soja e outras leguminosas são conflitantes.

Os valores de TCC, TAL e IAF são apresentados na figura 8. A TCC apresentou aumento progressivo até 60 DAE (Figura 8A), época entre o florescimento e início de enchimento de grãos, decaindo após esse período até o final do ciclo da cultura. Os dois tratamentos apresentaram valores parecidos, sendo que a máxima TCC no PC foi de $21,2 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e $19,1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ no PD. Resultado semelhante foi descrito por YUSUF et al. (1999).

A TAL respondeu à demanda por fotoassimilados, tendo seu valor máximo na fase final de florescimento e início de enchimento de grãos, reduzindo após esse período até o final da cultura. Entre os dois tratamentos não houve diferença, com valores máximos de $2,51 \text{ g m}^{-2} \text{ folha d}^{-1}$ para PD e $2,32 \text{ g m}^{-2} \text{ folha d}^{-1}$ para PC.

O IAF (Figura 8C), descrito pela equação de Gauss, apresentou diferença entre os dois sistemas de plantio, sendo que no PC o índice chegou a $9,11 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e no PD $7,61 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Resultados semelhantes foram verificados por YUSUF et al. (1999).

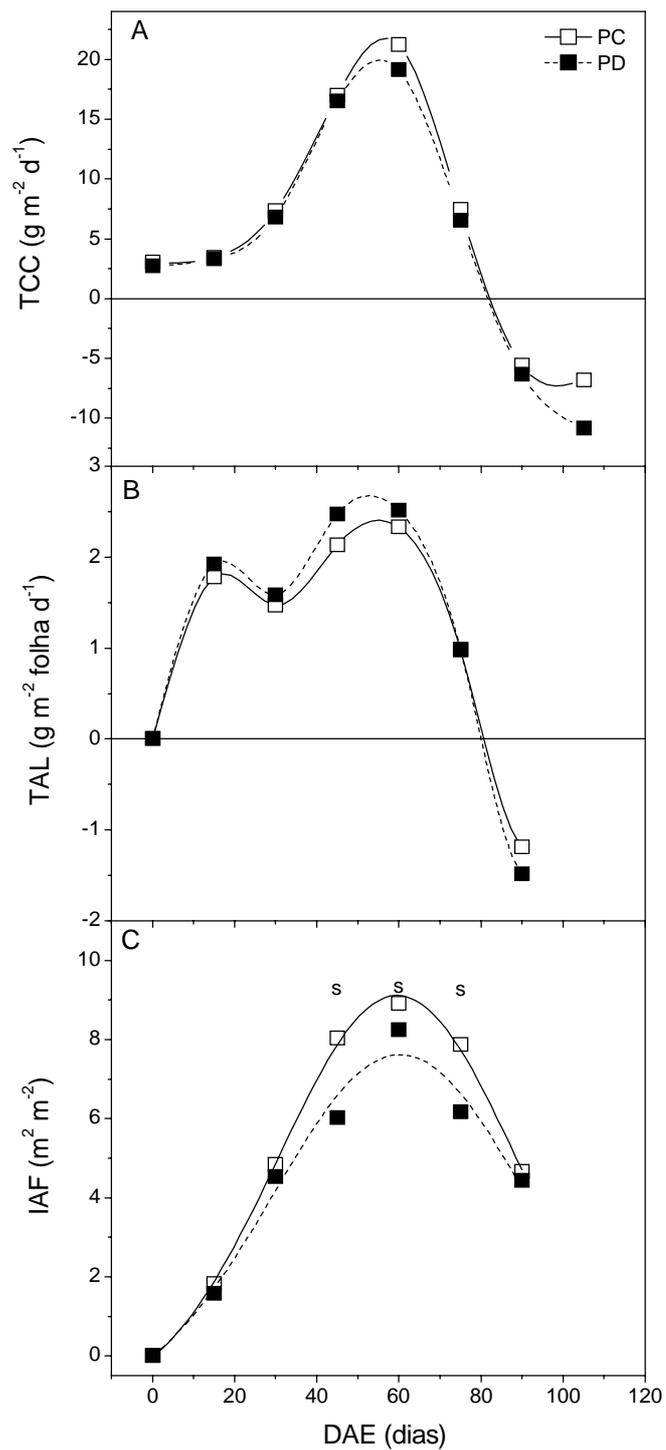


Figura 8 – Taxa de crescimento da cultura, TCC, (A), taxa de assimilação líquida, TAL, (B) e índice de área foliar, IAF, (C) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Letra s indica diferença estatisticamente significativa entre os sistemas de plantio pelo teste Tukey ao nível de 5% no ponto indicado. Cada símbolo representa a média de seis repetições.

PEDERSEN & LAUER (2004 a,b) por sua vez apresentaram resultados opostos, com maior IAF no PD. Nesse caso o autor apresenta a irrigação como fator determinante de aumento de IAF.

Como discutido também para a cultura do milho, a diferença observada na curva de acúmulo de fitomassa seca de vagem e total entre os dois sistemas de plantio se deve ao fato de que o cultivo em PC apresentou maior desenvolvimento de IAF que PD. YUSUF et al. (1999) também indicaram o maior desenvolvimento do IAF no início da cultura de soja como responsável pelo maior acúmulo de fitomassa em PC.

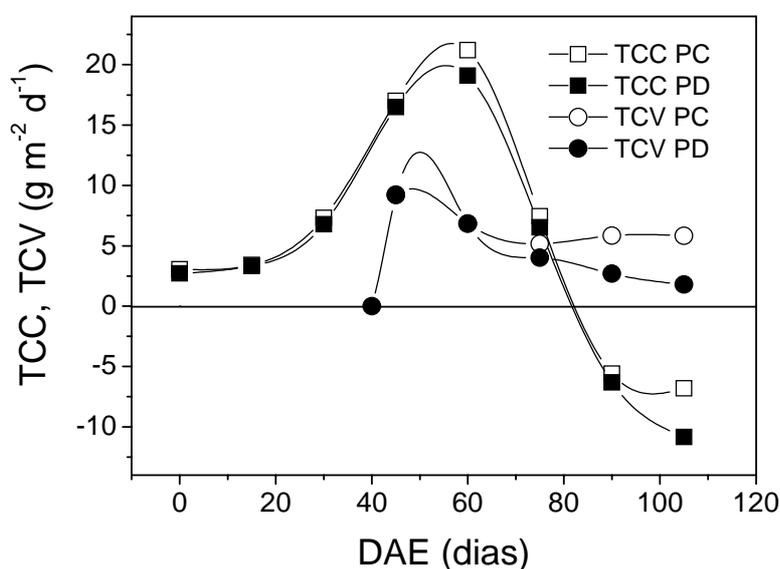


Figura 9 – Taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa de crescimento de vagem (TCV) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições.

A TCC e a taxa de crescimento de vagem (TCV) (Figura 9) mostram a evolução do crescimento da vagem em comparação ao crescimento total da cultura, para os dois sistemas de plantio. A TCV se elevou até os 55 DAE, quando apresentou valores máximos de 9,19 g m⁻² d⁻¹ para PD e 9,21 g m⁻² d⁻¹ para PC. Após esse período TCC e TCV decaíram. A TCC, como verificamos na figura 8, decaiu em função da queda do IAF e da TAL. No entanto, após 80 DAE a TCV passou a ser maior que a TCC, indicando que há translocação de fitomassa de órgãos que acumularam reservas, no caso possivelmente folhas e principalmente hastes (Figuras 7 e 8).

O acúmulo de fitomassa de vagens foi semelhante em PC e PD até os 90 DAE. Em seguida a TCV passou a ser maior em PC, conseqüentemente, a fitomassa seca das vagens terminou o ciclo com acúmulo significativamente maior (Figura 7A). Ao mesmo tempo em que houve maior acúmulo de fitomassa nas vagens, a fitomassa total decaiu. A queda da fitomassa total foi devida a senescência das folhas. Parece que o maior acúmulo de fitomassa nas vagens foi devido, portanto, a uma maior translocação a partir do haste de PC, pois estes perderam relativamente mais massa. Aos 75 DAE (valor máximo de fitomassa no haste) os hastes de PC acumularam 375 g m^{-2} enquanto que o PD acumulou 325 g m^{-2} . Por outro lado, a fitomassa final dos hastes em PC e em PD é de aproximadamente 200 g m^{-2} , sugerindo maior transferência de fitomassa em PC. Esta maior transferência de massa dos hastes não tem uma explicação aparente, a não ser pelo fato de ser a região da planta com maior acúmulo de fitomassa.

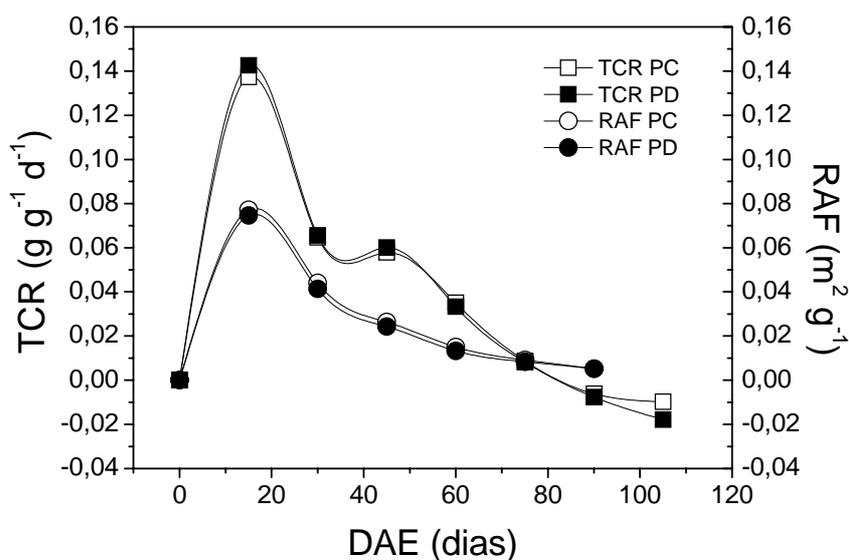


Figura 10 – Taxa de crescimento relativo (TCR) e razão de área foliar (RAF) em função do número de dias após a emergência (DAE) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). Cada símbolo representa a média de seis repetições.

A TCR representa o acúmulo de massa seca em relação a massa seca já existente. Entre os dois sistemas de plantio, não houve diferença em TCR (Figura 10), sendo que as maiores taxas foram verificadas no início da cultura, antes de 20 DAE, na fase inicial de desenvolvimento vegetativo. Por sua vez, a RAF acompanhou TCR até 20 DAE, passando a apresentar queda menos acentuada que TCR, e superando em valores esta

taxa após os 75 DAE. Esse padrão demonstra menor eficiência de conversão no final do ciclo das culturas devido a senescência das folhas. URCHEI et al. (2000) também não observaram diferenças em TCR entre PD e PC na cultura do feijoeiro. Segundo os autores a redução de TCR pode ser explicada pela elevação da atividade respiratória e pelo auto-sombreamento, que aumenta com a idade da planta.

O IAF da soja apresentou diferenças em alguns pontos do ciclo da cultura quando considerado os sistemas de plantio (Figura 8). PEDERSEN & LAUER (2004a) e YUSUF et al. (1999) verificaram a mesma resposta em relação a IAF em soja, com o índice se igualando no final da cultura e com produtividades semelhantes em relação aos sistemas de plantio. A maior produção de fitomassa total possivelmente esta relacionada também ao maior IAF em PC (Figura 8), à semelhança do que foi observado para o milho, porém em menor grau. Isso pode ser relacionado a um menor espaçamento e densidade da cultura, resultando num crescimento mais uniforme. Já o caso da maior produção de vagens pode estar relacionada a maior quantidade de massa transferida à partir do colmo (Figuras 7 e 9).

4.4 Trocas Gasosas

As medidas de trocas gasosas foram realizadas em três estádios do desenvolvimento da cultura de milho e de soja. Analisaram-se as variações ao longo do dia e ao longo do ciclo de desenvolvimento da planta. O primeiro estádio representa a fase de crescimento vegetativo, o segundo a floração e o terceiro o de enchimento de grão, e mais próxima à senescência das folhas.

A figura 11 mostra a variação diária da DFFFA, da temperatura da folha (T_{folha}) e da diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$), para as três datas em que foram medidas as trocas gasosas.

Não houve diferença em T_{folha} e em $DPV_{\text{folha-ar}}$ na cultura de milho em relação ao sistema de plantio (Figura 11). As T_{folha} máximas foram verificadas próximas às 14 horas, sendo que no terceiro estádio (80 DAE) atingiu 41°C, superando as temperaturas máximas entre 33 e 35°C nos estádios vegetativo ao enchimento de grãos. A curva de $DPV_{\text{folha-ar}}$ apresentou um padrão semelhante a curva de T_{folha} , sendo os maiores valores observados nos períodos mais quentes do dia. Também a $DPV_{\text{folha-ar}}$ apresentou os valores mais elevados na última data (80 DAE).

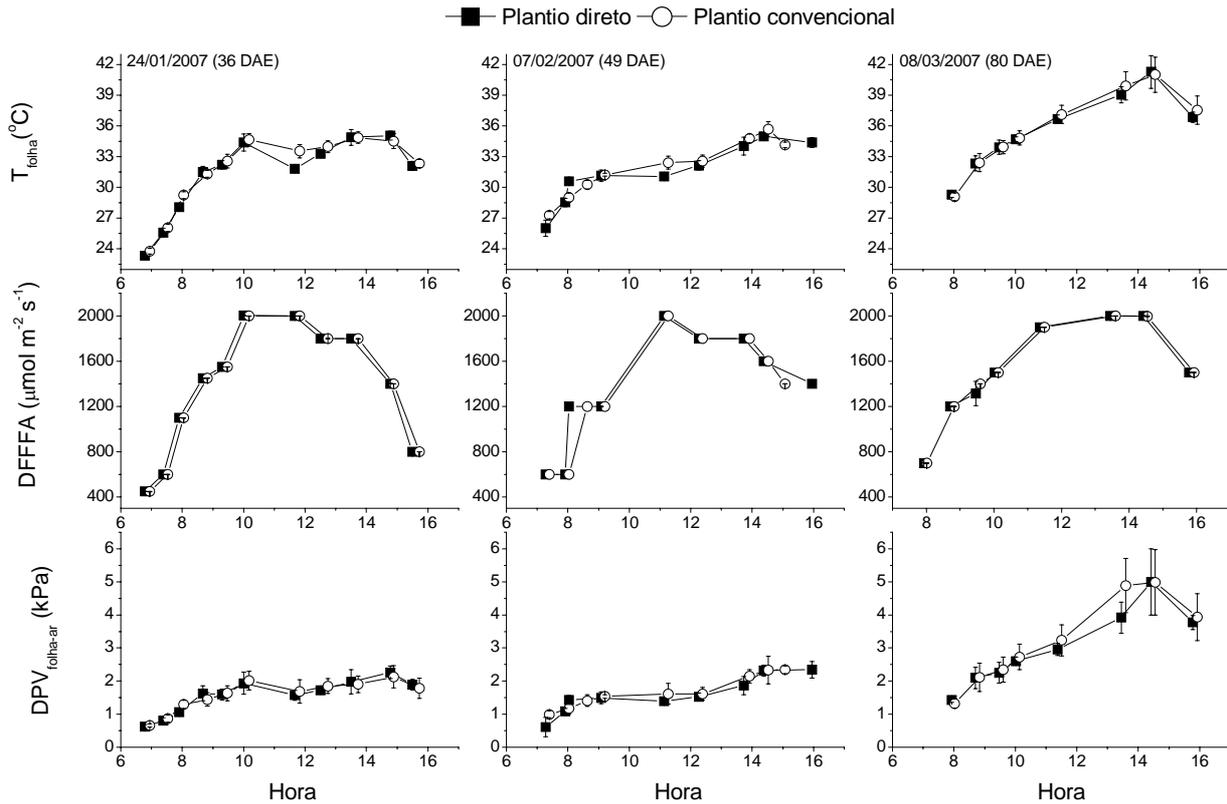


Figura 11 – Variação diurna da temperatura da folha (T_{folha}), densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) e diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão.

Importante observar que aos 80 DAE a temperatura do ar e das folhas (Figura 1 e 11) foram superiores à das duas primeiras tendo como consequência valores maiores de $DPV_{folha-ar}$. Também nos primeiros decêndios de fevereiro e de março ocorreram déficits hídricos no solo (Figura 1). Estas variáveis ambientais têm efeitos significativos sobre as trocas gasosas, como será discutido à frente.

Nos três estádios de desenvolvimento os valores da DFFFA aumentaram rapidamente até um máximo ao redor das 11:00 h (aproximadamente $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) quando então variaram pouco até ao redor de 14:00 h, para depois decaírem no período vespertino (Figura 11). Como os valores de T_{folha} , DFFFA e $DPV_{folha-ar}$ foram semelhantes nos dois sistemas de plantio, seus efeitos sobre as variáveis de trocas gasosas serão analisados em conjunto.

A figura 12 mostra que a variação diurna de A, gs e de E nos três estádios de desenvolvimento em milharais provenientes de PC e PD foi semelhante, ou seja, o tipo de plantio não afetou estas variáveis. COX et al. (1990) observaram que o sistema de plantio afetou A em milho somente em condições de estresse hídrico. Sem estresse hídrico, COX et al. (1990) também não observaram diferenças nas trocas gasosas. Embora a intensidade do estresse hídrico ocorrido em março tenha sido suficiente para causar queda em A e gs, não foi suficiente para causar diferenças detectáveis devidas ao tipo de plantio.

Assim, as diferenças observadas na TCC (Figuras 4 e 5) e na produção de espigas e grãos não foram devidas às variações em A por unidade de área foliar. Possivelmente, como discutido no capítulo referente à análise de crescimento, o crescimento superior das plantas sob PC foi devido ao maior IAF.

As variações diurnas de A aos 36 e 49 DAE seguiram padrões semelhantes, iniciando com valores mais baixos no início da manhã, atingindo um máximo ao redor das 11:00 h e mantendo-se nesta faixa até ao redor de 14:00 h, decaindo no sentido do final do dia (Figura 12). No início da manhã até ao redor de 14:00 h, o aumento de A ocorreu em função do aumento da DFFFA (Figura 11 e 12). Entre aproximadamente 11:00 e 14:00 h, quando DFFFA máximo foi ao redor de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, A sofreu pequenas variações. Posteriormente, com a queda de DFFFA a assimilação decresceu. O valor máximo verificado foi de aproximadamente $48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no período de crescimento vegetativo (Figura 12, 36 DAE), sendo que aos 49 DAE (próximo a floração), A máximo foi menor, ao redor de $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. O menor valor de A em 49 DAE pode ter sido devido à ocorrência de déficit hídrico no solo (Figura 1). A primeira reação da planta à ocorrência de estresse hídrico é o fechamento parcial dos estômatos, causando queda em gs (FLEXAS et al., 2006). Aos 49 DAE, valores acima de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de DFFFA praticamente não afetaram A. Também se verificou (Figura 12) que os valores de gs aos 36 DAE foram maiores que em 49 DAE e estes bem maiores em relação a 80 DAE.

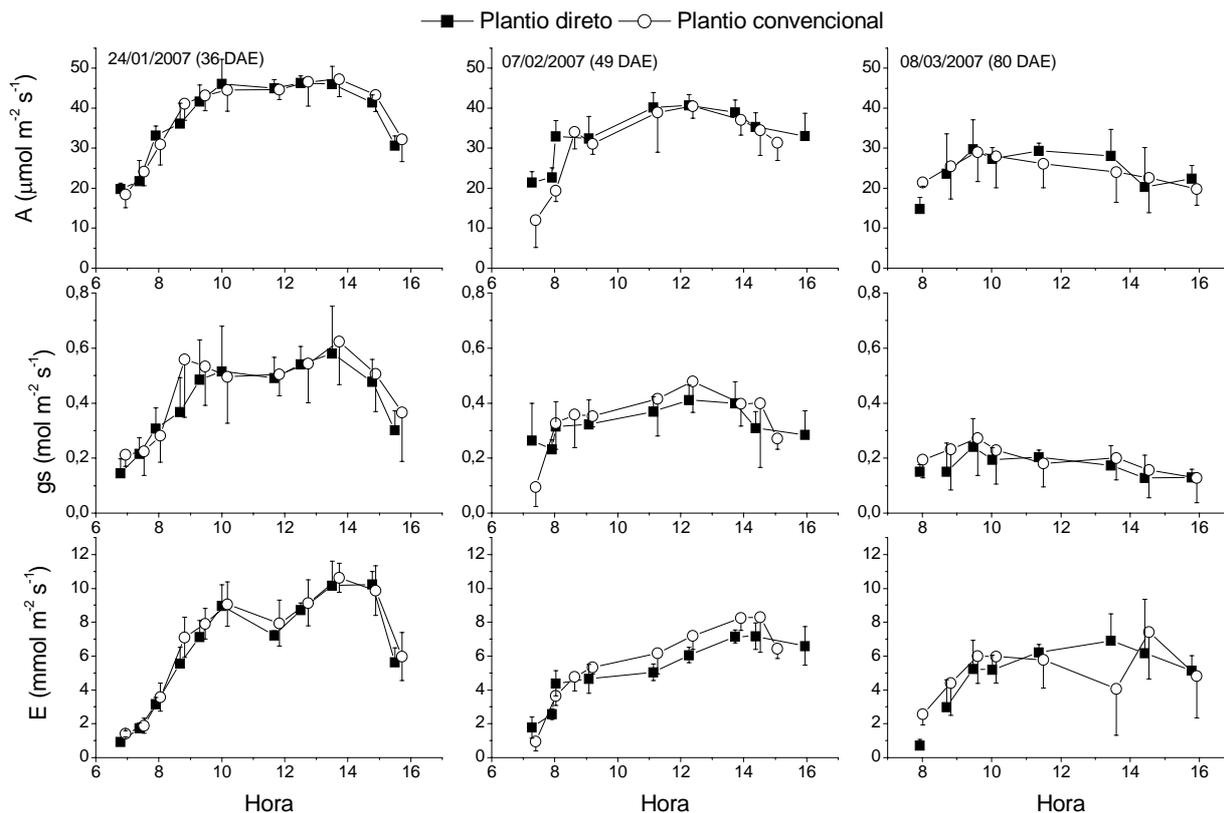


Figura 12 – Variação diurna da taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) em plantas de milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão.

No período de enchimento de grãos (80 DAE), A máximo foi atingido ao redor das 9:00 h quando DFFFA estava ao redor de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a temperatura mais amena no início da manhã. Após as 9:00 h com o aumento da demanda evaporativa ($\text{DPV}_{\text{ar-folha}}$) e em função do aumento da temperatura (Figura 11) os incrementos em DFFFA não causaram aumento em A.

Possivelmente a queda de A foi devida à redução em gs, pois a transpiração deve ter sido maior que a capacidade de reposição de água às folhas pelo sistema radicular.

As quedas que ocorreram em A, no período de enchimento de grãos em relação aos períodos anteriores, podem estar relacionadas com aspectos tanto de origem fisiológica como ambiental. No presente caso, entretanto, observou-se que os valores máximos de gs ocorreram aos 36 DAE e um pouco menor aos 49 DAE, sendo que aos

80 DAE os valores de g_s foram ainda menores, parecendo assim que, em parte, a queda de A com a idade da planta estaria relacionada com a diminuição de g_s . De fato a relação $A \times g_s$ mostrada na figura 15A evidencia esta dependência. Outros autores também observaram uma relação de dependência entre A e g_s , e sugerem que freqüentemente a queda de A está relacionada a processos difusivos da fotossíntese (FARQUHAR et al., 1980; FARQUHAR & SHARKEY, 1982; FLEXAS et al., 2006).

A condutância estomática também apresentou variação diurna significativa, sendo os maiores valores observados normalmente durante a manhã, não importando a data de avaliação (Figura 12). Esse padrão de variação de g_s está relacionado à variação dos elementos ambientais, em especial a DFFFA e $DPV_{\text{folha-ar}}$ (Figura 11), sendo a influência da temperatura foliar considerada nesse último. Observou-se abertura estomática crescente com o aumento de DFFFA, porém de forma característica para cada estágio fisiológico. No estágio vegetativo (36 DAE), g_s aumentou até $0,6 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com DFFFA até valores próximos a $1500 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, quando então a saturação luminosa foi atingida, concordando com os valores citados por MACHADO et al. (1994) também em milho. Na segunda e terceira fases, g_s já atingiu seu valor máximo ao redor das 8:30 h, quando DFFFA foi ao redor de $1200 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Os valores de g_s máximo foram ao redor de $0,45$ e $0,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, para 49 e 80 DAE. Os menores valores de g_s aos 49 e 80 DAE podem estar relacionados, em parte à ocorrência de déficit hídrico no solo (Figura 1). Mas aos 80 DAE, onde o valor de g_s é bem menor, além do déficit hídrico deve ter contribuído com a queda de g_s a ocorrência de maior temperatura das folhas e conseqüente aumento de $DPV_{\text{folha-ar}}$. O aumento de $DPV_{\text{folha-ar}}$ em geral causa uma queda significativa de g_s em várias espécies (FARQUHAR & SHARKEY, 1982; HABERMANN et al., 2003; FLEXAS et al., 2006).

A queda de A pode ainda estar relacionada a fatores fisiológicos, como início de senescência e conseqüente variação da respiração e da eficiência quântica (DWYER & STEWART, 1986; STIRLING et al, 1994). Há relatos de que A pode ser maior na fase de floração em relação ao crescimento vegetativo, em função de maior demanda dos drenos (MACHADO et al., 1990; DWYER & STEWART, 1986; DWYER et al., 1989). Também há relatos de que a máxima fotossíntese é atingida ao redor de uma semana após a expansão máxima da folha (DWYER et al., 1989). Há indicações de que a maior demanda por fotossintetizados estimularia a fotossíntese. No entanto, também há autores que não observaram esta resposta (RAWSON et al., 1978). Tais controvérsias

podem estar relacionadas às demais condições ambientais em que foram executadas as medidas. Os trabalhos citados, assim como o nosso, foram executados em condições de campo, onde vários fatores agem concomitantemente. Assim, a queda de A no sentido da fase vegetativa para fase de floração pode estar relacionada com a ocorrência de déficit hídrico (Figura 1). Tal resposta é justificada pelo fechamento parcial dos estômatos aos 49 DAE. A maior queda de A , principalmente no período de enchimento dos grãos (80 DAE) além dos aspectos ambientais, como déficit hídrico e alta temperatura, pode ter sido influenciado ainda pela idade da folha, no entanto, por todas estarem agindo concomitantemente é difícil apontar um fator específico.

A transpiração também seguiu um padrão semelhante de resposta em função da hora do dia, tendo também seus valores máximos atingidos ao redor das 14:00 h, quando g_s e $DPV_{\text{folha-ar}}$ também eram máximos. Os valores máximos de E ficaram próximos a $11 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 36 DAE e ao redor de 10 e $7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 49 e 80 DAE, respectivamente. A queda de E da segunda para a terceira fase não foi tão acentuada quanto a de g_s , pois $DPV_{\text{folha-ar}}$ mais baixo compensou parcialmente a abertura estomática. A transpiração é dependente tanto da abertura estomática como do $DPV_{\text{folha-ar}}$. Assim, apesar de g_s ter diminuído significativamente entre 49 e 80 DAE, ocorreu um aumento em $DPV_{\text{folha-ar}}$ (DAI et al., 1992; MACHADO et al., 1994).

Valores próximos na cultura do milho foram verificados por MACHADO et al. (1992, 1994) e curvas de A , g_s e E com a mesma tendência por LIMA FILHO (2000) e DING et al. (2006).

A figura 13 mostra a variação da temperatura da folha, a DFFFA e a $DPV_{\text{folha-ar}}$ para a soja durante os dias de medidas de trocas gasosas. À semelhança do que foi observado no milho, os valores destas variáveis não foram diferentes entre os sistemas de plantio. Assim, também serão tratados em conjunto. Verificou-se semelhança da dinâmica das respostas destas variáveis com as de milho.

Uma análise comparativa das figuras 11 e 13 mostra que os valores de temperatura da folha foram maiores em milho e conseqüentemente também os valores de $DPV_{\text{folha-ar}}$. Possivelmente as diferenças de T_{folha} entre as duas espécies estejam relacionadas ao efeito refrigerador dos maiores valores de E em soja (Figuras 12 e 14).

Da mesma forma que para o milho, T_{folha} aos 80 DAE foi significativamente maior em relação aos 36 e 49 DAE, acarretando num valor maior de $DPV_{\text{folha-ar}}$ neste período.

Também em soja as variáveis relativas às trocas gasosas, ou seja A, gs e E, tiveram respostas semelhantes quando comparadas com plantas em PD ou PC, sendo assim tratadas em conjunto na discussão que se segue.

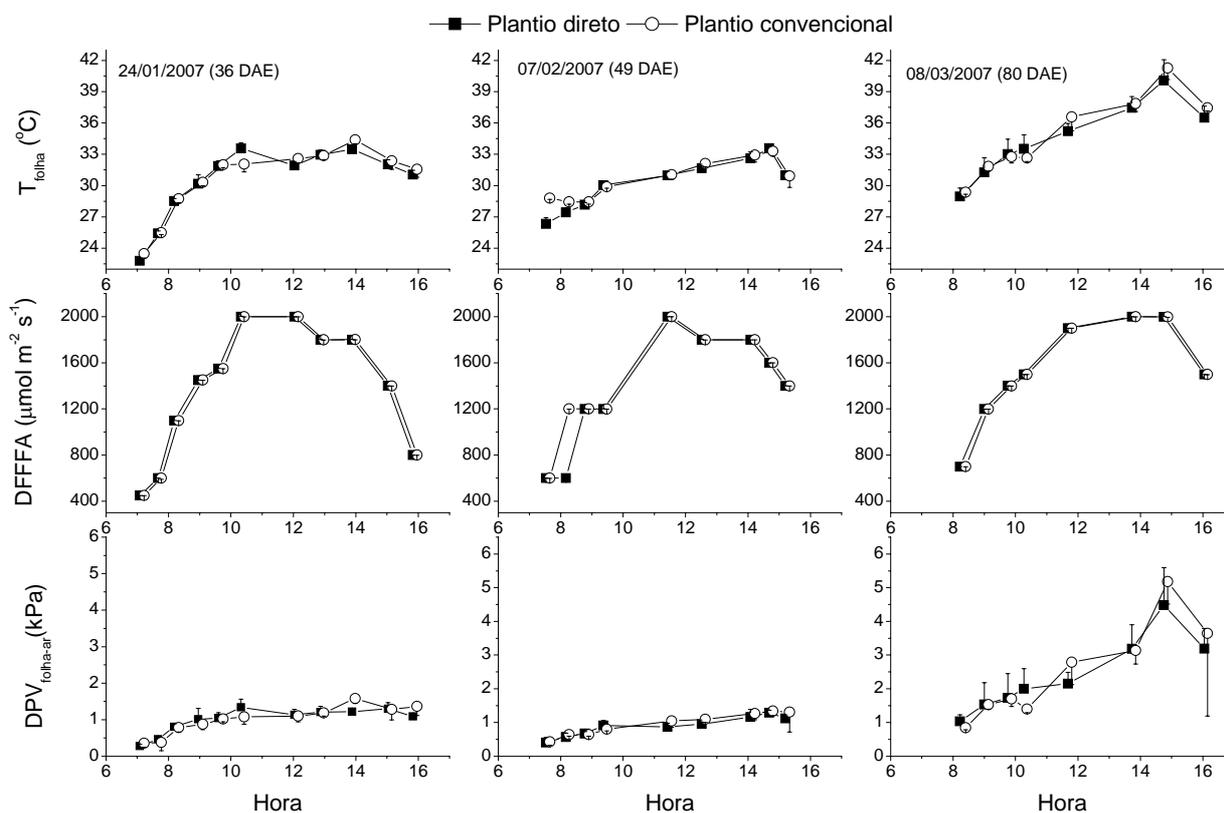


Figura 13 - Variação diurna da temperatura da folha (T_{folha}), densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) e diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$) em plantas de soja IAC-23 cultivada no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão.

O padrão diurno de resposta de A foi semelhante aos 36 e 49 DAE, ou seja, aumentaram em função do aumento da DFFFA (Figura 12 e 13). A assimilação de CO_2 aumentou em função de DFFFA atingindo um valor máximo ao redor das 9:00 h e manteve-se praticamente constante até as 16:00 h, quando diminuiu. O valor máximo atingido pela soja foi $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, aos 36 e 49 DAE. Aos 80 DAE, já as 8:00 h a fotossíntese da soja atingiu um valor máximo de $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, decaindo, a valores bem menores entre 14:00 e 16:00 h, em comparação à queda de A aos 36 e 49 DAE neste mesmo horário. Ou seja, o valor máximo de A aos 36 e 49 DAE foi de $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

$^2 \text{ s}^{-1}$ entre 10:00 e 15:00 h, decaindo até $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ as 16:00 h. Enquanto que aos 80 DAE o máximo foi $24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ entre 9:00 e 12:00 h, para depois decair até $16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ao redor das 16:00 h.

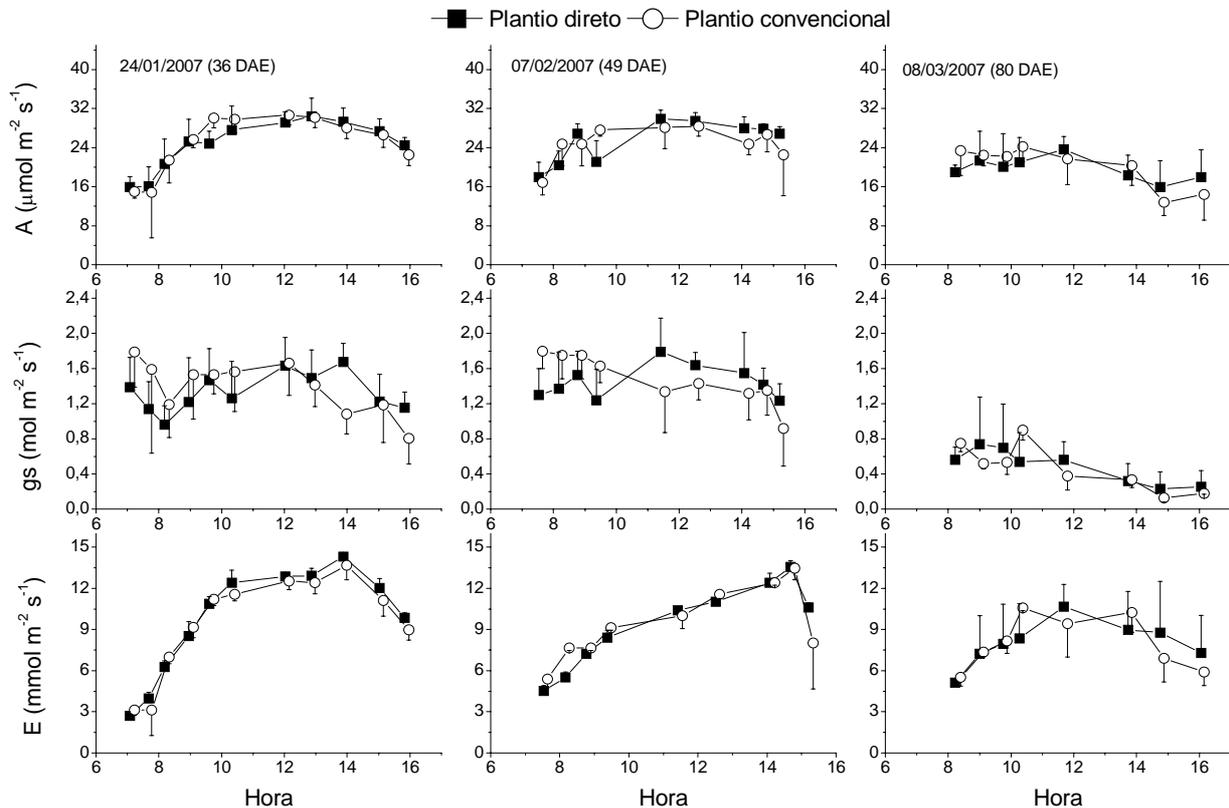


Figura 14 – Variação diurna da assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) em plantas de soja IAC-23 cultivado no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão.

Também os valores máximos de A atingidos pela soja foram menores que os do milho. Os valores máximos de gs permaneceram relativamente constantes até ao redor das 14:00 h quando diminuiriam (Figura 14). No período da tarde possivelmente o estímulo para fechamento parcial de gs esteja relacionado com a temperatura da folha ou mais provavelmente com o $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$, a exemplo do que acontece com outras espécies (DAI et al., 1992; MACHADO et al., 1994).

Da mesma forma que no milho, aos 80 DAE, gs foi significativamente menor do que nos dois períodos anteriores. Possivelmente as mesmas explicações dadas ao milho

também se aplicam aqui. A figura 15B mostra a relação entre $A \times g_s$ em soja. Inicialmente A e g_s aumentam linearmente até um valor em que maiores incrementos de g_s não implicam em incremento de A . Destaca-se que os valores de g_s em soja são maiores do que em milho, proporcionando maiores valores de E em relação ao milho. O maior valor de E em soja também deve justificar a menor temperatura foliar e $DPV_{\text{folha-ar}}$ em relação ao milho. Comparativamente, E em soja atingiu valores máximos entre 11 e 14 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e o milho entre 7 e 11 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ nos dois primeiros estádios de desenvolvimento (36 e 49 DAE). Já no terceiro estágio (80 DAE), a exemplo do que ocorreu em milho, E diminuiu em função da queda de g_s e do aumento na temperatura da folha e no $DPV_{\text{folha-ar}}$.

Para valores equivalentes de g_s , A em milho é maior que em soja, fato este ligado à maior eficiência de fixação de CO_2 , devidas às características bioquímicas e anatômicas das espécies (Figura 15 B). No entanto, como a relação de $E \times g_s$ não é do tipo curvilíneo como $A \times g_s$, a eficiência do uso de água (EUA) entre espécies C_3 e C_4 são conseqüentemente diferentes. A figura 16 mostra esta diferença de forma clara. Ou seja, o milho apresenta maior EUA que a soja, resultado este que já era esperado (MACHADO et al., 1994). Para as mesmas condições ambientais a quantidade de água utilizada para fixar CO_2 é menor em milho.

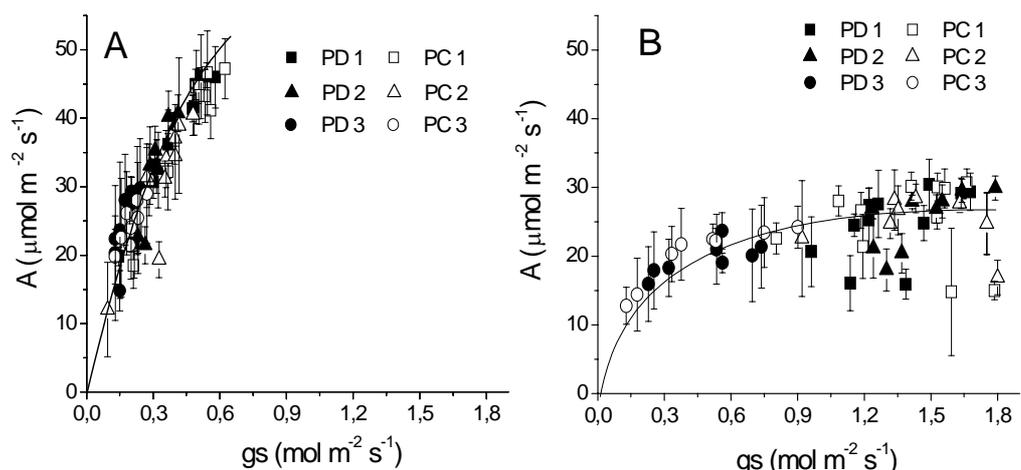


Figura 15 – Variação assimilação de CO₂ (A) e da condutância estomática (g_s) em plantas de milho híbrido IAC-8333 (A) e de soja IAC-23 (B) cultivados no sistema de plantio direto (PD, símbolos cheios) e convencional (PC, símbolos vazios). Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007 (quadrados), 07/02/2007 (triângulos) e 08/03/2007 (círculos). Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão.

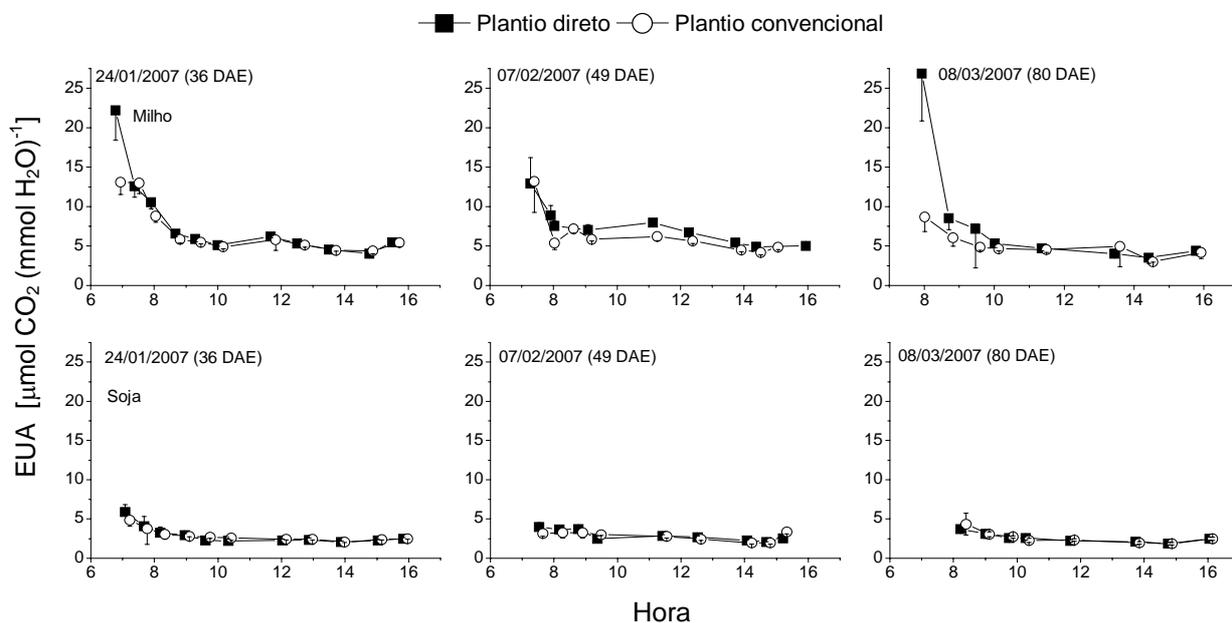


Figura 16. Variação diurna da eficiência do uso de água (EUA) em plantas de milho híbrido IAC-8333 (parte superior) e de soja IAC-23 (parte inferior) cultivados no sistema de plantio direto e convencional. Avaliação realizada em três datas: 24/01/2007, 07/02/2007 e 08/03/2007. Cada símbolo representa a média de cinco repetições e linhas verticais o desvio padrão.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) A produtividade de milho foi maior no sistema de plantio convencional. No caso da soja o sistema de plantio não alterou a produtividade.
- b) A maior produção de fitomassa total e de espigas, em milho, e fitomassa total e de vagens, em soja, observadas no sistema de plantio convencional foram devidas ao estabelecimento mais rápido de um índice de área foliar maior. O índice de área foliar maior foi responsável por proporcionar maior taxa de crescimento da cultura no plantio convencional.
- c) As trocas gasosas não foram responsáveis pelas diferenças de produtividade e de fitomassa observadas, visto que não se alteraram em respostas aos sistemas de plantios.

6 REFERÊNCIAS

- AL-DARBY, A.M.; LOWERY, B. Evaluation of corn growth and productivity with three conservation tillage system. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.901-907, 1986.
- BAUDER, J.W.; RANDALL, G.W.; SWANN, J.B. Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.45. p.802-806, 1981.
- BEADLE, C.L. Growth analysis. In: HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. (eds.). **Photosynthesis and production in a changing environment. A field and laboratory manual**. London; Chapman & Hall, 1993, p.36-46.
- BIANCHINI, A. **Ocorrência e controle de doenças: cultura da soja. In: IAPAR. Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina : IAPAR, 1981. p.178-182. (Circular técnica, 23).
- BRAKKE, M.; ALLEN JUNIOR, L.H. Gas exchange of Citrus seedlings at different temperatures, vapor-pressure deficits, and soil water contents. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.120, p.497-504, 1995.
- BULLOCK, D.; KHAN, S.; RAYBURN, A. Soybean yield response to narrow rows is largely due to enhanced early growth. **Crop Science**, Madison, v.38. p.1011-1016, 1998.
- CARNNELL, R.Q. Reduced tillage in North-West Europe – A review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.5, p.129-177, 1985.
- CARVALHO, M.A.C.de; SORATTO, R.P.; ATHAYDE, M.L.F.; ARF, O.; SÁ M.E. de. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.47-53, 2004.
- CASTRO, O.M. de. **Compactação do solo em plantio direto**. In: Fancelli, A.L. **Plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ, 1989. p.129-139.
- CASTRO, O.M. de. Comportamento físico e químico de um latossolo roxo em função de seu preparo na cultura de milho. 1994. 242 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, p.263-266, 1985.
- CERVI, E.U. A revolução da palha. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.73, p.8-12, 2003.

CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo Muito Argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, p.1317-1322, 1985.

COSTA, M.A.G.; BALARDIN, R.S.; COSTA, E.C.; et al. Níveis de desfolha na fase reprodutiva da soja, cv. Ocepar 14, sobre dois sistemas de cultivo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, p.813-819, 2003.

COX, W.J.; ZOBEL, R.W.; VAN ES, H.M.; OTIS, D.J. Tillage effects on some soil physical and corn physiological characteristics. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.806-812, 1990.

DAI, Z.; EDWARD, G.E.; KU, M.S.B. Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis* L. (Castor bean) by leaf to air vapor pressure deficit. **Plant Physiology**, Lancaster, v.99, p.1426-1434, 1992.

DE MARIA, I.C. **Plantio direto**. <http://www.iac.sp.gov.br/Centros/CSRA/direto.htm> (04 maio 2006)

DING, L.; WANG, K.J.; JIANG, G.M.; LI, Y.G.; JIANG, C.D.; LIU, M.Z.; NIU, S.L.; PENG, Y. Diurnal variation of gas exchange, chlorophyll fluorescence, and xanthophyll cycle components of maize hybrids released in different years. **Photosynthetica**, Prague, v.44, p.26-31, 2006

DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Effects of leaf age and position on net photosynthesis rate in maize. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.37, p.29-46, 1986.

DWYER, L.M.; STEWART, D.W.; BAICHIN, D.; HOUWING, L.; MARUR, C.J.; HAMILTON, R.I. Photosynthesis rates of six maize cultivars during development. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.597-602, 1989.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Doenças e medidas de controle**. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná. 1999/2000. Londrina, cap.11, p.176-210. (Documentos, 131). 1999a.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999b. 412 p.

ERISMANN, N.M.; MACHADO, E.C.; GODOY, I.J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.1099-1108, 2006.

FARQUHAR, G.D.; SCHULZE, E.D.; KÜPPER, M. Response to humidity by stomata of *Nicotina glauca* L. and *Corylus avellana* L. are consistent with optimization of carbon dioxide uptake with respect to water loss. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 7, p.315-327, 1980.

FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Boca Raton, v.33, p.317-345, 1982.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; MEDRADO, H.; RIBAS-CARBÓ, M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.127, p.343-352, 2006.

GRIFFITH, D.R.; KLADIVKO E.J.; MANNERING, J.V.; WEST, T.D.; PARSONS, S.D. Long-term tillage and rotations effects on corn growth and yield on high and low organic matter poorly drained soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.599-605, 1988.

HABERMANN, G.; MACHADO, E.C.; RODRIGUES, J.D.; MEDINA, C.L. CO₂ assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of “Pera” sweet oranges plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Londrina, v.15, p.79-87, 2003.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C. **Milho: informações técnicas**. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. Manejo e conservação de solos. Dourados: EMBRAPA/CPAO, 1997. p.39-67. (Circular técnica, 05).

HILL, R.L. Long term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.54, p.161-166, 1990.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, p.193-198, 1994.

JOHNSON, M.D.; LOREWY, B.; DANIEL, T.C. Soils moisture regimes of three conservation tillage system. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.27, p.1385-1390, 1984.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LIMA-FILHO, J.M.P. Physiological response of maize and cowpea to intercropping. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.915-921, 2000.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G. & SILVA, C.A. **Sistema Plantio Direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo**, São Paulo: ANDA, 2004. 115p.

MACHADO, E.C; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; HARRUDA, H.V.; SILVA, W.J.da.; TEIXEIRA, J.P.F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.825-833, 1982.

MACHADO, E.C.; FURLANI, P.R.; HANNA, L.G.; CAMARGO, M.B.P.de.; BRUNINI, O.; MAGALHÃES, H.H.S. Características biométricas e fisiológicas de três variedades de milho. **Bragantia**, Campinas, v.44, p.283-294, 1985.

- MACHADO, E.C.; SILVEIRA, J.A.G.da; BASTOS, C.R. Trocas de CO₂, acúmulo de fitomassa e remobilização de reservas durante o crescimento de panículas de duas variedades de arroz. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.2, p.63-70, 1990.
- MACHADO, E.C.; SILVEIRA, J.A.G.da; VITORELLO, V.A.; RODRIGUES, J.L.M. Fotossíntese, remobilização de reservas e crescimento de grãos em dois híbridos de milho sob deficiência hídrica na fase de enchimento de grãos. **Bragantia**, Campinas, v.51, p.151-159, 1992.
- MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M.A.; TICELLI, M.; AZZINI, L.E.; TISSELLI FILHO, O. Fotossíntese e crescimento de panículas de arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.17, p.37-43, 1994.
- MACHADO, E.C.; LAGÔA, A.M.M.A.; AZZINI, L.E.; TISSELLI FILHO, O. Trocas gasosas e relações hídricas em dois cultivares de arroz de sequeiro submetidos a deficiência hídrica em diferentes fases do desenvolvimento reprodutivo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.8, p.139-147, 1996.
- PAULETTI, V.; LIMA, M.R. de; BARCIK, C; BITTENCOURT, A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, p.491-495. 2003.
- PEDERSEN, P.; LAUER, J.G. Corn and soybean response to rotation sequence, row spacing and tillage system. **Agronomy Journal**, Madison, v.95, p.965-971, 2003.
- PEDERSEN, P.; LAUER, J.G. Soybean growth and development in various management systems and planting dates. **Crop Science**, Madison, v.44, p.508-515, 2004a.
- PEDERSEN, P.; LAUER, J.G. Soybean Growth and Development Response to Rotation Sequence and Tillage System. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.1005-1012, 2004b.
- PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Boletim Técnico, 114 - IAC. Campinas, 33p., 1987.
- QIN, R.; STAMP, P.; RICHNER, W. Impact of tillage and banded starter fertilizer on maize root growth in the top 25 centimeters of the soil. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.674-683, 2005.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agrônomo/Fundação IAC, (Boletim Técnico 87), Campinas, p.284, 2001.
- RAWSON, H.M.; TURNER, N.C.; BEGG, J.E. Agronomic and physiological responses of soybean and sorghum crops to water deficits IV. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.5, p.179-194, 1978.

RIBEIRO, R.V.; SANTOS, M.G.; SOUZA, G.M.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F.; ANGELOCCI, L.R.; PIMENTEL, C. Environmental effects on photosynthetic capacity of bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.615-623, 2004.

RIBEIRO, R.V.; LYRA, G.B.; SANTIAGO, A.; PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C.; OLIVEIRA, R.F. Diurnal and seasonal patterns of leaf gas exchange in bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé) growing in a subtropical climate. **Grass and Forage Science**, London, v.61, p.293-303, 2006.

RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: Stewart, F.C. **Plant physiology – A treatise. Analysis of growth: behaviour of plants in their organs**. London: Academic Press, 1969, p.13-76.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, p. 133-137, 1998

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES J.F.L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66 p.59-74, 2007.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.407-414, 2005.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai. 1966. 61 p.

SILVA, W.J.da; MONTOJOS, J.C.; PEREIRA, A.R. Análise de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliada em duas densidades de população. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.26, p. 360-365, 1974.

SILVEIRA, J.A.G.da; MACHADO, E.C. Mobilização de nitrogênio e carboidratos durante o desenvolvimento de panículas de duas variedades de arroz **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.2, p.37-46, 1990.

SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, p.240-244, 2003

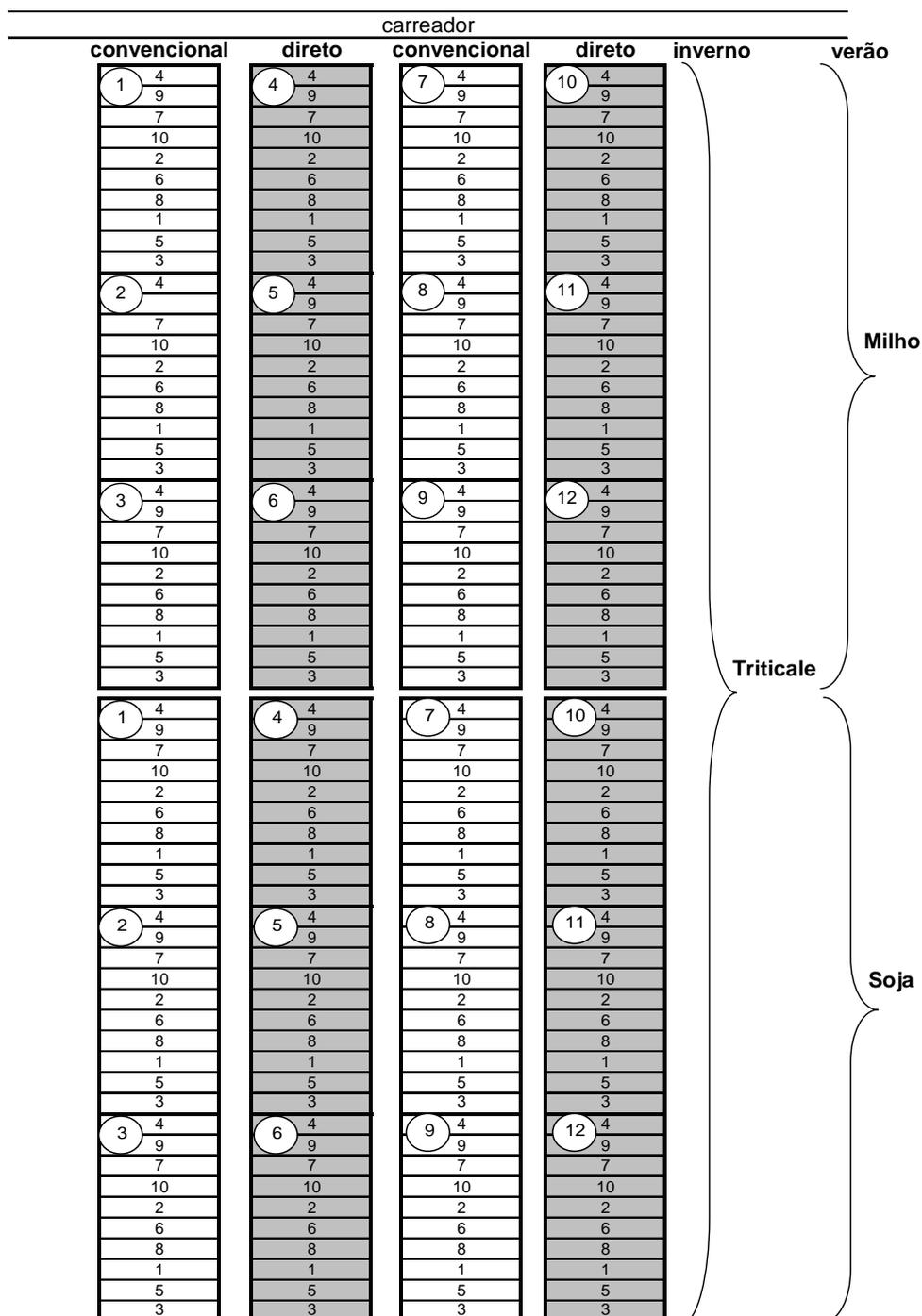
SINGER, J.W.; LOGSDON, S.D.; MEEK, D.W. Tillage and compost effects on corn growth, nutrient accumulation, and grain yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.99, p.80-87, 2007.

STIRLING, C.M.; AGUILERA, C.; BAKER, N.R.; LONG, S.P. Changes in the photosynthetic light response curve during leaf development of field grown maize with implications for modelling canopy photosynthesis. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v.42, p.217-225, 1994.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719 p.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, R.J. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro, sob irrigação em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.497-506, 2000.
- VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, p.873-882, 1984.
- VU, J.C.V.; YELENOSKY, G.; BAUSHER, M.G. CO₂ exchange rate, stomatal conductance, and transpiration in attached leaves of 'Valencia' orange. **HortScience**, Alexandria, v.21, p.143-144, 1986.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, Newark, v.4, p.101-45, 1952.
- YORINORI, J.T. Doenças da soja. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **A soja no Brasil central**. Campinas: Fundação Cargill, 1977, p.159-215.
- YUSUF, R.I.; SIEMENS, J.C.; BULLOCK, D.G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, p. 928-933, 1999.

ANEXOS

Anexo 1 – Esquema de distribuição de parcelas e sub-parcelas no campo experimental. Os números dentro dos círculos representam as parcelas e os números nas linhas as sub-parcelas. No inverno (02/07/2006) foi semeado em área total triticales. Após a colheita do triticales na metade da área foi semeado soja IAC 23 (12/12/2006) e na outra metade o milho híbrido IAC 8333 (13/12/2006). Foram mantidas as mesmas faixas de plantio direto e convencional do triticales para a soja e milho.



Anexo 2 – Coeficientes das funções de Boltzmann ($Y = A2 + (A1-A2)/(1 + \exp((x-x_0)/dx))$) selecionadas para descrever o acúmulo de fitomassa seca total e de espigas em milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC).

Coeficientes	Fitomassa seca total (g m ⁻²)		Fitomassa seca das espigas (g m ⁻²)	
	PC	PD	PC	PD
A1	86,96	23,30	-6299,84	-83,60
A2	1338,08	987,38	756,07	605,97
x ₀	66,39	69,06	29,72	79,24
dx	5,99	6,71	14,27	9,86
R ²	0,98	0,99	0,99	0,99

Anexo 3 – Coeficientes das funções de Gauss ($Y = y_0 + (A/(w\sqrt{\pi/2}))\exp(-2((x-x_c)/w)^2)$) selecionadas para descrever o índice de área foliar em milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC).

Coeficientes	Índice de área foliar (m ² m ⁻²)	
	PC	PD
y ₀	-0,698	-1,282
x _c	69,49	60,20
w	61,44	61,16
A	538,38	682,15
R ²	0,96	0,97

Anexo 4 – Coeficientes das funções de Boltzmann ($Y = A2 + (A1-A2)/(1 + \exp((x-x_0)/dx))$) selecionadas para descrever o acúmulo de fitomassa seca total e de vagens em soja cultivar IAC-23 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC).

Coeficientes	Fitomassa seca de vagens (g m^{-2})	
	PC	PD
A1	-24149,32	-206488,08
A2	848,45	323,89
x_0	-297,84	-139,73
dx	102,10	28,59
R^2	0,992	0,998

Anexo 5 – Coeficientes das funções de Gauss ($Y = y_0 + (A/(w\sqrt{\pi/2}))\exp(-2((x-x_c)/w)^2)$) selecionadas para descrever a fitomassa seca total e o índice de área foliar em soja cultivar IAC-23 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC).

Coeficientes	Fitomassa seca total (g m^{-2})		Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)	
	PC	PD	PC	PD
y_0	-4,80	-1,21	-1,28	-1,28
x_c	85,10	83,60	59,60	60,20
w	54,06	52,09	57,80	61,15
A	62541,79	55607,52	752,96	682,14
R^2	0,98	0,99	0,99	0,97

Anexo 6 – Análise foliar do milho híbrido IAC-8333 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em duas datas: 24/01/2007 e 07/02/2007.

Tratamento	N (g/kg)		K (g/kg)		P (g/kg)		Ca (g/kg)		Mg (g/kg)	
	24/jan	7/fev	24/jan	7/fev	24/jan	7/fev	24/jan	7/fev	24/jan	7/fev
PD	17,1	19,7	16,6	21,2	3,0	2,6	3,3	4,2	2,1	2,0
PC	20,0	24,3	17,9	22,7	2,2	2,7	3,1	4,6	2,3	1,9

*Não houve diferença significativa pelo teste de Tukey (5%).

Anexo 7 – Análise foliar de soja cultivar IAC-23 cultivado no sistema de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em duas datas: 24/01/2007 e 07/02/2007.

Tratamento	N (g/kg)		K (g/kg)		P (g/kg)		Ca (g/kg)		Mg (g/kg)	
	24/jan	7/fev	24/jan	7/fev	24/jan	7/fev	24/jan	7/fev	24/jan	7/fev
PD	37,6	50,7	18,6	16,5	2,7	3,5	9,7	14,4	3,7	4,3
PC	41,1	50,6	15,1	14,3	3,3	3,3	10,1	16,5	4,3	4,7

*Não houve diferença significativa pelo teste de Tukey (5%).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)