

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**MODIFICAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM
PLANTAS DE MILHO SUBMETIDAS A DÉFICIT
HÍDRICO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Juliano Dalcin Martins

Santa Maria, RS, Brasil.

2010

**MODIFICAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE MILHO
SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO**

por

Juliano Dalcin Martins

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Reimar Carlesso

Santa Maria, RS, Brasil.

2010

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**MODIFICAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE MILHO
SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO**

elaborada por
Juliano Dalcin Martins

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Reimar Carlesso, PhD.
(Presidente/Orientador)

Renato Beppler Spohr, Dr. (UFSM)

Claudio García Galaretta, Dr. (INIA)

Santa Maria RS, Brasil.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, pública e gratuita, ao centro de Ciências Rurais e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realizar este curso.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Reimar Carlesso, pela orientação, incentivo e amizade

Aos meus pais, Donartes e Ediles e meus irmãos Jussana e Jaisson que sempre me apoiaram e incentivaram meus passos. Muito obrigado minha família.

A minha namorada Marília Milani pelo amor, carinho, compreensão e força em todos os momentos. Amo você.

Aos colegas do Projeto Sistema Irriga: Alberto Knies, Zanandra de oliveira, Manuel Moura, Rodrigo Elesbão, Roberto Miranda, Tiago Broetto, Luis Grasel, Vinícius Dubou, Geraldo Rodrigues, Rodrigo Mulazzani, Ticiane François, Franciele Neis e Fabrício Barboza pelo auxílio na preparação e nas determinações realizadas durante o trabalho.

E a todos aqueles que torceram, incentivaram e contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

MODIFICAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE MILHO SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

Autor: Juliano Dalcin Martins
Orientador: Reimar Carlesso
Santa Maria, 01 março 2010.

A utilização do sistema de semeadura direta pode ser uma tecnologia importante para minimizar os efeitos do déficit hídrico, por disponibilizar mais água às plantas em função da manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo. Esta técnica reduz a quantidade de evaporação de água do solo, mantendo o mesmo mais úmido, diminuindo as oscilações de temperatura no solo e, mantendo o conteúdo de água no solo mais elevado. O trabalho teve como objetivo estudar indicadores da condição hídrica das plantas de milho cultivadas sob diferentes quantidades de resíduos vegetais em cobertura em condição irrigada e com déficit hídrico. Dois experimentos foram conduzidos na área experimental do departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, no interior de uma cobertura móvel "Rainout shelter". Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, bifatorial com cinco repetições. O fator A foi constituído de três quantidades de resíduo vegetal sobre a superfície do solo: 0 (zero), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). E o fator B foi constituído de dois manejos da água de irrigação: (i) irrigado (as plantas de milho receberam irrigação conforme suas necessidades durante todo o ciclo de desenvolvimento) e, (ii) déficit hídrico no estágio vegetativo V4+déficit em Pendoamento. A cobertura móvel foi acionada quando da ocorrência de chuvas, impedindo que esta ocorresse sobre a área experimental. Determinou-se o armazenamento de água no solo em camadas de (0-10, 10-25, 25-55 e 55-85 cm de profundidade) e os indicadores da condição hídrica da planta: potencial mínimo e de base da água na folha, fotossíntese, condutância estomática, taxa de transpiração, eficiência do uso da água e área foliar. Não foram observadas diferenças entre os tratamentos para o armazenamento de água no solo e variáveis indicadores da condição hídrica da planta. Isso inevitavelmente ocorreu devido a elevada quantidade de chuvas, mesmo esta não ocorrendo diretamente no experimento. As chuvas foram 287% maior que a média histórica, mantendo o solo em torno da cobertura móvel saturado elevando o nível freático da água no solo no interior do experimento, impedindo a aplicação de déficit hídrico na cultura.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in agricultural engineering
Federal university of Santa Maria, RS, Brasil

MORPHOPHYSIOLOGICAL CHANGES IN MAIZE PLANTS SUBMITTED TO WATER DEFICIT

Author: Juliano Dalcin Martins
Advisor: Reimar Carlesso
Santa Maria, 01 march 2010.

The use of no tillage can be an important technology to minimize the effects of the water deficit, for providing more water to the plants according to the maintenance of crop residues the soil surface. This technique reduces the amount of water evaporation from the soil, keeping it more humid, reducing fluctuations in soil temperature and, maintaining the water content in the soil higher. The work was to study indicators of water status of maize plants grown under different amounts of crop residues in coverage in irrigated condition and water deficit. Developed two experiment in the Experimental Department of Agricultural Engineering, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, within a mobile coverage "Rainout shelter. We used a completely randomized, factorial with five replications. Factor A consisted of three volumes of straw on the soil surface: 0 (zero), 3 and 6 Mg ha⁻¹ straw of oat (*Avena strigosa* Schreb). Factor B consisted of two management of irrigation water: (i) crop (maize plants were irrigated as needed throughout the development cycle), (ii) water deficit at vegetative stage V4 + deficit tesseling. The mobile coverage was triggered when rainfall, preventing that occurred about in the experiment. We measured the water storage in the soil layers (0-10, 10-25, 25-55 and 55-85 cm depth) and indicators of plant water status: a potential minimum and the base of the leaf water, photosynthesis, stomatal conductance, transpiration rate and efficiency of water use, leaf area. There were no differences between treatments for the storage of water in the soil variables and indicators of plant water status. This inevitably occurred due to high amount of rainfall, even this does not occur directly in the experiment. The rains were 287% higher than the historical average, keeping the soil around the saturated mobile coverage raising the water level of water in the soil within the experiment, preventing the application of water deficit in the culture.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distribuição das partículas do solo e classe textural, para as diferentes camadas do perfil do solo. Santa Maria,RS. 2010..... 32

Tabela 2: Dias de ocorrência e quantidade de chuva, durante o experimento 1, com valores em lâmina (mm), da quantidade de água que ingressou no perfil do solo, utilizou a diferença do conteúdo de água no solo entre o início da chuva e 24 horas após o seu término, multiplicado pela profundidade da camada.Santa Maria, 2010.50

Tabela 3: Dias de ocorrência e quantidade de chuva, durante o experimento 2, com valores em lâmina (mm), da quantidade de água que ingressou no perfil do solo, utilizou a diferença do conteúdo de água no solo entre o início da chuva e 24 horas após o seu término, multiplicado pela profundidade da camada. Santa Maria, 2010.
..... 53

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Cobertura móvel, tipo “Rainfall Shelter”, utilizada no experimento, com a estrutura aberta (a) e fechada (b). Santa Maria, RS, 2010..... 34
- Figura 2 - Croqui experimental com distribuição dos tratamentos; fator resíduo vegetal: 0 Mg ha⁻¹ 3 Mg ha⁻¹ e 6 Mg ha⁻¹ de matéria seca de aveia preta, e o fator irrigação onde I= irrigado e D= déficit (V4+Vt), Santa Maria, RS, 2010..... 35
- Figura 3 – Chuvas e irrigações aplicadas durante o período experimental. Valores de chuva de Fonte: INMET, (Instituto nacional de meteorologia), Estação Automática de SANTA MARIA (RS), Santa Maria, RS, 2010..... 36
- Figura 4- Ilustração da instalação dos sensores FDR, demonstrando a profundidade de instalação em relação a superfície do solo e a posição do sensor em cada camada, Santa Maria, RS, 2010..... 37
- Figura 5 – Ilustração do sensor CS 616 Campbell Science utilizados para determinação do conteúdo de água no solo. Santa Maria, RS, 2010..... 38
- Figura 6- Valores de temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar(%), velocidade do vento (m/s) e insolação (horas) diários em relação aos dias após emergência (DAE), medidas em estação automática no interior e exterior da cobertura móvel, durante a condução do experimento 1 (27/10/2009-06/12/2009).Santa Maria, RS, 2010. 45
- Figura 7 – Valores de temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar(%), velocidade do vento (m/s) e insolação (horas) diários em relação aos dias após emergência (DAE), medidas em estação automática no interior e exterior da cobertura móvel, durante a condução do experimento 2 (07/12/2009-30/01/2010), Santa Maria, 2010. 47
- Figura 8 – Evapotranspiração de referência (Método Penman-Monteith) diários para os dois períodos experimentais. Santa Maria, RS, 2010..... 48
- Figura 9 – Valores de conteúdo de água (cm cm⁻³) e limite superior para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm de profundidade em dias após semeadura (DAS), para o experimento 1(0/10 a 06/12/2009. *Limite superior de 0,385, 0,357, 0,304 e 0,329(cm cm⁻³) respectivamente para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm de profundidade, Santa Maria, RS, 2010..... 52
- Figura 10– Valores de conteúdo de água (cm cm⁻³) e limite superior para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm de profundidade em dias após emergência (DAE), para os níveis de resíduo vegetal em cobertura no experimento 2(07/12/09 a 30/01/2010. *Limite superior de 0,385, 0,357, 0,304 e 0,329(cm cm⁻³) respectivamente para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm. Santa Maria, RS, 2010..... 54

Figura 11 – Valores de conteúdo de água (cm cm^{-3}) e limite superior para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm de profundidade em dias após emergência (DAE), para os níveis de irrigação no experimento 2(07/12/09 a 30/01/2010. *Limite superior de 0,385, 0,357, 0,304 e 0,329(cm cm^{-3}) respectivamente para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm. Santa Maria, RS, 2010.....	55
Figura 12- Potencial hídrico foliar mínimo de plantas de milho (-MPa), com 0, 3 e 6 Mg ha^{-1} de resíduo vegetal na superfície do solo e irrigado e com déficit, aos 17, 28, 32, 34 e 38 Dias após emergência (DAE). Santa Maria, RS, 2010.	59
Figura 13- Potencial hídrico foliar de plantas de milho (-MPa), em diferentes horários nos dia 21/01 e 25/01/2010 (41 e 45 DAE) com 0, 3 e 6 Mg ha^{-1} de resíduo vegetal na superfície do solo e irrigado e com déficit. Santa Maria, RS, 2010.	60
Figura 14- Potencial hídrico foliar de plantas de milho (-MPa), em diferentes horários nos dia 26/01 e 28/01/2010 (46 e 48 DAE) com 0, 3 e 6 Mg ha^{-1} de resíduo vegetal na superfície do solo e irrigado e com déficit. Santa Maria, RS, 2010.	62
Figura 15- Potencial hídrico foliar de plantas de milho (-MPa), em diferentes horários nos dia 26/01 e 28/01/2010 (46 e 48 DAE) com 0, 3 e 6 Mg ha^{-1} de resíduo vegetal na superfície do solo irrigado e com déficit hídrico. Santa Maria, RS, 2010.....	64
Figura 16- Índice de área foliar (IAF) aos 13,17, 20, 25, 31, 33, 37, 42, 48 DAE da cultura do milho em diferentes níveis de cobertura de resíduo vegetal na superfície (0, 3 e 6 Mg ha^{-1}) do solo irrigado e com déficit hídrico. Santa Maria, RS, 2010.....	65
Figura 17- Curso diário da taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), taxa de transpiração (E) condutância estomática (g) e da eficiência do uso da água (EUA) em milho para os dias 08/01 e 25/05, (28 e 45 DAE). Santa Maria, RS, 2010.....	68
Figura 18- Variação diária da taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), taxa de transpiração (E) condutância estomática (gs) e da eficiência do uso da água (EUA) em milho para o dia 14/01/2010 (34 DAE). Santa Maria, RS, 2010.	70
Figura 19- Curso diário da taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), taxa de transpiração (E) condutância estomática (gs) e da eficiência do uso da água (EUA) em milho para o dia 30/01/2010 (50 DAE). Santa Maria, RS, 2010.	71
Figura 20- Variação diária da radiação solar (Estação Automática), e a Radiação fotossinteticamente ativa (RFA), nos horários das avaliações (LI 6400 XT), para os dias 14/01/2010 e 30/01/2010, Santa Maria, RS, 2010.	72
Figura 21- Variação diária da Radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar nos Dias 41, 45, 46 e 48 DAE. Santa Maria, RS, 2010.....	102

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE 1- Croqui da estação experimental de irrigação do departamento de Engenharia Rural, UFSM, com localização da casa de vegetação (Rainout shelter) onde foi conduzido o experimento.....	88
APÊNDICE 2 - Normais climatológicas para Santa Maria, RS (1961-1990).	89
APÊNDICE 3- Médias mensais de chuva, temperatura máxima mínima e média do ar e umidade relativa do ar, nos meses de realização do experimento.	89
APÊNDICE 4- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o armazenamento de água na camada de 0-10 cm. Santa Maria, RS, 2010.	90
APÊNDICE 5- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o armazenamento de água na camada de 10-25 cm. Santa Maria, RS, 2010.	91
APÊNDICE 6- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o armazenamento de água na camada de 25-55 cm. Santa Maria, RS, 2010.	92
APÊNDICE 7- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o armazenamento de água na camada de 55- 85 cm. Santa Maria, RS, 2010.	93
APÊNDICE 8- Lâmina média diária armazenada (mm), para os diferentes níveis de palha e irrigação, na camada de 0-10cm. Santa Maria, RS, 2010.	94
APÊNDICE 9- Lâmina média diária armazenada (mm), para os diferentes níveis de palha e irrigação, na camada de 10-25 cm. Santa Maria, RS, 2010.	95
APÊNDICE 10- Lâmina média diária armazenada (mm), para os diferentes níveis de palha e irrigação, na camada de 25-55 cm. Santa Maria, RS, 2010.	96
APÊNDICE 11- Lâmina média diária armazenada (mm), para os diferentes níveis de palha e irrigação, na camada de 55-85 cm. Santa Maria, RS, 2010.	97
APÊNDICE 12- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o potencial de água na folha, para os dias 17, 28, 32, 34 e 38 após a emergência . Santa Maria, RS, 2010.	98
APÊNDICE 13- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o potencial de água na folha, para os dias onde foram realizadas avaliações horárias. Santa Maria, RS, 2010.	98

APÊNDICE 14- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o índice de área foliar. Santa Maria, RS, 2010..... 99

APÊNDICE 15- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para as variáveis (fotossíntese, condutância, transpiração, radiação fotosinteticamente ativa (RFA) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (VPDL) para o dia 14/01/2009. Santa Maria, RS, 2010..... 100

APÊNDICE 16- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para as variáveis (fotossíntese, condutância, transpiração, radiação fotosinteticamente ativa (RFA) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (VPDL) para o dia 30/01/2009. Santa Maria, RS, 2010..... 101

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE APÊNDICE	10
SUMÁRIO	12
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Sistema plantio direto	16
2.2 Evaporação e transpiração dos vegetais.....	18
2.3 Déficit hídrico na cultura do milho	21
2.3.1 Efeitos do déficit hídrico nos processos morfofisiológicos das plantas	22
2.3.2 Déficit hídrico e a área foliar das plantas	24
2.3.3 Déficit hídrico e as trocas gasosas das culturas	26
2.3.4 Potencial hídrico foliar associado ao déficit hídrico.....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Caracterização da área experimental.....	31
3.1.1 Local e clima	31
3.1.2 Histórico da área	32
3.1.3 Correção e adubação da área.....	32
3.2 Caracterização do experimento.....	33
3.3 Manejo da Cultura	35
3.4 Irrigação	36
3.5 Determinações de conteúdo de água no solo	37
3.6 Condições meteorológicas durante o experimento	39
3.7 Determinações morfofisiológicas da planta	39
3.7.1 Potencial de água na folha.....	40
3.7.2 Determinação da área foliar	41
3.7.3 Determinações fisiológicas das plantas	42
3.8 - Análise estatística	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Condições meteorológicas durante o período experimental.....	44
4.3 Indicadores da condição hídrica das plantas.....	57

4.3.1 Potencial da água na folha.....	57
4.3.2 Área Foliar.....	64
4.3.3. Trocas gasosas.....	66
5 CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE	87

1 INTRODUÇÃO

O déficit hídrico é o estresse ambiental que mais interfere no desenvolvimento das culturas agrícolas. Sendo, a disponibilidade de água às plantas o fator que mais afeta o rendimento de grãos da cultura do milho, por ocasionar perturbações fisiológicas e morfológicas que afetam o desenvolvimento e o rendimento desta cultura.

O milho é uma cultura de grande importância sócio-econômica para o Estado do Rio Grande do Sul, principalmente por ser produzido em pequenas e médias propriedades, proporcionando a principal fonte de renda a esse segmento de produtores rurais. Entretanto seu rendimento é extremamente dependente da condição hídrica durante o desenvolvimento, principalmente no período de pendramento-espigamento. O estresse abiótico provocado pela falta de água afeta seriamente o desenvolvimento e o rendimento das culturas no Estado. Portanto, condições limitantes, como o déficit hídrico, interferem nos processos fisiológicos das plantas, afetando o acúmulo de matéria seca e o rendimento final da cultura.

Com o intuito de se evitar perdas de solo e insumos agrícolas, o setor agrícola passou a adotar o sistema de semeadura direta. Esta prática, além de outras vantagens, permite a reestruturação do solo e a redução do escoamento superficial, facilitando a taxa de infiltração de água, evitando perdas de água por evaporação, ocasionando, assim, maior disponibilidade de água às plantas.

Para o caso do milho, que tem um período crítico bem definido, um aporte na quantidade de água armazenada no solo pode-se tornar o fator determinante do rendimento da cultura. A ação do déficit hídrico, juntamente com os sistemas de manejo utilizados, pode alterar o comportamento de vários parâmetros fisiológicos, destacando-se o potencial da água na folha e a condutância foliar.

O conhecimento do efeito de diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo sobre a dinâmica da água no solo, associado ao efeito de diferentes disponibilidades hídricas nas modificações morfofisiológicas das plantas de milho, torna-se importantes subsídios para o auxílio no planejamento e manejo

dos cultivos agrícolas, especialmente frente ao advento e expansão do sistema plantio direto e da importância da cultura do milho

A caracterização das mudanças provocadas nos parâmetros fisiológicos das plantas, quando cultivada em diferentes sistemas de manejo e níveis de água, é importante para a otimização da produção das culturas. Sendo que a caracterização destas mudanças podem trazer conhecimentos importantes para a avaliação da ocorrência de déficits hídricos.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico durante a fase de crescimento vegetativo e reprodutivo com diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície de solo.

O trabalho também possui como objetivo identificar parâmetros indicativos nas plantas da condição hídrica das mesmas e avaliar a respostas morfofisiológicas durante a ocorrência de déficits hídricos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema plantio direto

A crescente demanda por recursos hídricos torna necessária a utilização mais eficiente da água, tanto em áreas com disponibilidade hídrica limitada, como em regiões que ainda não enfrentam tais restrições. As áreas irrigadas nos países em desenvolvimento devem aumentar dos atuais 202 para 300 milhões de hectares até 2030. A escolha de tecnologias adequadas e, sobretudo, a promoção de métodos de irrigação que evitam o desperdício é fundamental para atender à demanda por alimentos, com o mínimo de impactos ambientais e sem degradação dos solos e aquíferos (JOHN, 2008).

Dentre as tecnologias que visam à preservação da água e do solo destaca-se o sistema plantio direto (PD). Sendo a utilização e manutenção do resíduo vegetal na superfície do solo uma das premissas deste sistema, que surgiu primeiramente, como um meio para controlar a erosão do solo. Com o surgimento de informações técnicas geradas pela pesquisa o sistema plantio direto passou a ser tratado como um sistema de exploração agropecuária, composto por um complexo e ordenado conjunto de práticas agrícolas, interrelacionadas e interdependentes (KOCHHANN; DERNADIN, 2000).

Com a adoção do PD a manutenção de plantas de cobertura e restos culturais na superfície do solo proporcionou melhorias nas suas características físicas, químicas e biológicas. Estes fatores positivos levaram a uma rápida expansão deste sistema de manejo do solo. No ano de 2000, no Brasil a área plantada usando plantio direto representava 63,83% do total, (DUARTE et al., 2006) e na safra agrícola de 2005/2006 foram plantados 25,5 milhões de hectares no Brasil conforme Federação Brasileira plantio direto na palha (2008).

Este crescimento acentuado se deve a vários aspectos: à importância econômica para os produtores e efeitos benéficos sobre as propriedades do solo, com o maior controle da erosão, à redução das perdas de água por escoamento superficial e ao conseqüente aumento da disponibilidade hídrica para as culturas (FREITAS et al., 2004).

A utilização do PD como forma de manejo do solo, ao longo dos anos altera propriedades físicas e hídricas do solo, isso porque, normalmente, solos cultivados no sistema PD sofrem compactação na superfície devido ao tráfego de máquinas e consolidação natural pelo não revolvimento, enquanto solos cultivados em plantio convencional (PC) são frequentemente revolvidos, o que modifica suas propriedades físico-hídricas em curto espaço de tempo (TORMENA et al., 2004).

Geralmente ocorre um aumento expressivo na densidade do solo nas camadas superficiais do perfil do solo em PD (SECCO et al., 2005; BESCANSÁ et al., 2006), dependendo de como o sistema foi manejado e iniciado, do tipo de solo e do histórico da área (STONE; SILVEIRA, 2001). Como consequência ocorre redução da porosidade total, na maioria das vezes pela diminuição da macroporosidade, aumentando a microporosidade (STONE; SILVEIRA, 2001; CRUZ et al., 2003; TORMENA et al., 2004; SECCO et al., 2005).

As diferenças de densidade e na dinâmica porosa entre o solo sob PC e PD, afetam a retenção de água no mesmo (BESCANSÁ et al., 2006), principalmente pelo efeito sobre o fenômeno da capilaridade, além da existência de bioporos que tornam a porosidade mais eficiente no transporte de água em relação ao convencional, devido à manutenção da continuidade dos poros (HUBERT et al., 2007).

O maior armazenagem e disponibilidade de água às plantas em solo sob PD em relação a PC, tem sido constatado principalmente em sistemas que apresentam mais tempo de utilização e em camadas próximas à superfície, (ROJAS; LIER, 1999) possivelmente pelo efeito de longo prazo do PD sobre a densidade e sobre a porosidade do solo (MASRI; RYAN, 2006).

O aumento do armazenamento de água no plantio direto, mesmo que reduzido, é importante para culturas sensíveis ao déficit hídrico e que possuem um período crítico bem definido. O milho, é uma dessas culturas onde um pequeno acréscimo de umidade no solo, no período crítico, pode garantir rendimentos satisfatórios, reduzindo flutuações na produção (DALMAGO et al., 2009). Bragagnolo; Mielniczuk (1990) citam também que em déficit hídrico iniciais, esse

benefício é alcançado quando utilizadas de 5,0 Mg ha⁻¹ a 7,5 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal adicionada à superfície do solo.

Vários trabalhos apontam para uma maior disponibilidade de água do sistema PD em relação ao sistema PC (DALMAGO et al., 2009; BIANCHI, 2004; BESCANSÁ et al., 2006; VITA et al., 2007; MARTORANO et al., 2009). A maior retenção e disponibilidade de água às plantas no solo em sistema PD, normalmente são atribuídas à barreira formada pelos resíduos, como a palha, que reduz a evaporação da água na superfície (BAUMHARD; JONES, 2002). O efeito de qualquer tipo de cobertura sobre a superfície do solo modifica o regime térmico e hídrico do solo, principalmente pela modificação no balanço de energia sob a cobertura, alterando o fluxo de calor latente responsável pela evaporação. Esta que é o maior componente do balanço da água para áreas com culturas irrigadas ou de sequeiro (FREITAS et al., 2004).

No sistema de PD, a presença de resíduo vegetal em superfície cria uma barreira física que impede a incidência direta da radiação sobre o solo, evitando o aquecimento nas mesmas proporções que o PC, reduzindo a disponibilidade de energia para o processo de evaporação (SILVA et al., 2006). Dependendo de quantidade de resíduo vegetal que cobre a superfície do solo pode praticamente eliminar as perdas de umidade pela evaporação direta da superfície durante os estádios iniciais da cultura, quando o dossel vegetativo não cobre totalmente o solo (PEREIRA et al., 2002).

A presença de resíduo vegetal em superfície atua também na redução da amplitude térmica do solo, sendo esta menor do que em sistemas de preparo com o revolvimento do solo e sem resíduo vegetal (SILVA et al., 2006).

2.2 Evaporação e transpiração dos vegetais

A evaporação da água da superfície do solo juntamente com a evaporação da água das folhas (processo fisiológico denominado de transpiração), possibilita a passagem da água do solo para atmosfera pelo processo chamado de evapotranspiração. A transpiração é nada mais do que a evaporação da água que

foi utilizada nos diversos processos metabólicos necessário ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

A evaporação da água é um processo físico, pelo qual a água em estado líquido se converte em vapor de água (vaporização). Esta mudança de fase ocorre com o aumento da energia cinética das moléculas, até a quebra da energia de ligação ou simplesmente, forças moleculares de coesão (LIBARDI, 1995).

As forças de tensão superficial, que impedem que as moléculas de vapor de água escapem para a atmosfera, são vencidas, quando a energia interna de agitação das mesmas for maior do que a energia de ligação molecular na superfície evaporante. Isto é alcançado quando são fornecidas cerca de 590 calorias por grama de água a ser evaporada, à temperatura de 15°C. As moléculas de água, assim acionadas, quebram as ligações que as mantêm unidas e saem do sistema, carregando consigo esta energia na forma de calor latente de evaporação (OMETTO, 1981).

A energia requerida para esse processo é principalmente oriunda da radiação solar direta, e em menor grau da temperatura do ar. A força impulsora para retirar o vapor de água de uma superfície evaporante é a diferença entre a pressão de vapor de água da superfície evaporante e a pressão de vapor de água da atmosfera circundante. À medida que ocorre a evaporação, o ar circundante se satura de forma gradual e o processo torna-se cada vez mais lento, até parar completamente, se o ar úmido circundante não se transferir à atmosfera. Assim, para que o processo de evaporação se mantenha, há a necessidade de uma constante renovação do ar junto à superfície, trocando o ar saturado por ar mais seco. Esta troca é dependente da velocidade do vento. Para tanto, fatores como a radiação solar, a temperatura do ar, o déficit de saturação e a velocidade do vento, são parâmetros climatológicas que devemos considerar no processo de evaporação (ALLEN et al., 2005). Esses fatores em conjunto formam a demanda evaporativa da atmosfera, normalmente considerada como variável representativa das condições meteorológicas (DALMAGO, 2004). Assim, a evaporação é um processo exclusivamente de superfície, mas dependente das propriedades físicas da matéria umedecida, por exemplo, o solo quando não se trata de superfície de água livre (OMETTO, 1981).

Quando a superfície evaporante é a superfície do solo, o grau de cobertura por parte do cultivo e a quantidade de água disponível na superfície evaporante são fatores que também afetam o processo de evaporação. Para que ocorra o processo

de evaporação da água do solo e o mesmo seja mantido ao longo do tempo, são necessárias três condições: (i) A superfície do solo deve ser continuamente, suprida de energia; (ii) Deve haver uma diferença de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar. Estas duas condições são determinadas pelas variáveis meteorológicas (HILLEL, 1973) e são influenciadas pelas características da superfície, como a cor e a rugosidade, que reduzem a quantidade de energia disponível e a velocidade do vento próxima à mesma (OMETTO, 1981). E (iii) Deve haver um suprimento contínuo de água do interior do solo à superfície, onde ocorre a evaporação. Esta condição depende do potencial matricial e das condições de transferência do meio, como a condutividade hidráulica, para que, juntos consigam manter uma taxa máxima de perda de água por evaporação (HILLEL, 1973).

A evaporação na superfície do solo é influenciada por vários fatores que determinam a variabilidade da taxa de perda de água entre diferentes áreas de cultivo. Estes fatores foram separados por Gordiyenko; Kostogryz (1990) em dois grupos: os meteorológicos e os referentes ao solo. Os fatores meteorológicos são os mesmos que compõem a demanda evaporativa da atmosfera, como a radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar (OMETTO, 1981; GORDIYENKO; KOSTOGRYZ, 1990), os quais estão inseridos, também, na variável tempo de secagem do solo (BOND; WILLIS, 1970). No entanto os fatores relacionados com o solo correspondem à estrutura, densidade e porosidade (GORDIYENKO; KOSTOGRYZ, 1990), que afetam o teor de umidade, bem como o fluxo gasoso e da água no interior do solo (GORDIYENKO; KOSTOGRYZ, 1990).

A presença de plantas em crescimento interfere indiretamente no processo de evaporação da água do solo, pela interceptação da radiação solar incidente, ocasionando o sombreamento do solo pelo incremento da área foliar das plantas durante o ciclo e reduzindo a disponibilidade de energia que atinge o solo. No início de um cultivo o efeito da área foliar das plantas é reduzida, e a evaporação tende a ser maior, perdendo importância quando a área foliar das plantas é suficiente para o fechamento das entrelinhas de cultivo (BERGAMASCHI et al., 2004; DALMAGO et al., 2004).

A cultura determina a velocidade de extração de água do solo, a qual também é variável com o tempo, em função do crescimento da área foliar e da expansão do sistema radicular. O aumento da área foliar das plantas permite maior interceptação da radiação (PETRY et al., 2007), elevando a demanda de água da cultura e, por

consequente, ocasionando uma maior extração de água do solo. Já o crescimento radicular, contribui para o avanço da frente de extração, à medida que aumenta o volume do solo explorado pelo sistema radicular das plantas, aumentando a eficiência de absorção de água ao longo da arquitetura radicular (BASSOI et al., 1994).

2.3 Déficit hídrico na cultura do milho

Entre os cultivos agrícolas de interesse para o Estado do Rio Grande do Sul, destaca-se o milho, cuja demanda é crescente, devido à expansão das atividades ligadas à criação de animais. O milho é uma cultura cujo rendimento apresenta alta variabilidade, devido principalmente à ocorrência de déficits hídricos, causados pelas variações da ocorrência de chuvas, mesmo esta sendo bem distribuída ao longo do ano: 24% no verão, 25% no outono, 25% no inverno e 26% na primavera (MORENO, 1961). No entanto, nos meses de verão, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, as chuvas não são suficientes para suprir as necessidades das culturas, além da variabilidade espacial que ocorre neste período (MATZENAUER et al., 2002).

O rendimento das culturas pode ser afetado mesmo em anos climaticamente favoráveis, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico de desenvolvimento da cultura. Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa (BERGAMASCHI et al., 2007). Porém, nesse período não estão sendo formados os componentes do rendimento. Assim, os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis (KRON et al., 2009) o que poderá garantir níveis satisfatórios de produção grãos.

O milho é relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porém demonstra extrema sensibilidade com decréscimo no rendimento de grãos se o déficit hídrico ocorrer na fase de reprodutiva (SANTOS; CARLESSO, 1998), em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (SHUSSLER; WESTGATE, 1991; ZINSELMEIER et al., 1995),

além da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar (RADIN et al., 2003; NIED et al., 2005) e da elevada carga energética proveniente da radiação solar. Reduções no rendimento são observadas se o déficit hídrico ocorrer entre a antese e o início de enchimento de grãos (BERGONCI et al., 2001; BERGAMASCHI et al., 2004), pois a recuperação da capacidade produtiva da cultura não poderá ocorrer de forma satisfatória, uma vez que os eventos reprodutivos são muito mais rápidos do que os verificados durante o crescimento vegetativo.

O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (CHAVES et al., 2002). Assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 2009). A necessidade de resolver este conflito faz com que a planta desenvolva mecanismos morfofisiológicos, que a conduz a economizar água para o uso em períodos posteriores (SAHA et al., 2008) como, atingir a produção de sementes.

O déficit hídrico provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (MEDICI et al., 2007). No entendimento das respostas das plantas ao déficit hídrico é importante quantificar a capacidade de armazenamento de água no solo e analisar a influência dos mecanismos de adaptação das plantas à redução da disponibilidade de água no solo. Pois, a quantidade de água armazenada no solo disponível às plantas varia com a textura e as características físicas do solo, levando a planta a apresentar diferentes respostas em seus mecanismos de resistência morfofisiológicos.

2.3.1 Efeitos do déficit hídrico nos processos morfofisiológicos das plantas

A condição hídrica da planta num dado momento pode estar caracterizando um estado de estresse, cujo fator estressante é o déficit hídrico o qual, segundo Taiz; Zeiger (2009) pode ser definido como, todo o conteúdo de água no tecido ou célula vegetal abaixo do conteúdo de máxima hidratação. Essa definição sugere que o déficit hídrico é uma medida de planta que pode ser obtida diretamente pelo

conteúdo de água ou indiretamente pelo estado energético da água nos diferentes órgãos da planta (LARCHER, 2000).

O movimento da água ocorre em função das diferenças de seu potencial total, movendo-se do ponto de maior para os de menor potencial. Portanto, o potencial da água no solo deve ser maior que o da planta, e este maior que o da atmosfera para que o fluxo de água seja mantido neste sistema. Quando a transpiração foliar excede a absorção de água pelas raízes a planta demonstra um balanço hídrico negativo. Esta situação ocorre diariamente, sendo caracterizada como déficit hídrico de curto prazo (SOUZA; CARDOSO, 2003; PIMENTEL, 2004). O mesmo pode ser revertido via controle da abertura estomática (diminuição da transpiração) e manutenção da absorção de água pelas raízes ao longo de um período noturno (BIANCHI, 2004). Entretanto, o déficit hídrico de longo prazo ocorre quando o conteúdo de água na planta não é recuperado após um período noturno de baixa transpiração. Isso ocorre devido à escassez de água no solo, ocasionada pela falta de chuva ou irrigação, aliada à elevada demanda evaporativa ao longo de vários dias, o que aumenta a resistência na interface solo-raiz (LARCHER, 2000).

A diminuição do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são relativamente insensíveis. Para Chaves et al. (2002) a extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade e duração, e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. A resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, segundo Taiz; Zeiger (2009), consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, freqüentemente, respostas fisiológicas que resultam de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos futuros (KRON et al., 2009).

A limitação do crescimento das plantas impostas por um déficit hídrico é principalmente devido a reduções do equilíbrio de carbono na planta, que depende da interação entre fotossíntese e respiração (FLEXAS et al., 2006). A redução da difusão de CO₂ da atmosfera para o local de carboxilação é a principal causa para a redução da fotossíntese em condições de maior déficit hídrico (CHAVES; OLIVEIRA, 2004; FLEXAS et al., 2004). Essa reduzida capacidade difusiva da folha é devido, principalmente, ao fechamento estomático (WARREN et al., 2004).

Uma das causas do fechamento estomático é a redução da turgescência das células, sendo importante a manutenção do turgor celular, para permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese (OTIENO et al., 2006). Durante períodos de deficiência hídrica, a manutenção do crescimento da planta depende de sua capacidade de conservar a turgescência das células, através do fenômeno conhecido como ajustamento osmótico (Niu et al., 2003).

Segundo Bergamaschi et al. (2006), o déficit hídrico afeta quase todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas: reduz a área foliar (por diminuir o crescimento ou pela senescência das folhas); redução na fotossíntese (devido à diminuição da área foliar, murchamento e enrolamento de folhas e fechamento dos estômatos) e afeta vários outros processos, tais como: brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos.

2.3.2 Déficit hídrico e a área foliar das plantas

A área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas, sendo o potencial produtivo de uma planta severamente inibido quando exposta a déficit hídrico (FERNÁNDEZ et al., 1996). Com a diminuição de conteúdo de água nas folhas da planta, suas células tipicamente contraem-se e as paredes perdem a turgidez. Esse decréscimo de volume celular resulta em menor pressão de turgor e na subsequente concentração de solutos na célula. Como a redução do turgor é o primeiro efeito significativo do déficit hídrico, as atividades dependentes do turgor, como a expansão foliar e o alongamento de raízes são mais sensíveis (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A redução da expansão celular, diminui a área foliar da planta e conseqüentemente reduz o índice de área foliar (IAF), definido como a razão entre a área foliar de uma população de plantas e a área de solo por ela ocupada. O IAF tem relação com a capacidade fotossintética do vegetal por estar relacionado à área de assimilação de CO₂ e de interceptação de radiação (MULLER et al., 2005). A redução do IAF também diminui a eficiência de interceptação da radiação

fotossinteticamente ativa pela cultura (RFA) (KUNZ et al., 2007, EARL; DAVIS, 2003).

Segundo Belaygue et al. (1996) a mudança no IAF em condições de déficit hídrico depende da mudança individual da área foliar que ocorre em cada folha. Para estes autores, em muitas espécies, como no milho ou girassol, o número de folhas já é determinado geneticamente, entretanto Nesmith; Ritchie (1992) relatam que, a ocorrência de déficit hídrico antes do florescimento das plantas reduz o número final de folhas do milho.

O déficit hídrico reduz a área foliar específica, e a matéria seca total das plantas (CRAUFURD et al., 1999). Quando o déficit hídrico é combinado com alta demanda evaporativa causa redução no comprimento e largura da folha, devido ao declínio do número de células na folha (JONES, 1985).

Períodos de déficit hídrico que levam ao fechamento estomático promovem limitações na fotossíntese (SALA; TENHUNEM, 1996). Com aumento do déficit hídrico há diminuição no potencial da água na folha, no potencial osmótico e na condutância estomática (PREMACHANDRA et al., 1992). Em síntese, a resposta da planta ao déficit hídrico vai depender da quantidade de água perdida, da taxa de perda e da duração da condição de déficit (BRAY, 1997). Quando o potencial de água foliar diminui, ocorre de imediato, retardamento na expansão celular, levando a diminuição do crescimento da folha.

A sensibilidade do desenvolvimento das folhas ao déficit hídrico pode mudar durante o dia, ou nas diferentes estações do ano, porém, de modo geral, o entendimento dos mecanismos utilizados pela planta são, segundo Shultz; Matthews (1993), ainda limitados.

O principal e primeiro efeito a se manifestar numa situação de déficit hídrico é a redução da expansão celular, pois, em condições de restrição hídrica, o limiar de turgescência ou potencial de pressão mínimo para que haja expansão pode não ser atingido (KUNZ et al., 2007). Déficit hídricos mais severos podem também afetar o processo de divisão celular (KRAMER; BOYER, 1995). Por atingir esses processos, o déficit hídrico também afeta o desenvolvimento das plantas, com decréscimo da área foliar, reduzindo a fotossíntese da planta. Entretanto, a mudança mais visível no dossel vegetativo da cultura de milho sob déficit hídrico é o enrolamento das folhas, cuja intensidade está relacionada com o potencial da água nas folhas (SANTOS; CARLESSO, 1998; MOULIA, 2000).

A resposta das folhas das plantas ao déficit hídrico inclui enrolamento, enrugamento e murchamento bem como movimentos heliotrópicos que alteram a interceptação de radiação solar, buscando reduzir a temperatura da folha, para evitar perdas maiores de água pela transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Durante o desenvolvimento das plantas, a atividade fotossintética por área foliar aumenta com a idade da folha, até a sua expansão máxima, decrescendo após, até a sua senescência. A senescência é um processo degenerativo que ocorre ao final do desenvolvimento de qualquer órgão vegetal, incluindo folhas, caules, flores e frutos (LAFARGE; HAMMER, 2002). Este processo, nas folhas do milho inicia-se antes da cultura atingir a sua máxima área foliar, próximo ao florescimento, progredindo a taxas crescentes durante a fase reprodutiva da cultura (SADRAS et al., 2000).

O déficit hídrico aumenta a senescência das folhas (VALENTINUZ; TOLLENAAR, 2004), isto ocorre porque o solo seco não pode fornecer principalmente nitrogênio suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura e o nitrogênio do interior da planta é retranslocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento. Entretanto, a intensidade da senescência depende da quantidade de nitrogênio e de água no solo, das reservas de nitrogênio na planta e da demanda de nitrogênio dos pontos de crescimento (LARCHER, 2000).

2.3.3 Déficit hídrico e as trocas gasosas das culturas

As plantas enfrentam demandas competitivas ao absorver CO_2 da atmosfera para a fotossíntese enquanto limitam a perda de água. Assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO_2 para produção de carboidratos. No entanto as plantas não podem impedir a difusão de água da folha para a atmosfera sem, ao mesmo tempo a excluir a entrada de CO_2 na folha (TAIZ; ZEIGER, 2009). O mecanismo que regula entradas e saídas de CO_2 e água nas folhas é chamado de condutância estomática.

Conforme Larcher et al. (2000), pode-se considerar a condutância como uma medida da permeabilidade com que a água e o CO_2 difundem-se através da folha. A

condutância foliar ao vapor de água é constituída pelas condutâncias estomática, cuticular e dos espaços intercelulares. Dentre estas, a condutância estomática assume maior importância por ser a principal via por onde ocorrem as trocas gasosas entre a planta e a atmosfera.

O controle estomático da condutância foliar à água é um importante mecanismo através do qual o vegetal limita a perda de água, podendo ser utilizada como indicador do déficit hídrico (PAIVA et al., 2005). O uso de indicadores da condição hídrica das plantas, como a condutância foliar, pode ser importante no monitoramento da disponibilidade de água no solo e da necessidade de irrigação. Indicadores da condição hídrica das plantas, como a condutância estomática possui relação direta com o nível de disponibilidade de água no solo. (BIANCHI et al., 2007). Segundo Pereira et al., (2003) a condutância foliar é o indicador fisiológico que melhor se correlaciona com a fotossíntese em diferentes condições de disponibilidade hídrica.

A resposta mais comum ao déficit hídrico é o fechamento estomático, que provoca reduções na taxa de fotossíntese, pois reduz a disponibilidade de CO₂ (SANTOS et al., 2009). O fechamento estomático pode ser considerado como uma resposta direta da redução do potencial da água na folha induzido pelo déficit hídrico (SANTOS et al., 2004, 2006). Conforme Jones (1985), o fechamento estomático pode ocorrer dentro de uma larga faixa de potencial de água na folha, dependendo da espécie. Os estômatos de milho são fechados com potenciais de água na folha em torno de $-1,7$ MPa (TURNER, 1974). Bergonci (1997); Bono et al. (2001); Bianchi (2004) verificaram que houve diminuição na condutância estomática do milho quando o potencial da água na folha atingiu ao valor de $-1,5$ MPa. A condutância foliar apresenta correlação com o potencial mínimo da água na folha de milho, sendo que, quando se diminui o potencial da água na folha, diminui a condutância foliar (BONO, 1997; BERGONCI et al., 2000a) indicando que, a condutância estomática é dependente do estado hídrico da planta.

Outros fatores também podem influenciar no fechamento estomático. Diversos trabalhos relatam que o aumento do teor de ácido abscísico (ABA) nas plantas, especialmente nas raízes, pode ser relacionado ao conteúdo de água no solo (TARDIEU et al., 1993; GOMES et al., 2003). Quando as plantas passam por um período de déficit hídrico, aumenta a biossíntese de ABA. Este é translocado das raízes para a parte aérea através do xilema e pode causar o fechamento estomático

(GOMES et al., 2004, DAVIES et al., 2002). Resultados obtidos por Sauter et al. (2001) evidenciam que estômatos podem responder as condições percebidas nas raízes.

No entanto, o mecanismo que causa o fechamento estomático durante o secamento do solo é um assunto em debate. Fitofisiologistas conhecidos e respeitados em nível mundial têm visão diferente a respeito do sensor primário das plantas para detectar a diminuição do conteúdo de água no solo. Na revisão feita por Streck (2004) fica claro que após vários anos de pesquisas a resposta de como a planta detecta o processo de déficit hídrico do solo ainda não é unânime.

2.3.4 Potencial hídrico foliar associado ao déficit hídrico

O potencial de água na folha descreve o estado energético da água, cujos gradientes explicam os fluxos de água no sistema solo-planta-atmosfera. O valor do potencial da água indica a diferença entre o estado energético da mesma no sistema considerado e no estado de referência. No estado de referência o potencial da água é considerado zero. Sabendo-se que energia por volume tem dimensão igual à pressão, assim o potencial da água pode ser expresso em unidades de pressão (MPa).

O potencial da água, para tecidos vegetais, é dado pela equação:

$$\psi = \psi_p + \psi_o + \psi_m + \psi_g \quad (1)$$

Onde: ψ é o potencial da água no tecido, ψ_p o potencial de pressão, ψ_o o potencial osmótico, ψ_m o potencial matricial e ψ_g o potencial gravitacional. Na prática, o potencial matricial no citoplasma pode ser decomposto em potencial de pressão e potencial osmótico, enquanto o potencial gravitacional é desprezível para plantas de baixo porte. Assim, o potencial da água nos tecidos vegetais reduz-se aos dois primeiros termos da equação 1 (REICHARDT; TIMM, 2004).

O valor do potencial de pressão pode ser negativo, por exemplo, no xilema ou entre as paredes das células, onde se desenvolvem forças de tensão ou pressão

hidrostática negativa (TAIZ; ZEIGER, 2009). Contudo, em geral, o potencial de pressão varia de um valor positivo máximo, quando a célula está na turgidez máxima, a um valor negativo quando a célula perde a turgescência, tornando-se flácida por perda de água (ANGELOCCI, 2002). O potencial hídrico foliar tem sido usado principalmente para o entendimento dos mecanismos envolvidos e os processos afetados no controle do déficit hídrico pela própria planta. Quando o conteúdo de água no solo decresce, o potencial da água no solo e na folha também decresce e, como consequência, o déficit hídrico se desenvolve nas folhas e as células guardas perdem turgor, causando fechamento estomático (GUBIANI, 2008).

Guimarães et al., (2006) relatam que, pequenas diferenças no potencial de água na folha podem ser verificadas quando as plantas já passaram por déficits hídricos e acionaram mecanismos de tolerância, o que dificilmente acontece quando o déficit hídrico ocorre de maneira abrupta. Porém, se o potencial de água decrescer muito pode comprometer a recuperação da cultura. Mesmo havendo variações ao longo do dia (déficit de curto prazo) em plantas irrigadas, o potencial da água na folha tem sido utilizado em estudos das relações hídricas dos vegetais, representando um bom indicador do estado hídrico da planta podendo ser utilizado como critério para irrigação em sistemas de monitoramento (YATAPANAGE; SO, 2001).

Diversos autores procuraram estabelecer relações entre o potencial da água na folha e determinados parâmetros da planta. Entre eles, Meyer; Boyer (1981) e Kramer; Boyer (1995) relatam que, para o crescimento da planta é necessário um potencial de pressão mínimo. De acordo com Azevedo et al. (1971), o crescimento das plantas de milho diminuía com potenciais da água na folha menores do que $-0,28$ MPa, cessando o crescimento a $-0,7$ MPa. Pimentel; Perez (2000) consideraram que o potencial de água na folha de $-1,5$ MPa como sendo crítico para a recuperação do feijoeiro. Entretanto, Bono et al. (2001) classificaram em três intervalos representativos das condições hídricas nos seguintes níveis: $\Psi < -1,5$ MPa como alto déficit, Ψ entre $-1,5$ e $-0,8$ MPa como médio déficit e $\Psi > -0,8$ MPa como sem condição de déficit.

Da mesma forma, Boyer (1970) determinou que, potenciais da água na planta de milho menores do que $-0,4$ MPa afetavam significativamente a expansão foliar, embora a fotossíntese máxima ocorresse com potenciais foliares entre $-0,6$ a $-0,8$ MPa. Bergonci (1997) observou que, acima de um potencial mínimo da água na

folha de $-1,5$ MPa as plantas de milho recuperavam sua condição hídrica após o fechamento estomático, sendo esse valor possível de ser utilizado como critério indicador de déficit hídrico. No entanto, o potencial da água na folha depende do potencial da água no solo, da resistência ao fluxo de água em todo o sistema e da taxa de transpiração (YU et al., 2007). Estudando o comportamento do potencial de água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo, Bergonci; Pereira (2002) concluíram que a condutância estomática é menos sensível à queda da fração de água disponível para a planta do que o potencial de água na folha. Bergonci et al. (2000b) verificaram que, o potencial de água na folha em milho se correlacionou com o potencial matricial de água no solo a 45 cm de profundidade, e mostrou ser um indicador adequado de déficit hídrico.

O potencial da água foliar de base ou simplesmente potencial de base, corresponde à medida do potencial foliar feita pela manhã, antes do nascer do sol. Uma das grandes vantagens do potencial de base, quando comparado com outras variáveis que descrevem o estado hídrico da planta, é sua independência com relação às condições ambientais diurnas. Na realidade, essa variável reflete o equilíbrio de potencial entre a planta e o solo (Katerji; Hallaire, 1984).

O valor do potencial de base depende do estado hídrico do solo e da densidade e profundidade do sistema radicular. Ansley et al., (1992), a relação entre condutância estomática e potencial de base, sugere que a água perdida através dos estômatos durante o dia, depende primeiramente da reidratação noturna dos tecidos vegetais.

Para Reich; Hinckley (1989), afirmam que o controle estomático, ao amanhecer e ao entardecer, não é inerente à própria folha, mas depende de todos os processos envolvidos na dinâmica da água no sistema solo-planta. Considerando que o potencial de base é medido antes da abertura estomática, parece haver um equilíbrio entre o estado hídrico da planta e o do solo. Embora exista uma relação entre o potencial de base e o potencial da água no solo, nem sempre é evidente. Ansley et al., (1992), observaram a ocorrência de uma relação linear entre o conteúdo de água no solo e o potencial de base entre 0 e $-0,4$ MPa. Mas, a partir deste último valor, essa relação não se mostrou linear em milho, observando-se que a planta perde pouca água para o ambiente,

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

3.1.1 Local e clima

Dois experimentos com a cultura do milho foram conduzidos no ano agrícola 2009/2010, na Estação Experimental de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada na latitude de 29° 43' 40''S, longitude de 53°43'11''O e altitude de 103 m, região climática da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

O clima da região, conforme Moreno (1961), é do tipo "Cfa" de acordo com a classificação climática de Köppen (subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões quentes). Nesta classe, a temperatura média do mês mais quente do ano é superior a 22°C e as temperaturas mínimas do mês mais frio oscilam entre -3 e 18°C. A chuva média anual da região varia de 1.322 a 1.769 mm. No entanto, nos meses de verão, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, freqüentemente as chuvas não são suficientes para suprir as necessidades das culturas. Além da variabilidade anual da distribuição da chuva e ao longo de um ano agrícola, nos meses de verão, essas apresentam maior variabilidade espacial.

O solo do local é classificado como Argissolo vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), que são solos profundos e com presença de um gradiente textural no perfil, onde o horizonte B é mais argiloso que o horizonte A (STRECK et al.,2008). Para avaliação do balanço hídrico do solo, o perfil do solo foi dividido em quatro camadas, em função da classe textural (Tabela 1). A camada de 0-25 apresenta classe textural franco sendo esta camada foi dividida em duas sub-

camadas. Portanto, as camadas foram divididas nas profundidade de 0-10 cm, 10-25 cm, 25-55 cm e 55 a 85 cm de profundidade.

Tabela 1- Distribuição das partículas do solo e classe textural, para as diferentes camadas do perfil do solo. Santa Maria,RS. 2010.

Profundidade (cm)	Distribuição do tamanho das partículas (%)				Classe Textural
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
0-10	17,5	17,0	43,5	22,0	Franco
10-25	17,5	17,7	38,6	26,3	Franco
25-55	17,0	16,3	32,9	33,7	Franco argiloso
55-85	11,7	13,0	30,2	45,1	Argila

3.1.2 Histórico da área

A estação experimental que possui área de 3,5 há e foi instalada no ano de 2009. Antecedendo a instalação da estação experimental a área encontrava com vegetação nativas, principalmente gramíneas, que eram utilizados como pastagens para animais.

3.1.3 Correção e adubação da área

Amostras de solo foram coletadas para de determinação dos níveis de fertilidade do solo no primeiro semestre de 2008, usando um trado fatiador, coletou-se duas sub-amostras por ponto georeferenciado, a uma profundidade de 0 a 0,2 cm. Para a amostragem foi utilizada uma malha regular de 25 X 25 metros, totalizando 74 pontos amostrados.

Para a indicação da quantidade de calcário a ser aplicado levou-se em consideração o critério da saturação de bases, (elevar a 75%). A adubação de correção total visou elevar os teores de potássio e fósforo no solo até o teor crítico, os quais para esse solo foram de 180 mg/dm³ e 24 mg/dm³, respectivamente,

(Comissão de química e Fertilidade do Solo RS/SC, 2004). Com o auxílio do software Campeiro.6.0 foram gerados mapas de fertilidade e de aplicação de corretivos e fertilizantes.

No verão de 2009 foi realizada a correção da acidez do solo de acordo com o mapa de aplicação. Utilizou-se calcário com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 75%, em três diferentes taxas de aplicação, (2, 4 e 6 toneladas ha⁻¹). Inicialmente foram aplicados $\frac{3}{4}$ da dose do calcário e com ajuda de arado tipo pé-de-pato, com cinco hastes, o calcário foi parcialmente incorporado. Após 30 dias foi aplicado o restante da dose e realizada a aração do solo com arado de disco, para incorporação do calcário, nivelando-se a superfície do solo com duas gradagens leves.

A aplicação de fósforo e potássio destinados à adubação de correção do solo foi feita em superfície, utilizando uma semeadora em linha, espaçada em 17 cm entre linhas. Utilizou-se cloreto de potássio e super fosfato simples, como fontes de potássio e fósforo, respectivamente, com taxas de aplicação de 150, 300 e 450 kg ha⁻¹ de acordo com o mapa de aplicação. Após a aplicação foi realizada a incorporação com uma gradagem leve.

No inverno de 2009, a área de 3,5 ha foi dividida em onze sub-áreas, com dimensões distintas, sendo na sub área central instalado o experimento. (Apêndice 1).

3.2 Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido no interior de uma cobertura móvel "*Rainout Shelter*", com orientação leste-oeste, composta por duas estruturas metálicas de 16 X10 metros e pé-direito de 4 metros, ocupando área total de 74 X 10 metros. A área útil do experimento foi de 32 X 10 metros, na parte central destas estruturas (Figura1).

A movimentação das estruturas metálicas foram realizadas sob trilhos metálicos, com movimentação mecânica controladas por um painel de controle. A cobertura móvel era somente acionada momentos antes da ocorrência de chuvas na

área experimental. Dessa forma, é possível a aplicação de déficit hídrico e de diferentes lâminas de irrigação sem a interferência de chuvas.

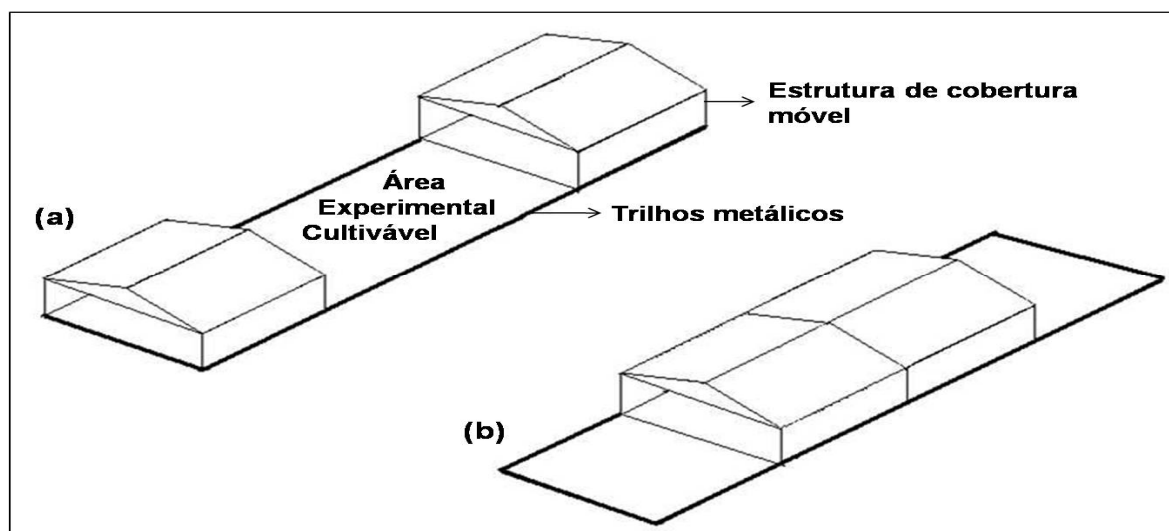


Figura 1- Cobertura móvel, tipo “Rainfall Shelter”, utilizada no experimento, com a estrutura aberta (a) e fechada (b). Santa Maria, RS, 2010.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, bifatorial, com cinco repetições. O fator A foi constituído de três quantidades de resíduo vegetal sobre a superfície do solo: 0 (zero), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). O fator B foi constituído de dois manejos da água de irrigação: (i) irrigado (as plantas de milho receberam irrigação conforme suas necessidades durante todo o ciclo de desenvolvimento); (ii) déficit hídrico no estágio vegetativo V4 (quatro folhas totalmente expandidas), mais um déficit hídrico aplicados antes do pendoamento. As unidades experimentais apresentam dimensões de 3 m x 2,9 m, num total de 33 parcelas. Para o delineamento descrito foram usadas 30 parcelas, conforme (Figura 2).

O resíduo vegetal de aveia utilizada nos tratamentos em sistema de plantio direto foi cultivada no período de inverno antecedente à instalação do experimento. A aveia foi dessecada no estágio de florescimento da cultura. Após secagem completa a campo, a parte aérea foi colhida e armazenada para posterior utilização. Na preparação dos tratamentos, retiraram-se todas as plantas daninhas e os resíduos vegetais de culturas antecessoras da área e, após a implantação da cultura, a quantidade de resíduo vegetal designada em cada tratamento foi distribuída uniformemente na superfície do solo.

Foram conduzidos dois experimentos, o primeiro de 20 de novembro de 2009 a 06 dezembro de 2009 e o segundo iniciado logo após o encerramento do primeiro experimento com período de avaliação de 07 de dezembro de 2009 a 30 de janeiro de 2010.

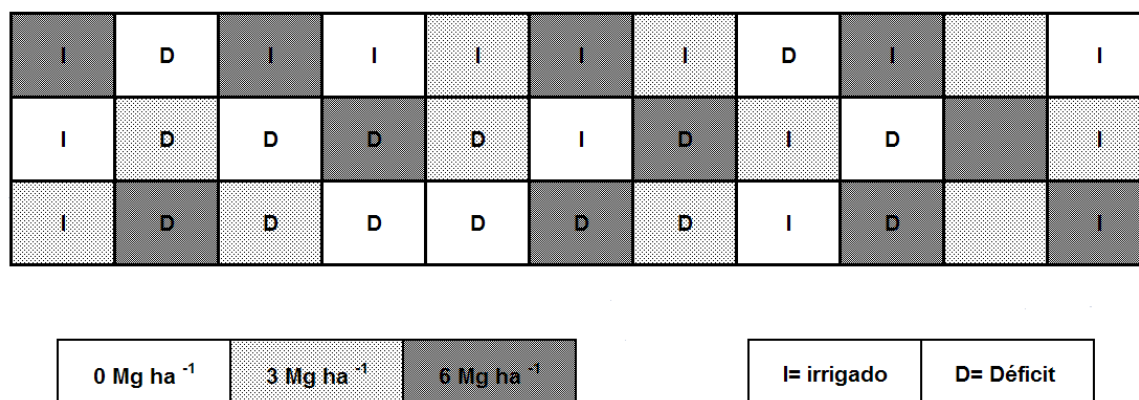


Figura 2 - Croqui experimental com distribuição dos tratamentos; fator resíduo vegetal: 0 Mg ha⁻¹, 3 Mg ha⁻¹ e 6 Mg ha⁻¹ de matéria seca de aveia preta, e o fator irrigação onde I= irrigado e D= déficit (V4+Vt), Santa Maria, RS, 2010.

3.3 Manejo da Cultura

A semeadura do milho foi realizada com semeadora manual. Utilizando o híbrido de milho Pioneer 32R22 H, com semeadura no dia 20 de novembro de 2009, para o experimento 1 e 07 de dezembro para o experimento 2. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,50 m e com população média final de 65.000 plantas ha⁻¹.

A fertilização do solo foi realizada com base na análise química do solo, seguindo as recomendações para a cultura do milho, conforme a Comissão de química e Fertilidade do Solo RS/SC (2004). Utilizou-se para a adubação de base da cultura o equivalente a 19 kg de N ha⁻¹, 114 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 76 kg de K₂O ha⁻¹, e mais 100 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (45-0-0) em cobertura, divididos em duas aplicações, sendo a primeira quando a cultura atingiu o estágio V4 (quatro folhas completamente expandidas) e a segunda no estágio V8 (oito folhas completamente expandidas), segundo a escala fenológica apresentada por Ritchie et al. (1993).

3.4 Irrigação

A irrigação foi realizada utilizando-se um sistema de tubos gotejadores autorreguláveis de 16 mm de diâmetro, espaçados em 0,50 m. A pressão de serviço nos tubos gotejadores foi de 10 mca resultando em uma intensidade de irrigação de 11 mm h⁻¹. O sistema de irrigação por gotejo foi montado individualmente para cada unidade experimental, possibilitado assim a aleatoriedade do fator irrigação.

No primeiro experimento foram realizadas quatro irrigações, aos 3, 7, 13 e 17 dias após a semeadura (DAS), sendo as duas primeiras para auxiliar na emergência da cultura, e a última realizada com o milho em estágio V4. Após isso, foi iniciado o déficit hídrico. (Figura 3)

No experimento dois, foram aplicadas nove irrigações. A irrigação aplicada aos 19 DAS foi realizada em todo a experimento e aos 24, 29, 38, 49, 51, 52, 54 e 55 DAS foram realizadas irrigações somente nos tratamentos irrigados.

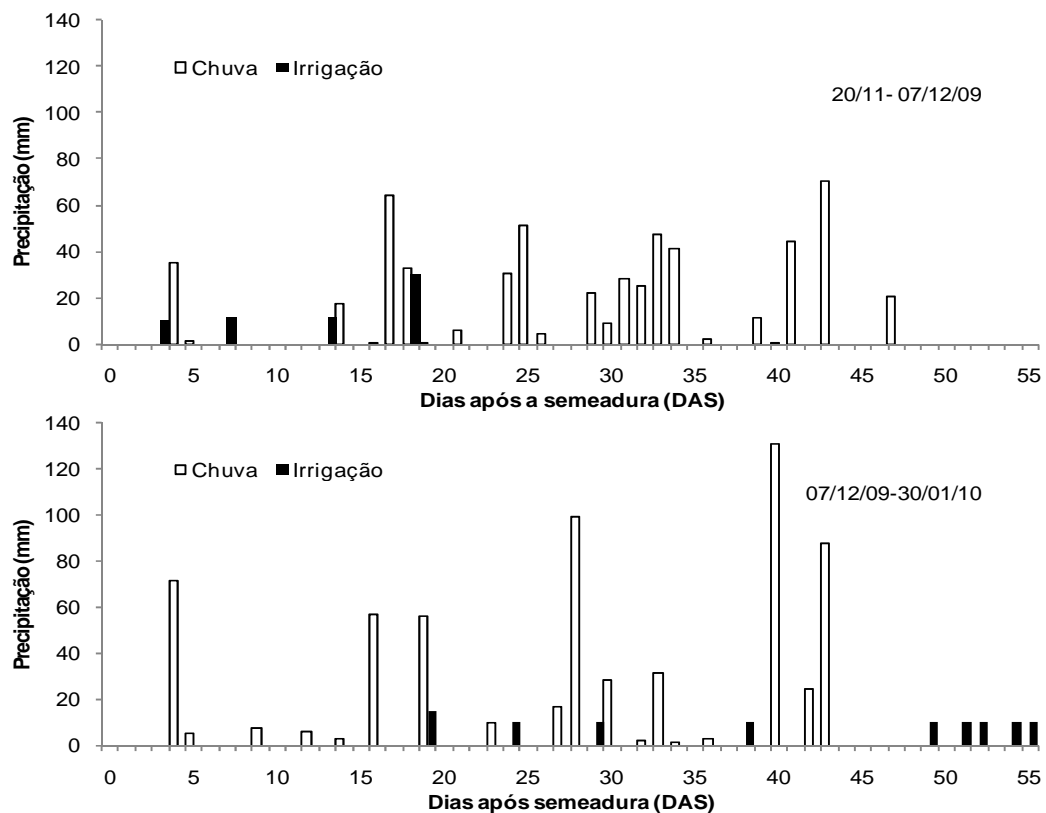


Figura 3 – Chuvas e irrigações aplicadas durante o período experimental. Valores de chuva de Fonte: INMET, (Instituto nacional de meteorologia), Estação Automática de SANTA MARIA (RS), Santa Maria, RS, 2010.

3.5 Determinações de conteúdo de água no solo

A variação do conteúdo de água no perfil do solo no experimento foi determinado diariamente. O balanço hídrico do solo foi determinado considerando como a entrada de água no solo, as lâminas irrigadas. A perda de água do solo foi assumida como sendo função da evaporação direta da água do solo e pela transpiração das plantas, desconsiderando a percolação profunda e o escoamento superficial da água. Assim, as perdas de água do solo foram determinadas pela variação do armazenamento de água no solo a partir dos dados de conteúdo de água do solo.

Em cada unidade experimental foram instalados quatro sensores de FDR, colocados na entrelinha das plantas. A determinação e o monitoramento da umidade do solo foi realizado em quatro camadas do solo, 0-10 cm, 10-25 cm, 25-55 cm e 55 a 85 cm de profundidade. Na camada de 0-10 cm o sensor foi inserido com um ângulo de 20° em relação ao solo e na camada de 10-25 cm inserido com um ângulo de 30° . Nas camadas de 25-55 cm e 55-85 cm o sensor foi inserido verticalmente.

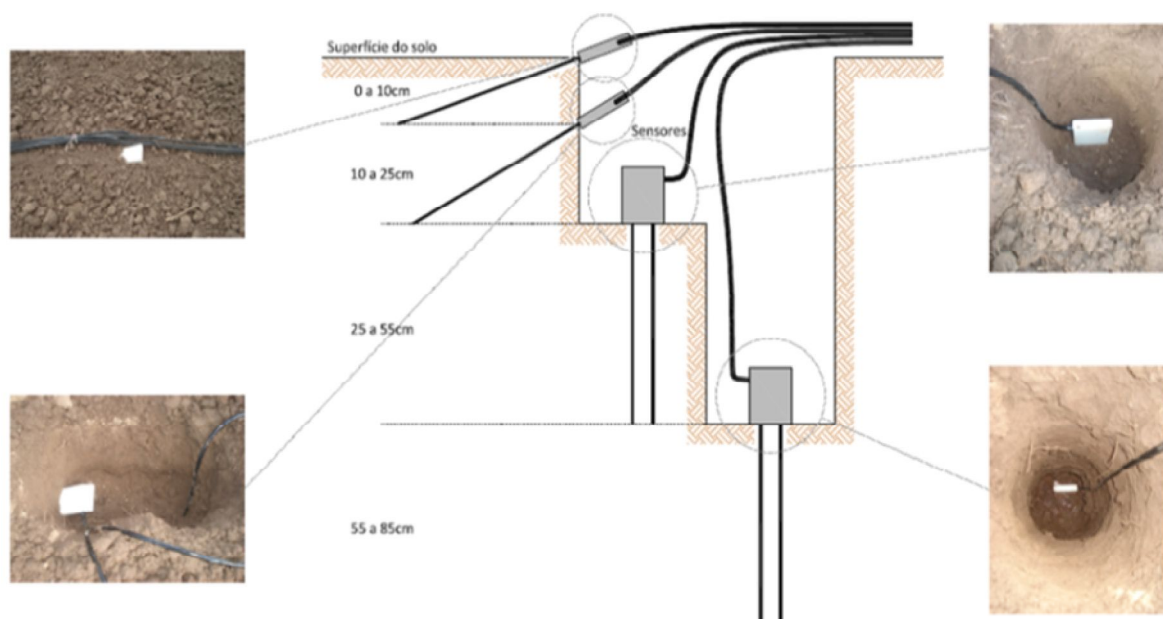


Figura 4- Ilustração da instalação dos sensores FDR, demonstrando a profundidade de instalação em relação a superfície do solo e a posição do sensor em cada camada, Santa Maria, RS, 2010.

Na instalação dos sensores foi inicialmente aberto um buraco com auxílio de um trado rosca mecânico com a profundidade de 55 cm proporcionando que o sensor fosse instalado na camada de 55-85 cm ao lado do primeiro buraco foi aberto um segundo ate a profundidade de 25 cm e instalado o sensor da camada de 25-55 cm. Na parede do segundo buraco foi instalado o sensor na camada de 10-25 cm (Figura 5). Os sensores foram inseridos no solo com auxílio de um guia de madeira, para manter as duas hastes paralelas.

O sensor de umidade de solo utilizado foi um FDR – Frequencia *Domain Reflectometer* , modelo CS616 (Water Content Reflectometer, Campbell Science). Este consiste de duas hastes de aço inoxidável ligado a uma placa de circuito de abastecimento de energia, que permite a detecção e acompanhamento da saída de pulso. (Figura 4). A placa de circuito é encapsulado em epóxi podendo ser enterrados em qualquer ângulo em relação a superfície do solo.

Os sensores foram ligados a um multiplexador AM16/32 conectados a um datalogger CR1000, Campbell Science, que armazenava as informações. O dattalogger foi programado para realizar leituras do valor do conteúdo de água do solo em intervalos de 5 minutos e a média das leituras armazenadas a cada 15 minutos. No total foram instalados 132 sensores CS 616.

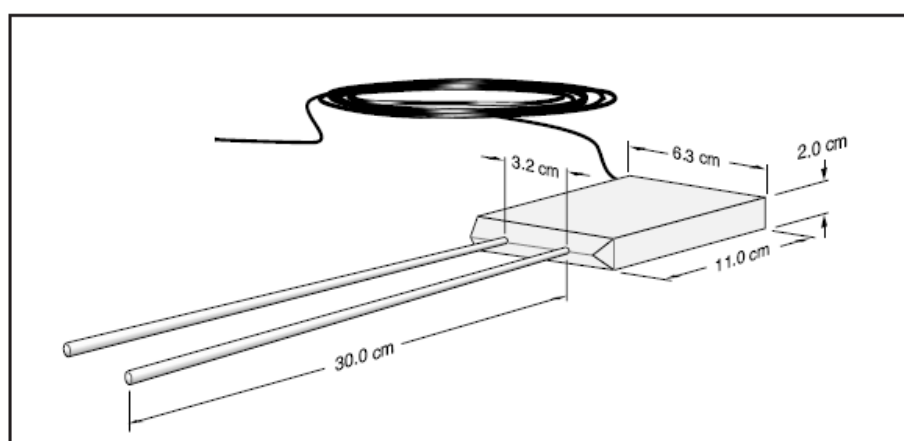


Figura 5 – Ilustração do sensor CS 616 Campbell Science utilizados para determinação do conteúdo de água no solo. Santa Maria, RS, 2010.

As leituras do FDR forneceram a frequência de propagação de uma onda eletromagnética nas hastes metálicas inseridas no solo. Com essa informação foi calculada a conteúdo de água do solo por meio da equação abaixo:

$$\theta = -0,0663 - 0,0063x P + 0,0007x P^2 \quad (1)$$

Onde:

P = período de propagação da onda em microsegundos.

Para comparação dos valores de umidade gerados pelo FDR foram instalados em seis parcelas, um conjunto TDR (*Time Domain Reflectometer*), com sensores inseridos nas mesmas profundidades. Para o TDR, o comando gerado pelo equipamento foi enviado a um multiplexador central e, deste, distribuído para multiplexadores (SDMX50), e armazenados em um datalogger CR10X.

3.6 Condições meteorológicas durante o experimento

Para avaliar as condições meteorológicas durante a condução do experimento utilizou-se dados meteorológicos de duas estações meteorológicas automáticas para a coleta de dados referentes a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), insolação (h), velocidade do vento a 2 m (m s^{-1}), pressão atmosférica (kPa) e chuva (mm). Uma estação foi instalada dentro da área experimental (Rainout Schelter), e outra utilizada, estava, instalada aproximadamente a 200 m do experimento.

A ETo foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme metodologia proposta pela FAO-56, (ALLEN et al., 2005), a partir dos dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento a 2,0 m (m s^{-1}) e radiação solar ($\text{W m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), obtidos através de uma estação meteorológica automática instalada próximo ao experimento. Os dados de ETo foram utilizados para relacionar as perdas de água do solo com a demanda evaporativa da atmosfera para avaliar o consumo de água das plantas ao longo do experimento.

3.7 Determinações morfofisiológicas da planta

3.7.1 Potencial de água na folha

O potencial hídrico foliar foi medido utilizando o equipamento (WP4 Dewpoint Potential Meter). Este equipamento realiza leituras rápidas, (aproximadamente 5 minutos), do potencial de água de uma amostra, a partir do equilíbrio entre a fase de vapor da água e a fase líquida presente na amostra, dentro da câmara de leitura do aparelho. A pressão do vapor do ar na câmara é considerada como a pressão do vapor do ar saturado na temperatura do ponto de orvalho. Quando os potenciais de água da amostra e do ar na câmara estão em equilíbrio, a medida da pressão de vapor na câmara e a temperatura da amostra possibilitam o cálculo do potencial de água da amostra (DECAGON DEVICES, 2000).

As avaliações do potencial de água na folha foram realizados aos 17, 28, 32, 34 e 38 DAE. Nestes dias foram coletadas uma amostra (cilindro foliar de 40 mm de diâmetro) por parcela experimental, totalizando cinco repetições por tratamento. As amostras foram coletadas entre as 13:00 e 14:00 horas.

Aos 41, 45, 46 e 48 DAE foram realizadas amostras em intervalos de duas horas, das 8:00, até as 20:00 h. Nesses dias foram coletadas três amostras (cilindro foliar de 40 mm de diâmetro) por tratamento. Aos 34 e 46 DAE foram coletadas uma amostra (cilindro foliar de 40 mm de diâmetro) por parcela com cinco repetições por tratamento, antes do pôr do Sol. A determinação do número de amostras coletadas foi função do número de amostras que podem ser processadas entre os intervalos das coletas. Nos dias onde foram realizadas leituras em intervalos de duas horas, o número de amostras processadas foi de três amostras por tratamento.

Para padronizar a amostragem, coletou-se amostras de folhas de milho totalmente expandidas expostas a radiação solar sem danos mecânicos e injúrias. Utilizou-se o terço superior da última folha totalmente expandida, de plantas previamente marcadas.

A campo foi inicialmente aplicada uma gota de água destilada na superfície da folha e com um pedaço de lixa '600' passou-se suave e uniformemente em toda a superfície da folha coletada (dez passadas curtas são normalmente suficientes, dependendo da espessura da cutícula). Depois da abrasão, a superfície da folha foi seca, com papel toalha para remover qualquer excesso de água. Posteriormente, retirou-se uma amostra circular de 40 mm de diâmetro com auxílio de um extrator.

Imediatamente após a retirada das amostras as mesmas foram hermeticamente embaladas em recipientes plásticas e acondicionadas em caixa de isopor com gelo a uma temperatura de $\pm 11^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, o material foi conduzido para o laboratório e mantido em geladeira a uma temperatura de $\pm 7^{\circ}\text{C}$ até o momento de realizar as leituras do potencial de água na folha no equipamento WP4.

Essa metodologia foi utilizada, pois o procedimento de coleta e análise a campo com apenas um equipamento demoraria muito tempo, o que resultaria em leituras do potencial de água no solo em diferentes condições de ambiente. Também, porque era necessário manter o potencial de água das amostras provenientes do campo, desde o início até o final das leituras no laboratório sem alterações. Essa metodologia foi adotada por (GUBIANI, 2008) a partir de informações dos trabalhos de Niu et al. (2003, 2004, 2005) .

3.7.2 Determinação da área foliar

Nas linhas centrais de cultivo de cada unidade experimental foram identificadas e marcadas duas plantas com semelhante estatura e número de folhas expandidas. A determinação da área foliar das plantas foi realizada utilizando o equipamento LI-cor modelo LI-3000C (Portable area meter), medidor da área foliar portátil, que baseado no método eletrônico de aproximação para medir a área foliar das plantas intactas.

As determinações da área foliar foram realizadas aos 13,17, 20, 25, 31, 33, 37, 42 e 47 DAE. A população de plantas foi determinada aos 13 e 25 DAE, por meio da contagem do total de plantas das duas linhas centrais de cada parcela. O índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir da média da área foliar medida das duas plantas da parcela e da área superficial de solo ocupada pela planta. A área superficial do solo ocupada pela planta foi calculada considerando a variação da população de plantas. Para a determinação do IAF aos 13, 17 e 20 DAE foi considerada a população de plantas medida aos 13 DAS. O IAF calculado aos 25, 31, 33, 37, 42 e 47 DAE considerou a população de plantas medida aos 25 DAE.

3.7.3 Determinações fisiológicas das plantas

As variáveis utilizadas para determinação das trocas gasosas, como a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), de transpiração (E), a condutância estomática (gs), a concentração interna de CO₂ (Ci), a diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPV), e a taxa de transpiração (E) foram medidas com o equipamento portátil IRGA (Infra Red Gas Analyser), modelo LI-6400.

O aparelho LI-6400 é um sistema aberto, onde as medidas de fotossíntese e transpiração são calculadas pelas diferenças de CO₂ e H₂O em uma corrente de ar que flui através da célula da folha. Essa medida é realizada por analisadores de gás infravermelho que monitoraram a concentração CO₂ e H₂O na referência (entrada) e amostra (saída) dos fluxos de gás. Simultaneamente foram registrados os valores de umidade relativa do ar (UR), temperatura foliar (Tfol), temperatura do ar (Tar) e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), sendo estes últimos, através de termopares e sensores quânticos existentes no mesmo equipamento.

Verificações foram realizadas antes de realizar as medições para calibrar o instrumento. Foi fixado o valor de taxa de fluxo na célula de amostragem de 500 $\mu\text{mol s}^{-1}$ e a área foliar e a relação estômatos foram fixadas em 6 cm² e 0,7, respectivamente.

A variação diária das trocas gasosas foram realizadas em 14 de janeiro de 2010 e 30 de janeiro de 2010, a primeira durante o período vegetativo (34 DAE), e a segunda, em plena floração (50 DAE), em intervalos de aproximadamente duas horas, entre 8:00 e 18:00 h. As medidas foram feitas às 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 e 18:00 horas.

Nos dias 08 de janeiro de 2010 (28 DAE) e 25 de janeiro de 2010 (45 DAE) foram realizadas amostragens entre as 13:00 e 14:00 h. Nestes dias foram coletadas uma amostra por parcela (média de duas leituras) com cinco repetições por tratamento. Duas plantas por parcela previamente identificadas foram utilizadas para realizar as medições. Em cada planta, a última folha totalmente expandida em seu terço superior e exposta à radiação solar foi selecionada para as medidas durante o fase vegetativa. Durante a fase reprodutiva as medidas foram realizadas na folha onde se encontrava a espiga.

As medições foram realizadas entre 12:00 e 14:00 horas, por corresponder ao intervalo no qual se situa o valor máximo da radiação solar na região de Santa Maria, no período da amostragem. Foram efetuadas medições diárias, desde que o dia estivesse ensolarado, céu claro e sem nuvens, para que a condutância estomática medida expressasse o real comportamento da cultura em relação à umidade do solo.

3.8 - Análise estatística

Os resultados das extrações de água do solo diária e acumulada foram analisados estatisticamente através do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000), sendo a análise de variância e o teste de Tukey determinados em nível de 5% de probabilidade de erro. Os testes de comparação de médias foram realizados para todos os dias de cada ciclo de secagem do solo. Os valores foram submetidos à transformação raiz quadrada ($\sqrt{x + 0,5}$) para homogeneizar a variância em virtude da grande heterogeneidade dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições meteorológicas durante o período experimental

Na figura 6 são apresentados os valores temperatura média do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação durante a condução do experimento 1. A estação automática localizada no interior do experimento foi instalada aos 20 DAE, dessa forma as comparações das condições de dentro e fora da cobertura móvel foram realizadas somente a partir dessa data.

O fechamento da cobertura móvel era realizado somente momentos antes de ocorressem chuvas. Devido ao fechamento da cobertura móvel durante a ocorrência de chuvas as condições meteorológicas no interior da cobertura foram diferentes da parte exterior (Figura 6). Observa-se que os valores de temperatura média do ar e umidade relativa do ar foram maiores na parte interna da cobertura móvel. Entretanto, para a velocidade do vento e insolação os maiores valores ocorreram na parte externa. A redução da velocidade do vento ocorre principalmente pela interferência da estrutura da cobertura, formando uma barreira ao vento e impedindo a passagem do mesmo pelo interior da área experimental.

Os valores temperatura média do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação durante a condução do experimento 2, são apresentados na figura 7. Os valores mensais de temperatura média, máxima e mínima do ar, chuvas e umidade relativa do ar está apresentado no apêndice 3.

Devido ao fechamento da cobertura móvel durante a ocorrência de chuvas as condições meteorológicas no interior da cobertura foram diferentes da parte externa. Maiores valores de temperaturas médias do ar e umidade relativa do ar foram observadas no experimento dois na parte interna da cobertura em comparação com as condições na parte externa da cobertura.

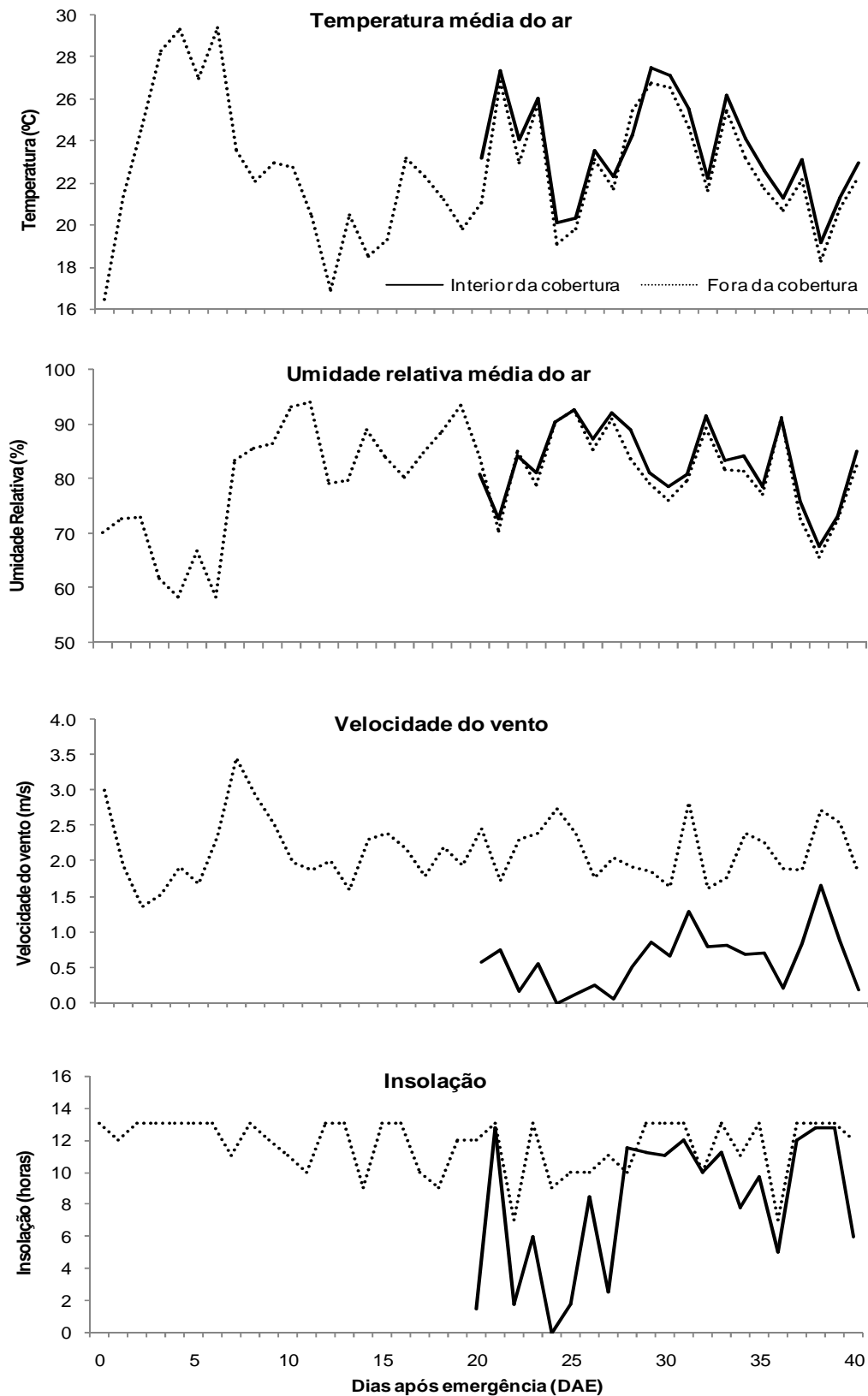


Figura 6- Valores de temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar(%), velocidade do vento (m/s) e insolação (horas) diários em relação aos dias após emergência (DAE), medidas em estação automática no interior e exterior da cobertura móvel, durante a condução do experimento 1 (27/10/2009-06/12/2009).Santa Maria, RS, 2010.

O fechamento da cobertura era realizado e em noites com previsão de ocorrência chuvas a cobertura móvel era fechada no início da noite, para evitar a ocorrência de chuva durante a madrugada no experimento. O fechamento durante a noite impedia a saída da radiação de onda longa para a atmosfera, conseqüentemente aquecendo o ar no interior da cobertura e aumentando a umidade relativa do ar. Além disso não existia a ação do vento para retirar o ar saturado. As temperaturas e umidade relativas do ar noturnas foram maiores aumentando, conseqüentemente, a média da temperatura do dia.

Observam-se valores menores de velocidade do vento no interior da cobertura móvel devido a influência da estrutura da casa. A insolação também foi menor no interior da cobertura em comparação com a parte externa. Toda vez que ocorria chuva a cobertura foi fechada e quando a chuva ocorria durante o período diurno, a cobertura impedia a passagem de radiação solar. Observam-se no período da emergência das plantas do experimento 2 e aos 24 e 36 DAE ocorreram valores de insolação igual a zero. Nestes dias ocorreram chuvas e a cobertura permaneceu fechada durante todo o período diurno. Nos dias em que a cobertura móvel foi fechada durante a noite, sua abertura ocorria algumas vezes após o nascer do sol, reduzindo a insolação na área experimental.

Os resultados da evapotranspiração de referência (ET_o) para o experimento 1 e 2, são apresentados na figura 8. A ET_o acumulada foi de 189,8mm para o experimento 1 e 261,75 mm para o experimento 2. Apresentando valores médios de 3,95 mm dia⁻¹ e de 4,8 mm dia⁻¹ para o experimento 1 e 2 respectivamente.

As condições meteorológicas durante o período experimental, em comparação com médias climatológicas normais do local (Apêndice 2), indicam diferenças principalmente em relação à chuva. As chuvas foram superiores a média nos meses de novembro, dezembro e janeiro e abaixo da média no mês de outubro.

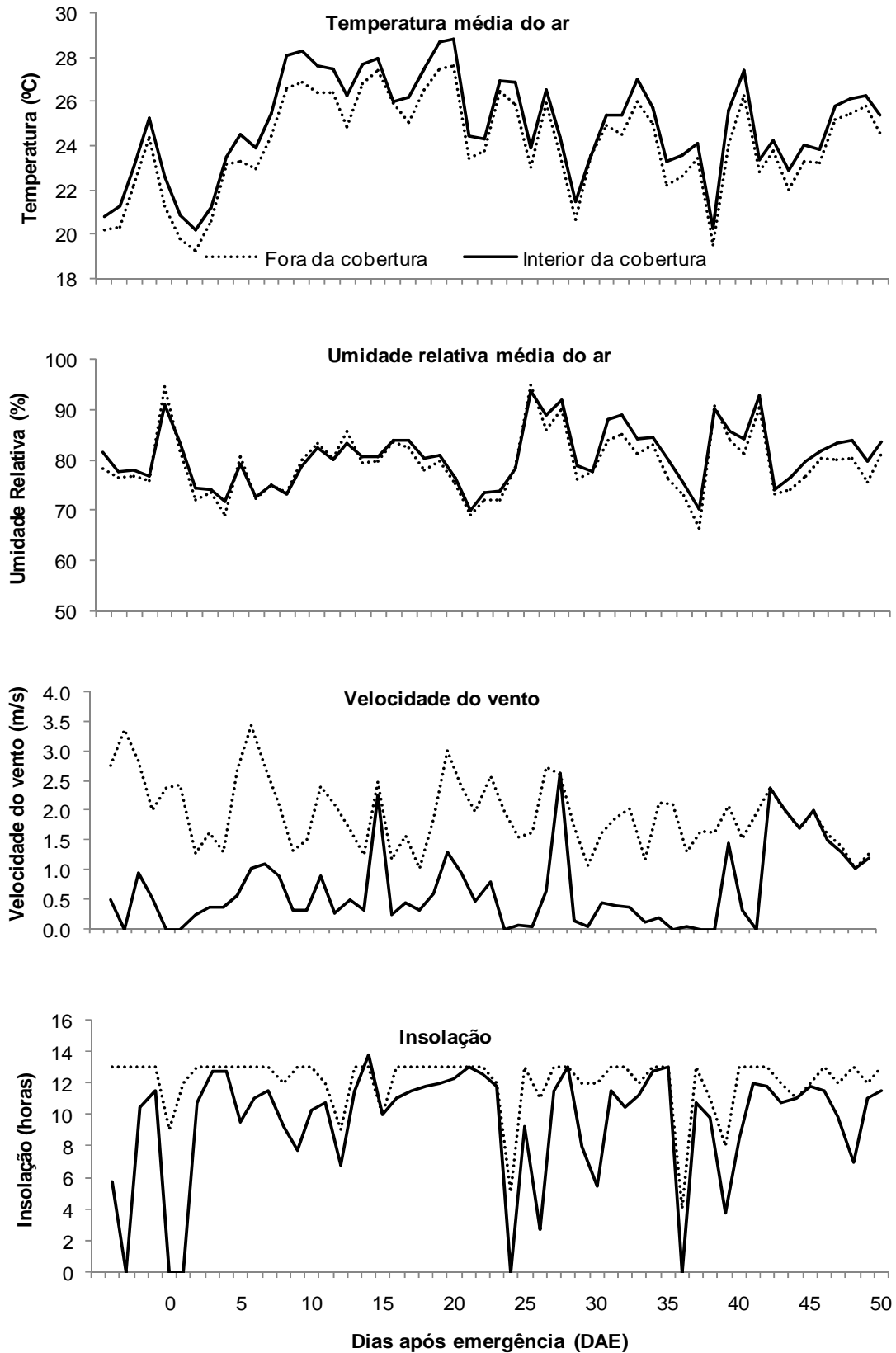


Figura 7 – Valores de temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar(%), velocidade do vento (m/s) e insolação (horas) diários em relação aos dias após emergência (DAE), medidas em estação automática no interior e exterior da cobertura móvel, durante a condução do experimento 2 (07/12/2009-30/01/2010), Santa Maria, 2010.

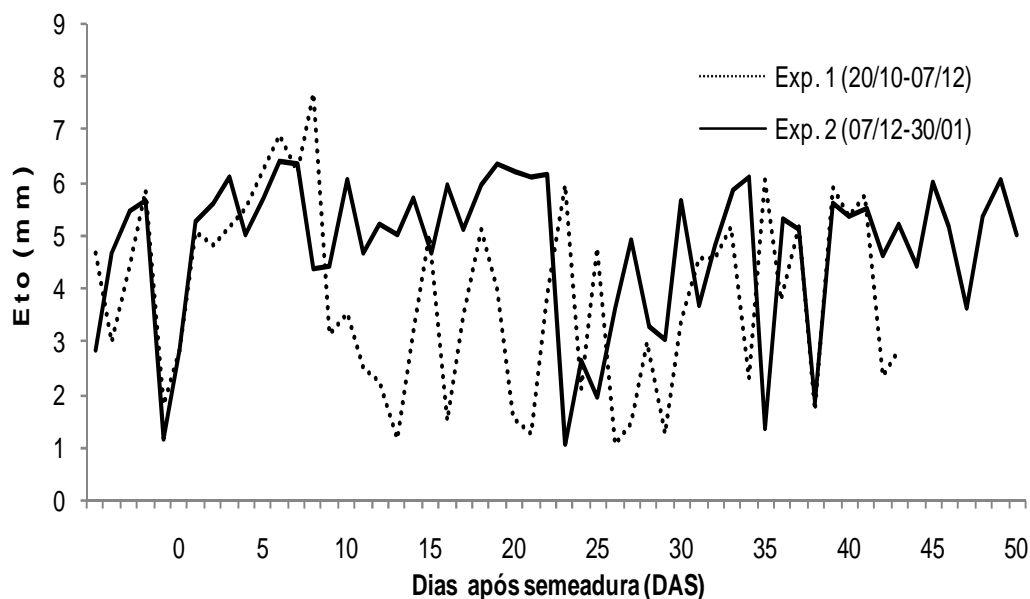


Figura 8 – Evapotranspiração de referência (Método Penman-Monteith) diários para os dois períodos experimentais. Santa Maria, RS, 2010.

As chuvas acima da média é uma característica da presença do fenômeno “El Niño”. Em anos de “El Niño”, as chuvas são freqüentemente acima da normal na região Sul do Brasil, sendo que no estado do Rio Grande do Sul, o período de maior influência do “El Niño” sobre as chuvas ocorrem nos meses de outubro a dezembro e abril a junho (BERLATO; FONTANA, 2003).

No período inicial do desenvolvimento das plantas de milho (experimento 1), a chuva acumulada foi do mês de novembro foi de 437,2 mm, sendo 2,3 vezes maior que a média climatológica de 132,2 mm. Esta elevada quantidade de chuva interferiu na umidade do solo no interior da cobertura móvel, mesmo não ocorrendo chuvas diretamente sobre a área do experimento. O excesso de chuva saturou completamente o solo na parte externa da cobertura, e como o solo no interior da cobertura se encontrava mais seco, houve contribuição (movimento) de água da parte externa para a interna. Portanto, ocorreu um movimento de água no sentido de decréscimo de potencial do maior potencial (fora da cobertura móvel) para o de menor (interior da cobertura). Ocorreu também a elevação do nível freático da água no solo, em dias de chuvas elevadas. A elevação do nível freático de água no solo junto com a ascensão capilar, provocou o umedecimento das camadas de solo mais superficiais no interior da área experimental.

A quantidade de água em milímetros que foi adicionada a parte interna da cobertura móvel pode ser observada na (Tabela 2). Para esse cálculo utilizou a

diferença do conteúdo de água no solo entre o início da chuva e 24 horas após o seu término, multiplicado pela espessura da camada. Quando este valor foi negativo ocorreu ingresso de água do solo de fora da área do experimento para o perfil do solo na área experimental. Quando este valor era positivo, indicava que a diferença foi em função de perdas de água por evaporação da água do solo ou pela por transpiração das plantas. Chuvas que iniciavam em um dia e continuavam até o dia seguinte foram agrupadas para facilitar a interpretação.

Ocorreu entrada de uma lâmina de aproximadamente de 145,3 mm de água do solo da parte externa ao experimento para o solo do experimento durante o experimento 1, para o perfil do solo de 85 cm de profundidade. O maior incremento ocorreu nas camadas mais profundas do perfil reduzindo-se em direção a superfície. Ocorrendo um incremento de 11,6, 26,3, 49,6 e 57,8 mm para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55-85 cm de profundidade, respectivamente.

As maiores entradas de água ocorreram em dias onde as chuvas foram mais elevadas, e após dias seguidos de chuvas, como no aos 19 DAE onde choveu 51,4 mm e ingressou 44,3 mm. As chuvas que ocorreram aos 11, 12-13 e 18 DAE de 64, 33,2 e 30,4 mm respectivamente, mantendo o solo da parte externa da cobertura móvel saturado e quase o totalidade do chuva do 19 DAE, (86,2%) do volume de água precipitado foi deslocado para o solo do experimento, mesmo a chuva não ocorrendo no experimento.

Esta entrada de água no experimento ocasionou uma elevação do valor de conteúdo de água do solo na área experimental. Comparando os valores de conteúdo de água do solo com os valores de limite superior de cada camada (Figura 9) observa-se que na maioria dos dias a conteúdo de água do solo esteve acima do limite superior. Nas camadas de 25-55 cm e 55-85 cm de profundidade o conteúdo de água no solo nunca foi inferior ao limite superior em todo o período experimental. Nas camadas de 0-10 cm e 10-25 cm de profundidade o valor de conteúdo de água do solo foi mais elevado que o limite superior a partir dos dias 03 e 08 de novembro de 2009 respectivamente. Próximo a esses dias ocorreram chuvas (5 e 11 DAE) mas sem o ingresso de água nessas camadas (Tabela 2). O aumento da umidade do solo nestes dias foi em função das irrigações realizadas aos 4 DAE⁰² (12 mm) e no 12 DAE (30 mm). A irrigação aos 12 DAE foi à última aplicada para homogeneizar a umidade do solo em todo o experimento e iniciar o déficit hídrico.

Tabela 2: Dias de ocorrência e quantidade de chuva, durante o experimento 1, com valores em lâmina (mm), da quantidade de água que ingressou no perfil do solo, utilizou a diferença do conteúdo de água no solo entre o início da chuva e 24 horas após o seu término, multiplicado pela profundidade da camada. Santa Maria, 2010.

Dia	Chuvas		Lâminas por camadas (mm)				Total
	DAE	mm	0-10	10-25	25-55	55-85	
24/10/2009	0	35,4	0	0	0	0	0
03/11/2009	5	17,6	0	0	0	0	0
06/11/2009	11	64,0	0	0	0	0	0
07-08/11/2009	12-13	33,2	0	0	0	0	0
13/11/2009	18	30,4	0	0	3,0	5,0	8,0
14/11/2009	19	51,4	4,7	9,9	15,5	15,2	44,3
15/11/2009	20	4,2	0	0	0	0	0
18/11/2009	23	22,0	0,6	1,8	3,8	4,5	10,7
19/11/2009	24	9,2	0	0	0	0	0
20-21/11/2009	25-26	52,8	0	0	0	1,5	1,5
22-23/11/2009	27-28	87,4	4,6	6,6	9,0	8,0	28,2
26/11/2009	31	1,8	0	0	0	0	0
28/11/2009	33	11,0	0	0	0	0	0
29/11/2009	34	0,5	0	0	0	0	0
30/11/2009	35	44,2	0	3,2	9,2	11,5	23,9
02/12/2009	37	70,8	1,7	4,1	8,0	9,2	23,0
06/12/2009	41	20,8	0	0,7	2,1	2,9	5,7
Total	-	557,7	11,6	26,3	49,6	57,8	145,3

Após o início do déficit hídrico a umidade do solo se manteve sempre próxima ao limite superior, nunca estando abaixo deste. Considerando a elevada quantidade de água armazenada em todas as camadas do perfil do solo, optou-se por encerrar este ciclo de cultivo, eliminando as plantas de milho e realizado uma nova semeadura. O experimento 1 foi encerrado no dia 06 de dezembro de 2009 sem realizar nenhuma avaliação das condições hídricas das plantas de milho. Uma nova semeadura foi realizada no dia 07/12/2002 iniciando o experimento 2.

Além disso, durante os 48 dias de condução do experimento 1 ocorreram 20 dias com chuva, provocando o fechamento da cobertura móvel, reduzindo as perdas de água por evapotranspiração, dificultado ainda mais a ocorrência de déficit hídrico.

Nos meses de dezembro e janeiro (experimento 1) as chuvas mensais foram de 310,6 e 432,8 mm, sendo superiores a média histórica de 133,5 e 145,1 mm, respectivamente.

Semelhante ao que ocorreu no experimento 1 houve ingresso de água no perfil do solo do experimento proveniente do solo da parte externa, devido a elevação do nível freático, decorrente da elevada quantidade de chuva. A entrada de água que ingressou no experimento após cada chuva pode ser observada na Tabela 3. Nesta tabela são apresentados os valores de lâmina de água que ingressaram no perfil do solo da área experimental. Para esse cálculo utilizou a diferença do conteúdo de água no solo entre o início da chuva e 24 horas após o seu término, multiplicado pela profundidade da camada. Quando este valor foi negativo ocorreu ingresso de água no perfil do solo na área experimental, sendo apresentado na tabela.

Uma lâmina de água de 253,5 mm ingressou na perfil do solo da área experimental considerando a camada de 85 cm de profundidade. O maior incremento de umidade ocorreu nas camadas mais profundas, diminuindo em direção as camadas mais superficiais, sendo observado um incremento de 16,3, 39,2, 86,8, e 111,6 mm para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55-85 cm, de profundidade, respectivamente.

O conteúdo de água no solo, limite superior e inferior para os tratamentos com níveis de resíduo vegetal são apresentados na figura 10 e para os tratamento irrigados são apresentados na figura 11.

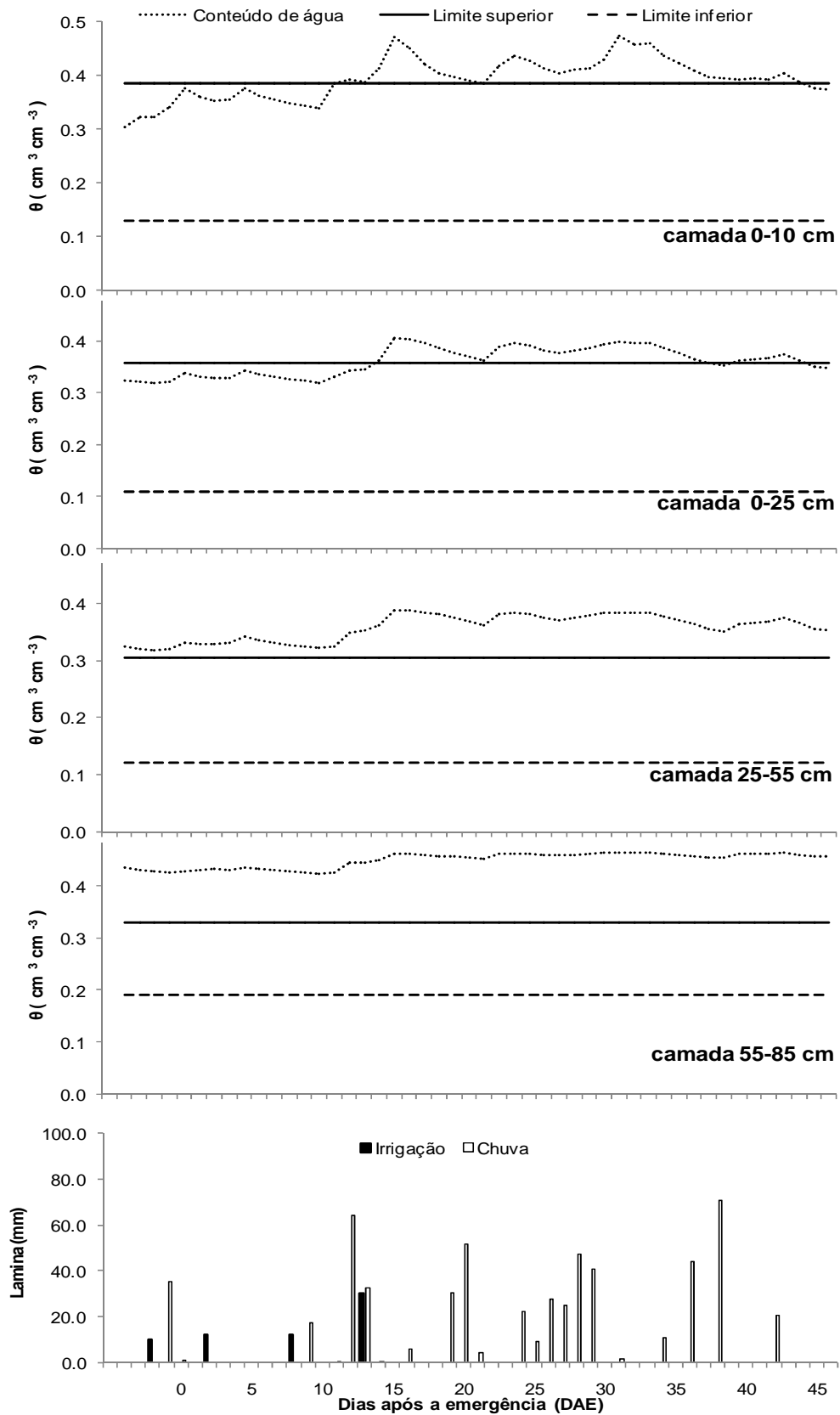


Figura 9 – Valores de conteúdo de água ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e limite superior para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm de profundidade em dias após sementeira (DAS), para o experimento 1(0/10 a 06/12/2009. *Limite superior de 0,385, 0,357, 0,304 e 0,329($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) respectivamente para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm de profundidade, Santa Maria, RS, 2010.

Tabela 3: Dias de ocorrência e quantidade de chuva, durante o experimento 2, com valores em lâmina (mm), da quantidade de água que ingressou no perfil do solo, utilizou a diferença do conteúdo de água no solo entre o início da chuva e 24 horas após o seu término, multiplicado pela profundidade da camada. Santa Maria, 2010.

Dia	Chuvas		Lâminas por camadas (mm)				Total
	DAE	mm	0-10	10-25	25-55	55-85	
11/12/2009	0	71,4	0,5	0,5	5,5	8,3	14,8
12/12/2009	1	5,6	0	0	0	0	0
16/12/2009	4	8,2	0	0	0	0	0
19/12/2009	8	6,6	0	0	0	0	0
21/12/2009	10	3,6	0	0	0	0	0
23/12/2009	12	57,2	0	0	5,0	7,8	12,8
26/12/2009	15	56,0	5,0	10,0	13,0	16,0	45,2
30/12/2009	19	10,2	0	0	0	0	0
3-4 /01/2010	23-24	113,2	4,2	10,3	26,1	34,9	75,5
06/01/2010	26	29,0	1,6	3,4	6,2	6,9	18,2
08/01/2010	28	2,4	0	0	0	0	0
09/01/2010	29	32,0	0	0	0	0	0
10/01/2010	30	2,0	0	0	0	0	0
12/01/2010	32	3,6	0	0	0	0	0
16/01/2010	36	130,4	2,0	7,0	18,0	24,0	51,4
18-19/01/2010	38-39	113,8	3,0	8,0	13,0	14,0	37,3
Total	-	645,2	16,3	39,2	86,8	111,6	253,9

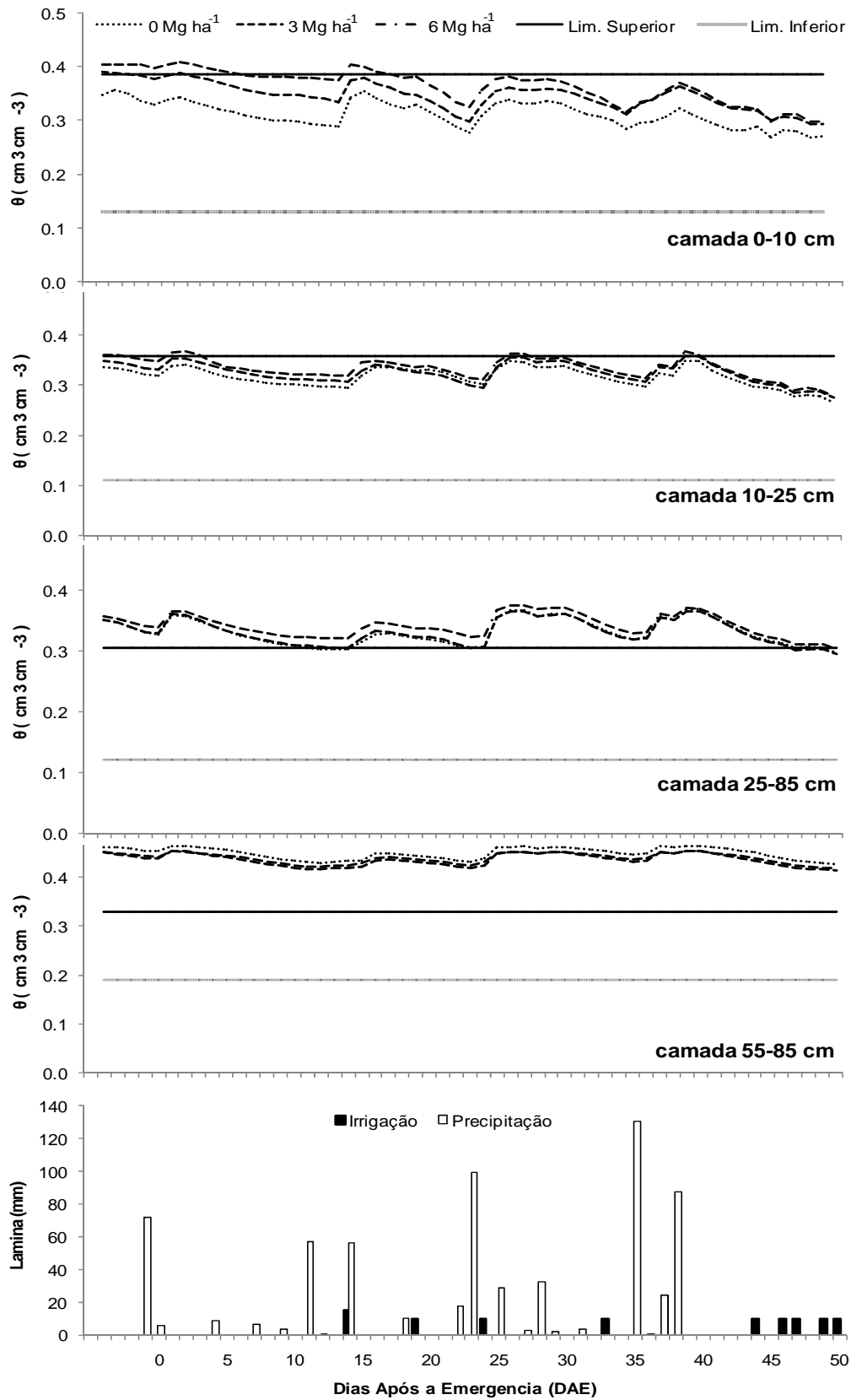


Figura 10– Valores de conteúdo de água (cm cm⁻³) e limite superior para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm de profundidade em dias após emergência (DAE), para os níveis de resíduo vegetal em cobertura no experimento 2(07/12/09 a 30/01/2010). *Limite superior de 0,385, 0,357, 0,304 e 0,329(cm cm⁻³) respectivamente para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55- 85 cm. Santa Maria, RS, 2010.

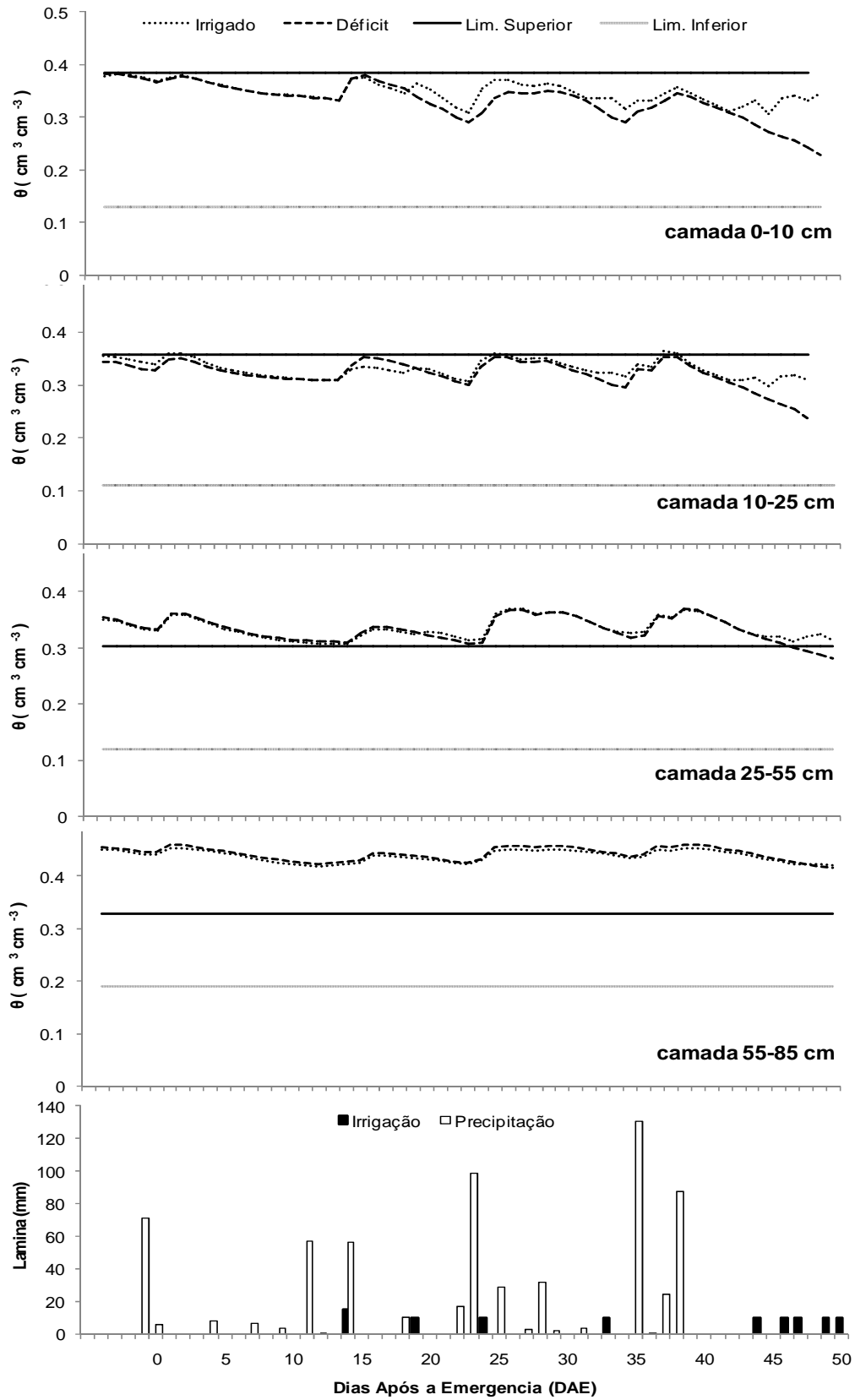


Figura 11 – Valores de conteúdo de água ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e limite superior para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55-85 cm de profundidade em dias após emergência (DAE), para os níveis de irrigação no experimento 2(07/12/09 a 30/01/2010). *Limite superior de 0,385, 0,357, 0,304 e 0,329 ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) respectivamente para as camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55-85 cm. Santa Maria, RS, 2010.

Comparando os valores de conteúdo de água (média dos tratamentos) com o valor de limite superior para cada camada do perfil do solo observa-se que durante todo o experimento 2 a camada de 55- 85 cm de profundidade permaneceu com valores de conteúdo de água no solo acima do limite superior. Para a camada de 25-55 cm somente a partir dos 46 DAE o conteúdo de água do solo foi inferior ao limite superior.

O conteúdo de água no solo na camada de 10-25 cm profundidade durante a maior parte de experimento 2 esteve abaixo do limite superior. Somente nas determinações aos 1,17, 18, 25, 36, 38 e 39 DAE em que o conteúdo de água do solo foi superior ao limite superior (Figuras 10 e 11). O valor do conteúdo de água do solo foi sempre menor que o limite superior na camada de 0-10 cm, sendo que aos 1, 15, 23-24 e 38-39 ocorreu aumento no conteúdo de água no solo.

Observando os resultados apresentado na tabela 3, nota-se que ocorreram chuvas nos dias 0, 15, 23, 24, 36 e 38 DAE. Portanto, após a ocorrência da chuva na parte externa ao experimento houve incremento no conteúdo de água no perfil do solo no interior do experimento, mesmo não ocorrendo chuva no experimento. Dessa forma o acréscimo do conteúdo de água no perfil do solo neste dias foi função da elevação do nível freático na parte externa da área experimental. Comparando os valores de chuva nos dias que houve ingresso de água no perfil do solo, observasse que em dias que ocorreu a entrada de água no perfil do solo coincidiram com os dias onde ocorreram as maiores quantidades de chuva. A entrada de água no perfil ocorreu aos 0, 12,15, 23, 24, 26, 36, 38 e 39 DAE e nestes dias ocorreram chuvas de 71,4, 57,2 56,0 113,2, 29,0 130,4 e 113,8 mm respectivamente.

4.2 Armazenamento de água no solo

Os resultados do armazenamento de água no solo foram somente avaliados para o experimento 2. Os resultados de análise de variância para cada determinação e camada de solo esta apresentada no apêndice 4 ao 7. As médias para cada tratamento estão apresentados no apêndice 8 ao 11.

Os resultados de armazenamento de água no solo na camada de 55-85 cm de profundidade foram semelhantes entre os tratamentos e os fatores em nível de probabilidade de erro de 5% durante todo o período experimental. Resultados de armazenamento de água no solo para as camadas de 0-10, 10-25 e 25-55 cm de profundidade foram semelhantes para a interação dos fatores durante todo o experimento 2. Entre os tratamentos observaram-se diferenças para o fator irrigação no final do período experimental (dos 45 aos 50 DAE) e para camada de 0-10 e 10-25 cm de profundidade e dos 49 aos 50 DAE para a camada de 25-55 cm de profundidade. Maiores valores de lâmina de água armazenada no solo ocorreram no tratamento irrigado. Essas diferenças foram ocasionadas pelas irrigações realizadas aos 45, 47, 48 e 50 DAE. Na camada de 0-10 e 10-25 cm também ocorreram diferenças para o fator irrigação para os 35 e 36 DAE, estas ocorreram por ocasião da irrigação realizada aos 34 DAE.

Para os níveis de cobertura com resíduo vegetal, ocorreram diferenças somente nas camadas de 0-10 e 10-25 cm, nos três primeiros DAE. Ocorrendo menores médias de lâmina armazenada na camada do solo para o tratamento com 0 Mg ha⁻¹ e as maiores para 6 Mg ha⁻¹. Os valores de lâmina armazenada para o tratamento 0 Mg ha⁻¹ foram de 33,8, 34,2 e 33,3 e no tratamento com 6 Mg ha⁻¹ de 40,3, 40,7 e 40,3 mm, respectivamente para os dias 1, 2 e 3 DAE.

4.3 Indicadores da condição hídrica das plantas

4.3.1 Potencial da água na folha

Na figura 12 são apresentados os valores do potencial da água na folha (ψ) de milho. A análise de variância indica semelhança para os tratamentos e suas interações. (Apêndices 9 a 11).

Os tratamentos apresentaram resultados semelhantes para o potencial de água da folha. Os resultados indicando que as condições de umidade do solo foram satisfatórias para manter os regimes hídricos da planta. Quando não são

estabelecidas condições contrastantes de umidade de água no solo, o potencial de água na folha são semelhantes (PEREIRA et al.,2003).

Aos 17, 28 e 32 DAE os valores de potencial de água na folha foram semelhantes, apresentando a média de -0,89, -0,97, -1,01 MPa para os determinações realizadas aos 17, 28, 32 DAE, respectivamente. No entanto, para as determinações realizadas aos 34 e 38 DAE os valores de potencial de água na folha foram menores de -1,45 e -1,73 MPa, respectivamente. Como a umidade do solo foi semelhante entre os dias, essa diferença de potencial não pode ser relacionada com a umidade do solo. Aos 17, 28 e 32 DAE a demanda evaporativa da atmosfera estimada pelo déficit de pressão de saturação do vapor de água, utilizando-se os valores de temperatura e umidade relativa do ar, apresentaram valores de 1,41, 0,97 e 1,05 KPa, respectivamente. Para as determinações realizadas aos 34 e 38 DAE tem-se um déficit de pressão de saturação de vapor de água de 1,95 e 1,76 KPa respectivamente. Portanto, quando não ocorre restrição hídrica no solo a variação dos valores de potencial de água na folha é influenciada pela diferenças dos valores do déficit de pressão de saturação do vapor de água .

Aos 38 DAE os valores de potencial de água foram semelhantes entre os tratamentos com resíduo vegetal. Maiores potenciais foram observados em maiores quantidades de resíduo vegetal, -1,76, -1,74 e -1,70 MPa para os tratamentos com 0, 3 e 6 Mg há⁻¹, respectivamente. Comparando-se o potencial de água na folha entre sistema plantio direto e convencional, Bianchi, (2004), encontrou valores de potencial de água na folha maiores em sistema plantio direto em função da maior disponibilidade de água proporcionada pela redução da evaporação provocada pela resíduo vegetal em superfície.

Analisando os valores de potenciais observados para o tratamento irrigado e com déficit hídrico, observa-se que os mesmos foram semelhantes entre os sistemas de irrigação aos 34 e 38 DAE. Aos 34 DAE o potencial de água na folha foi de -1,5 MPa em ambos sistemas, demonstrando que as plantas apresentaram uma adequada condição hídrica. Conforme Bergonci et al. (2000b), o potencial da água na folha de -1,5 MPa indica há não ocorrência de déficit hídrico em milho. havendo uma recuperação do potencial de água na folha ao final do dia, com o fechamento estomático. No entanto para as determinações realizadas aos 38 DAE o potencial de água na folha foi -1,73 MPa (média de todos tratamentos), sendo menor que o valor proposto por Bergonci et al. (2000b). Esse comportamento foi ambém

observados aos 45, 46 e 48 DAE, (Figura 13 e 14) onde o potencial da folha foi menor que -1,5 MPa. Tal diminuição do potencial de água na folha, segundo Bianchi (2004) resulta um déficit hídrico de curta duração, causado pela alta demanda evaporativa da atmosfera, quando a transpiração supera a capacidade de absorção de água pelas raízes.

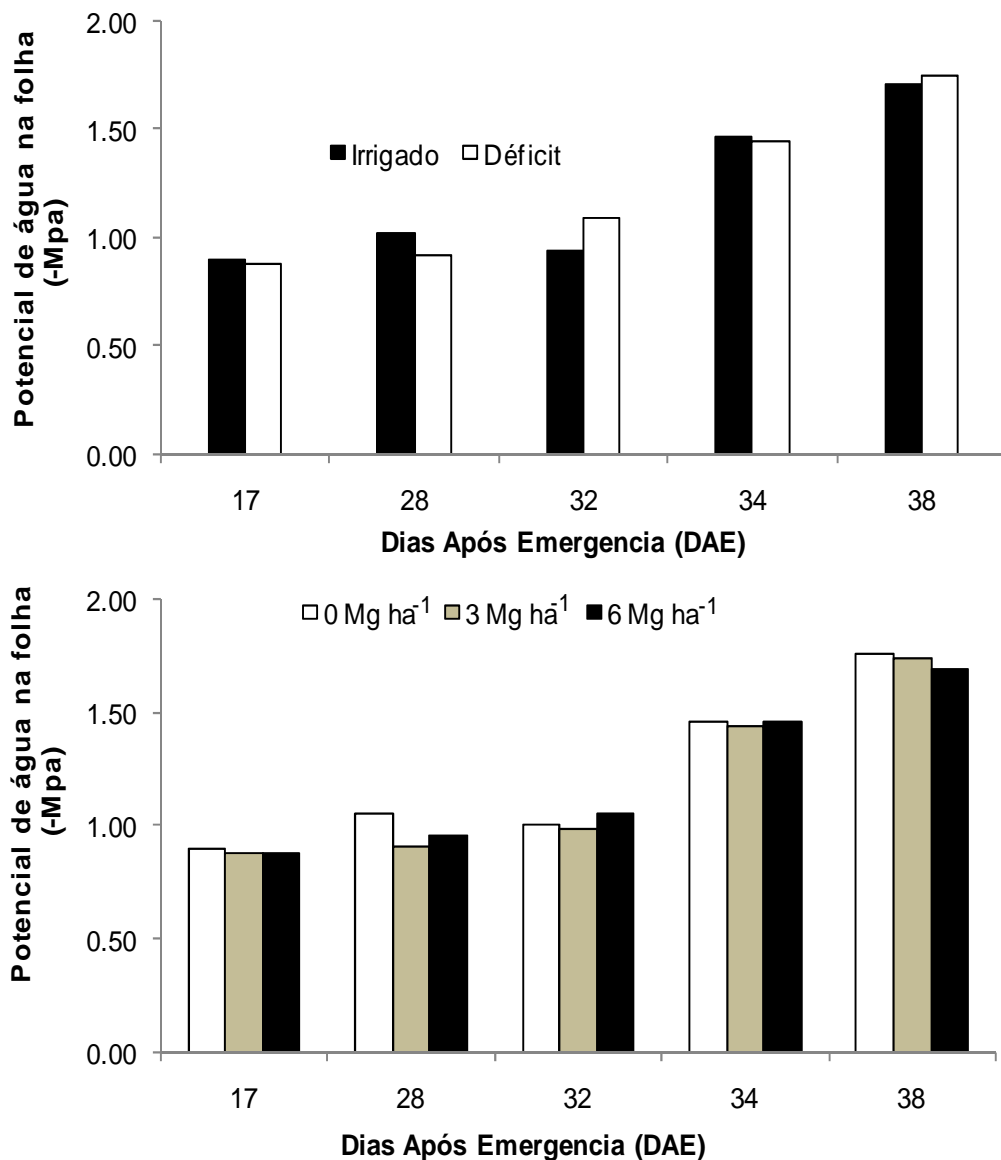


Figura 12- Potencial hídrico foliar mínimo de plantas de milho (-MPa), com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal na superfície do solo e irrigado e com déficit, aos 17, 28, 32, 34 e 38 Dias após emergência (DAE). Santa Maria, RS, 2010.

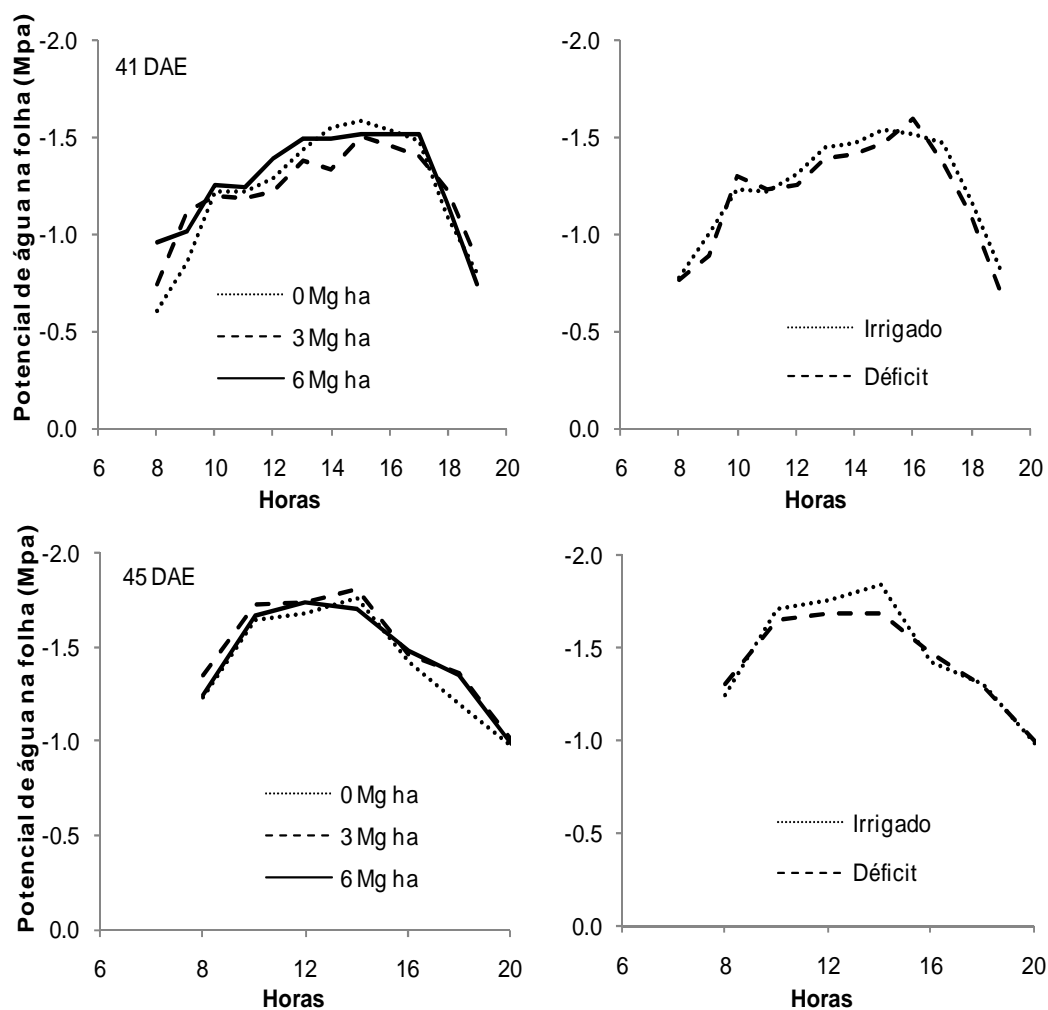


Figura 13- Potencial hídrico foliar de plantas de milho (-MPa), em diferentes horários nos dias 21/01 e 25/01/2010 (41 e 45 DAE) com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal na superfície do solo e irrigado e com déficit. Santa Maria, RS, 2010.

Aos 41, 45, 46 e 48 DAE realizou-se determinações do potencial hídrico na folha ao longo do dia, entre as 8:00 e 20:00 horas, em intervalos de duas horas. Aos 48 DAE as avaliações ocorreram somente até as 14:00 horas em função da ocorrência de chuva que ocorreu a partir das 15:00 horas, ocorrendo o fechamento da cobertura móvel. Nas figuras 13 e 14 estão apresentadas os resultados de potencial de água na folha ao longo do dia.

A análise de variância indica semelhança para os tratamentos e a interação dos fatores. Analisando-se as curvas diárias de variação do potencial de água na folha nota-se que, apresentam simetria entre os tratamentos em função da adequada disponibilidade hídrica do solo. Bergonci et al (2000b) também

encontraram simetria nas curvas diárias de potencial de água em plantas com adequada disponibilidade hídrica. Para plantas submetidas a déficit hídrico, não ocorre similaridade nas curvas diárias de potencial de água na folha, em face da dificuldade em repor a água perdida, causada pela baixa disponibilidade do solo.

Nas determinações realizadas aos 41 DAE o menor valor de potencial de água na folha foi de -1,53 MPa. Aos 45, 46 e 48 DAE, os valores de potencial de água na folha foram mais negativos. Aos 45 DAE o valor de potencial mínimo foi de -1,79 MPa e aos 46 e 48 DAE foi de -1,82 e -1,75 MPa respectivamente.

Nas figuras 13 e 14 observa-se que o horário de ocorrência do valor de menor potencial hídrico foliar para os quatro dias avaliados (41, 45, 46 e 48 DAE) ocorrem entre as 14:00 e 15:00 horas, horário onde a temperatura do ar é mais elevada durante o dia. Resultados semelhantes também foram encontrados por Lima Filho, (2000); Bergonci et al (2000b); Liu et al. (2005) e Viera Junior et al. (2007).

As avaliações dos potenciais de água na folha realizadas aos 46 e 48 DAE não diferiram quanto ao fator irrigação mesmo com a aplicação de uma lâmina de irrigação de 10 mm no tratamento irrigado. O valor mínimo de potencial foliar para os tratamentos irrigados foi de -1,85 MPa e -1,73 MPa para os 46 e 48 DAE, respectivamente. Entretanto, para os tratamentos com déficit hídrico os valores foram de -1,81 MPa e -1,77 MPa, respectivamente.

Os valores médios de potencial mínimo de água na folha determinado aos 45, 46 e 48 DAE, foram de -1,79 MPa, -1,82 MPa e -1,75 MPa, (média de todos) Observa-se também que, o conteúdo de água no solo não teve variação nesses dias, (Apêndice 8 a 11). Essa variação de potencial de água na folha pode ser explicada pela diferença nos valores de demanda evaporativa da atmosfera.

Os valores de E_{To} determinados aos 45, 46 e 48 DAE foram de, 4,41 5,99 e 3,6 mm dia⁻¹, respectivamente, representando elevados valores de demandas evaporativa da atmosférica, resultando valores mais negativos de potenciais de água na folha. Valores de radiação solar global, temperatura média, umidade relativa do ar e velocidade do vento aos 41, 45, 46 e 48 DAE são apresentados no apêndice 11. As condições meteorológicas foram semelhantes, estando a temperatura média do ar, umidade relativa e a velocidade do vento praticamente idênticas nos dias avaliados, havendo somente variação na radiação solar, com valor menor aos 46 DAE.

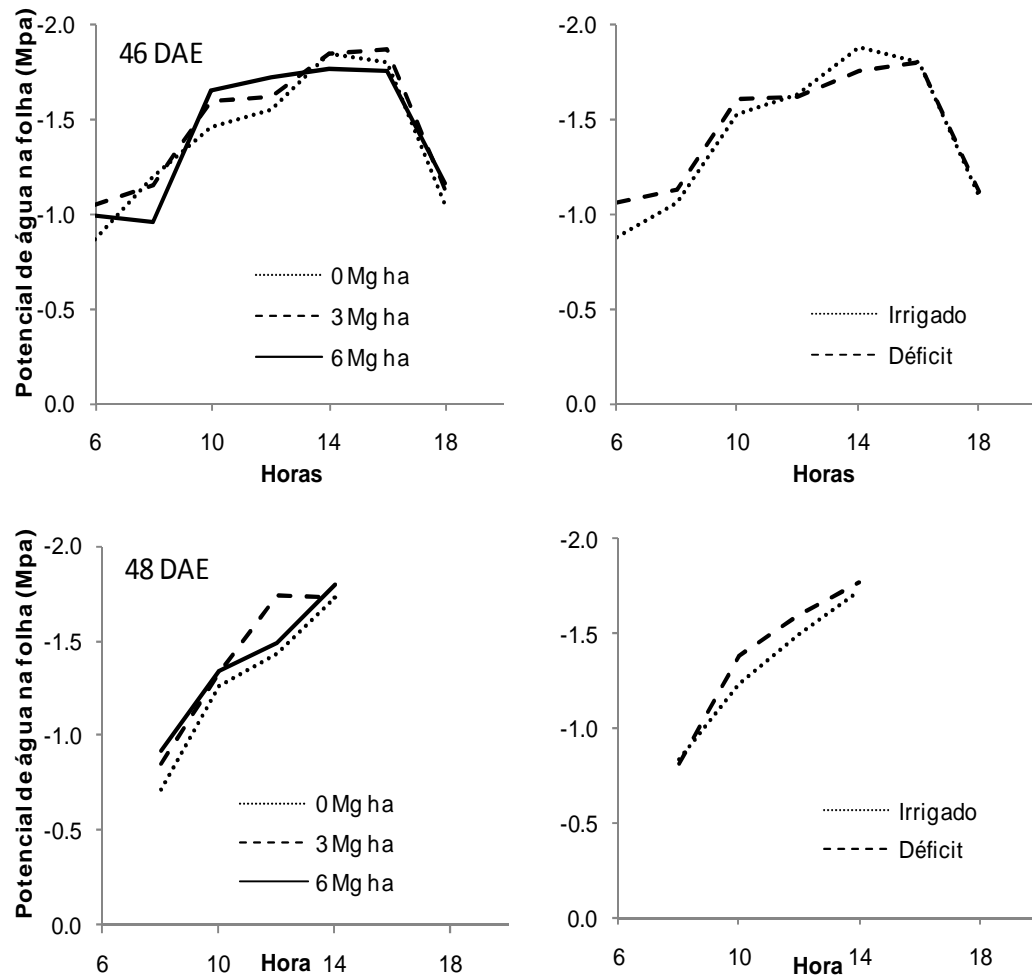


Figura 14- Potencial hídrico foliar de plantas de milho (-MPa), em diferentes horários nos dias 26/01 e 28/01/2010 (46 e 48 DAE) com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal na superfície do solo e irrigado e com déficit. Santa Maria, RS, 2010.

As determinações do potencial de água na folha antes do pôr do Sol é considerada como potencial base e foram realizadas aos 34 e 46 DAE, (Figura 15). Os valores do potencial de base diferiram entre os dias analisados, mesmo com os conteúdo de água entre os dois dias (34, 46 DAE) semelhantes. O que pode ter influenciado nas leituras foi a presença de orvalho que ocorreu aos 34 DAE e não ocorreu aos 46 DAE. Ceulemans et al. (1988) e Bergonci et al. (2000b) atribuem que pequenas diferenças observadas entre os tratamentos podem também ser explicadas, em parte, pela formação de orvalho nas plantas. Essa água seria absorvida pelas folhas, pois, no momento das medições (6:00h) na presença de luz,

os estômatos estariam parcialmente abertos. Desta forma, ao penetrar na folha, o orvalho alteraria o potencial de base.

Outra possível causa poderia ser o fluxo ascendente de água no solo durante o período noturno, o qual seria suficiente para elevar o potencial de base. Resultados semelhantes foram obtidos por Tardieu et al. (1993), em que o potencial de base, em milho, permaneceu elevado apesar de o potencial da água no solo ser baixo, atribuindo tal comportamento ao fluxo lento de água das camadas não exploradas pelas raízes para as camadas do solo explorada pelo sistema radicular.

Os dados apresentados por Ceulemans et al. (1988) sugerem que, o potencial de base, para o milho, não representa o verdadeiro equilíbrio com a umidade do solo. Para esses autores, a relação entre o potencial de base e o potencial matricial médio do solo não se aplica quando a umidade do solo for muito heterogênea. Entretanto, para Sellin (1998), o armazenamento da água no solo explica 77% da dinâmica do potencial basal de água na folha. Apesar das controvérsias existentes na literatura, o potencial de base é apresentado, de um modo geral, como um dos melhores indicadores de déficit hídrico em milho (DWYER; STEWART, 1985; TARDIEU et al., 1993).

Estudando as condições de milho em déficit hídrico, Bergonci et al. (2000b) encontraram valores de potencial de base entre -0,27 a -0,05 MPa. Comparando-se estes valores com os encontrados no presente trabalho, (-0,57 e -1,1 MPa, medias de todos tratamentos), nota-se que os valores foram muito negativos mesmo não havendo restrição hídrica. Essa diferença pode ser atribuída ao equipamento utilizado. No trabalho do autor citado, foi utilizado a câmara de pressão e no presente trabalho, o WP4. Segundo Costa et al. (2008) o WP4 apresenta menor precisão em potenciais de água próximos de -0,1 MPa.

Utilizando-se um psicrômetro de ponto de orvalho, Quanqi et al. (2008) encontraram valores de potencial base em milho, ao amanhecer, que variaram de -0,2 a -0,6 MPa. Entretanto, Vieira Junior et al. (2007) encontraram potencial de base que variaram de -0,2 a -0,7 MPa, valores acima dos apresentados por Bergonci et al. (2000a), levantando a hipótese que a estimativa do potencial de base, é superestimada quando se utiliza psicrômetros de ponto de orvalho como o WP4.

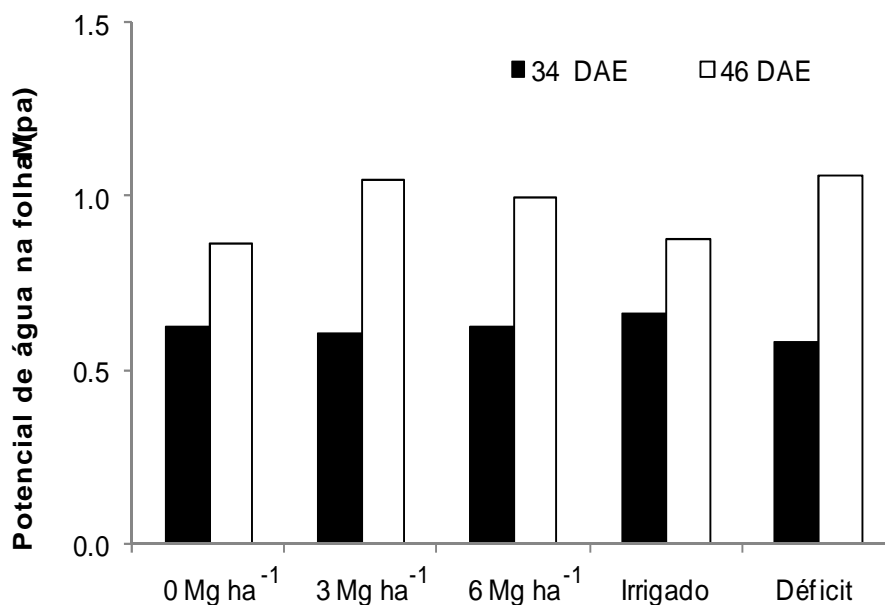


Figura 15- Potencial hídrico foliar de plantas de milho (-MPa), em diferentes horários nos dias 26/01 e 28/01/2010 (46 e 48 DAE) com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal na superfície do solo irrigado e com déficit hídrico. Santa Maria, RS, 2010.

4.3.2 Área Foliar

Na Figura 16 são apresentados os valores de índice de área foliar (IAF) de plantas de milho. A análise de variância não indica diferença significativa para interação, mas apresenta efeito para os tratamentos 5%. (Apêndices 14).

O tratamento irrigado apresentam maiores médias de IAF em relação ao tratamento com déficit hídrico em todas as avaliações, sendo significativas aos 13, 17, 20 e 25 DAE. Essas diferenças ocorreram antes e logo no início da aplicação do déficit hídrico, com similaridade nos valores de conteúdo de água no solo, pois a primeira irrigação ocorreu somente aos 20 DAE e a segunda aos 25 DAE. Portanto, essas diferenças não podem ser atribuídas a maior quantidade de água para os tratamentos que receberam irrigação e sim por problemas metodológicos. Comparando-se a diferença mínima significativa (DMS) para os dias onde ocorreu a interação significativa 0,02, 0,04, 0,06 e 0,1 de (DMS) aos 13, 17, 20 e 25 DAE,

respectivamente, observa-se que os valores de DMS foram baixos, sendo assim, pequenas diferenças entre os tratamentos foram significativas.

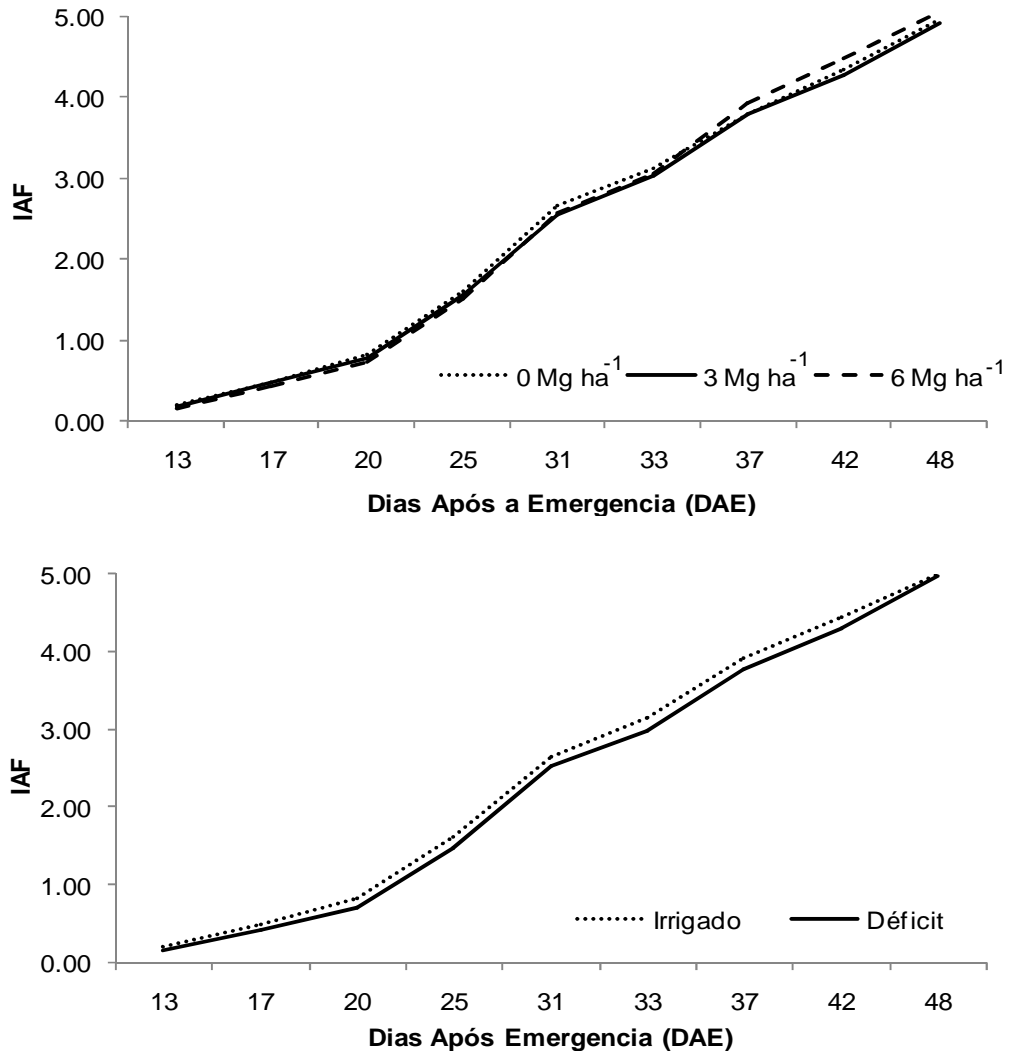


Figura 16- Índice de área foliar (IAF) aos 13,17, 20, 25, 31, 33, 37, 42, 48 DAE da cultura do milho em diferentes níveis de cobertura de resíduo vegetal na superfície (0, 3 e 6 Mg ha⁻¹) do solo irrigado e com déficit hídrico. Santa Maria, RS, 2010.

Para as quantidades de resíduo vegetal, houve efeito do fator níveis de cobertura aos 13 e 17 DAE, principalmente em função dos maiores IAF para o tratamento com 0 Mg ha⁻¹, superior nas seis primeiras avaliações. Esta variação é função do crescimento mais acelerado em condição sem resíduo vegetal, devido ao maior aquecimento do solo, acelerando o crescimento inicial da planta. O IAF

avaliado aos 48 DAE, (pendoamento da cultura do milho), apresentou médias para os tratamentos de 4,98.

4.3.3. Trocas gasosas

Na figura 17 estão apresentados as médias das trocas gasosas de fotossíntese (A) em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, condutância estomática (g_s) em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, taxa de transpiração (E) em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e eficiência do uso da água $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} / \text{s}^{-1} \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (EUA). A análise de variância indica semelhança entre os tratamentos e sua interação.

Comparando-se os valores medidos aos 28 e 45 DAE observa-se que os valores encontrados de Fotossíntese, condutância estomática, taxa de transpiração e eficiência do uso da água nos tratamentos foram semelhantes. Mas, comparando-se os valores encontrados entre os dias, observasse uma semelhança nos resultados de fotossíntese (A) e na condutância estomática (g_s), havendo diferenças nos valores de eficiência do uso da água, e na taxa de transpiração.

Mesmo ocorrendo variação no armazenamento de água entre os 28 DAE e o 45DAE, a quantidade de água disponível não foi limitante para reduzir a condutância estomática e a fotossíntese. O aumento da transpiração é função das condições meteorológicas, principalmente da demanda evaporativa da atmosférica. Observou-se E_{To} de 4,89 mm e 4,41mm aos 28 e 45 DAE, respectivamente. No entanto no dia de maior demanda atmosférica ocorreu menor transpiração. Avaliando as condições meteorológicas no momento da leitura (entre 13 e 14 h) observaram-se temperaturas maiores e menores valores de UR(%) aos 45 DAE (apêndice X), além de apresentar maior déficit de pressão de vapor de água maior no 45DAE que foi de 3,01 Kpa e de 2,10 Kpa para o dia 18DAE. Com um déficit de saturação do ar elevado há um mais gradiente de vapor entre a folha e o ar, que é a força motriz da transpiração, o que intensificando o fluxo de água através da planta em condições de adequado suprimento hídrico. Entretanto, quando o solo se encontra com baixo potencial da água o déficit hídrico ocorre, em razão do elevado fluxo de água através dos estômatos, com isso, estes tendem a se fechar a fim de evitar maiores perdas

de água.

A maior taxa de transpiração observada aos 45 DAE ocasionou maior perda de água pela planta para a atmosfera, provocando uma menor eficiência no uso da água. Os valores de A foram semelhantes, portanto a planta regula sua taxa de transpiração para manter a fotossíntese a níveis satisfatórios para a planta. Torres; Schiavinato, (2008) comentam que, a vantagem ecológica que as plantas obtêm ao regular a transpiração é manter uma relação linear com a EUA , otimizando assim as trocas gasosas. A razão entre a taxa fotossintética e a taxa de transpiração resulta na EUA , que um parâmetro fisiológico que expressa quantitativamente o comportamento momentâneo das trocas gasosas na folha e que varia entre e dentro das espécies vegetais (Larcher, 2000).

Comparando-se os valores de condutância determinado aos 28 e 45 DAE com os valores de potencial para os mesmos dias, (Figura 17 e 18) observa-se que, mesmo havendo diferença no potencial de $-0,97$ MPa para o 18DAE para $-1,76$ MPa na 45 DAE. Não ocorreu diferença nos valores de condutância. As médias de condutância estomática foram de $0,62$ e $0,61$ para o 18 e 45 DAE, respectivamente. Resultado semelhante também foram observado por Paiva et al., (2005) que encontraram que diferentes potenciais de água na folha valores semelhantes de condutância estomática. Entretanto, Bianchi (2004) e Bergonci (1997) observaram que, parece haver um valor de potencial de água na folha em torno de $-1,5$ MPa que faz com que a condutância estomática diminua.

Possivelmente, as limitações hídricas impostas as plantas nesses dois dias não foram suficientes para provocar grandes variações na condutância estomática. Contudo, esse comportamento não é verificado quando a limitação hídrica é acentuada (SCHURR et al., 1992). Isso indica que, quando o déficit de água no solo não é acentuado, as variações da condutância estomática obedecem à mesma tendência das plantas sem restrição hídrica (BERGONCI et al., 2000)

Os valores de A , g_s e E , foram semelhantes durante os dias, apresentando valores menores no início do dia, elevando-se durante a tarde e reduzindo-se a medida que se aproxima da noite (Figura 18).

A condutância foliar máxima ocorreu entre as 12 e 14 horas, diferindo de resultados encontrados por Bergonci et al., (2000) que encontraram valores de condutância foliar máxima as 10:00 horas e condutância foliar mínima as 13:00 horas. Estes autores atribuem que às 10:00 horas é o momento do dia em que a

radiação solar já é elevada e a limitação de água às folhas ainda não se faz presente em plantas irrigadas. Contudo os autores observam este mesmo comportamento quando a limitação de água no solo foi acentuada.

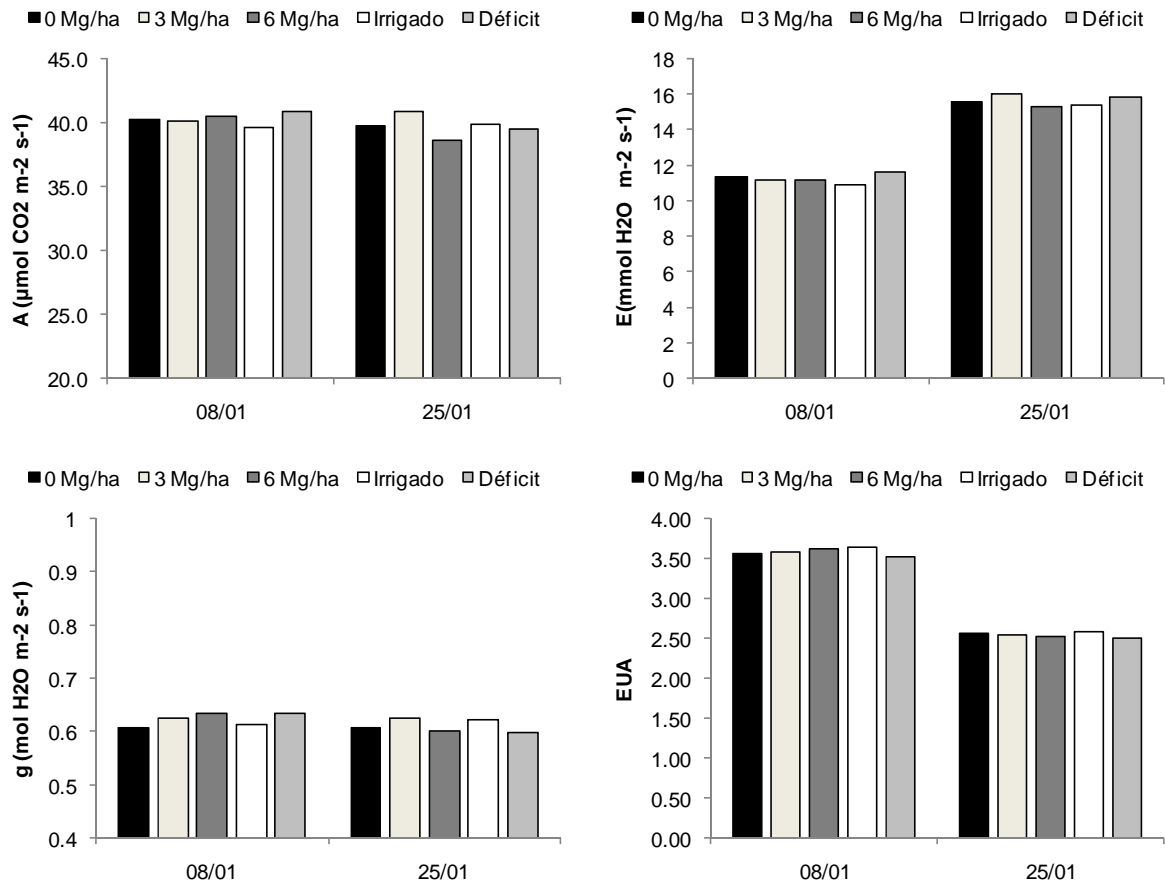


Figura 17- Curso diário da taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E) condutância estomática (g) e da eficiência do uso da água (EUA) em milho para os dias 08/01 e 25/05, (28 e 45 DAE). Santa Maria, RS, 2010.

Os valores máximos de g_s foram de $0,74 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no dia 14 de janeiro de 2010. Para Bianchi et al., (2007) estudando o efeito de diferentes níveis de irrigação na cultura do milho em sistema plantio direto e convencional encontraram, valores máximos de g_s entre 0,35 a 0,60 para o tratamento irrigado. Lima Filho (2000) encontrou valores máximos de g_s determinado às 10 horas de $0,35 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Os valores máximos de A ocorreram às 16 horas com valores médios de 36,1

$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Valores de $35 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foram encontrados por Machado, Lagôa (1994) para a cultura do milho sem limitações hídricas. Lima Filho (2000) encontrou valores de $30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em condição de milho irrigado.

Plantas submetidas a déficit hídrico moderada, frequentemente apresentam um aumento na EUA, uma vez que uma redução apenas parcial da abertura estomática limita mais fortemente a transpiração do que a entrada de CO_2 (CHAVES et al., 2002; KRON et al., 2008). De modo geral, os valores da *EUA* das plantas sob deficiência hídrica diminuem, indicando que as plantas estaria sob uma restrição hídrica mais severa. Isso ocorre em função de um maior aumento da resistência em relação à difusão do CO_2 no mesófilo, diminuindo a eficiência de carboxilação (LAWLOR; CORNIC, 2002).

Os valores obtidos de fotossíntese, condutância estomática, taxa de transpiração e eficiência do uso da água aos 34 e 50 DAE, apresentam um comportamento semelhante nas trocas gasosas ao longo do dia, com valores aumentando ao longo do dia e reduzindo ao entardecer. Valores menores de fotossínteses, taxa de transpiração e condutância estomática, com maiores diferença ocorrendo no início e ao final do dia. Nas determinações realizadas as 10:00 horas aos 34 DAE temos *A* de $23,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e para o 50 DAE de $4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Aos 34 DAE a cultura estava em estágio vegetativo V11 e a folha amostrada para análise das trocas gasosas foi à última totalmente expandida. Aos 50 DAE as plantas de milho se encontrava em pleno florescimento e a folha avaliada foi a logo abaixo da espiga.

Estas diferenças metodológicas de avaliação interferiram principalmente na radiação fotossinteticamente ativa. Aos 50 DAE o IAF foi de 4,98 o que reduziu a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que chegava ao interior do dosel vegetativo, como pode ser observado na figura 20. Na RFA as maiores reduções ocorrem às 10 horas, mesmo horário onde ocorrem as maiores reduções de fotossíntese, taxa de transpiração e condutância estomática.

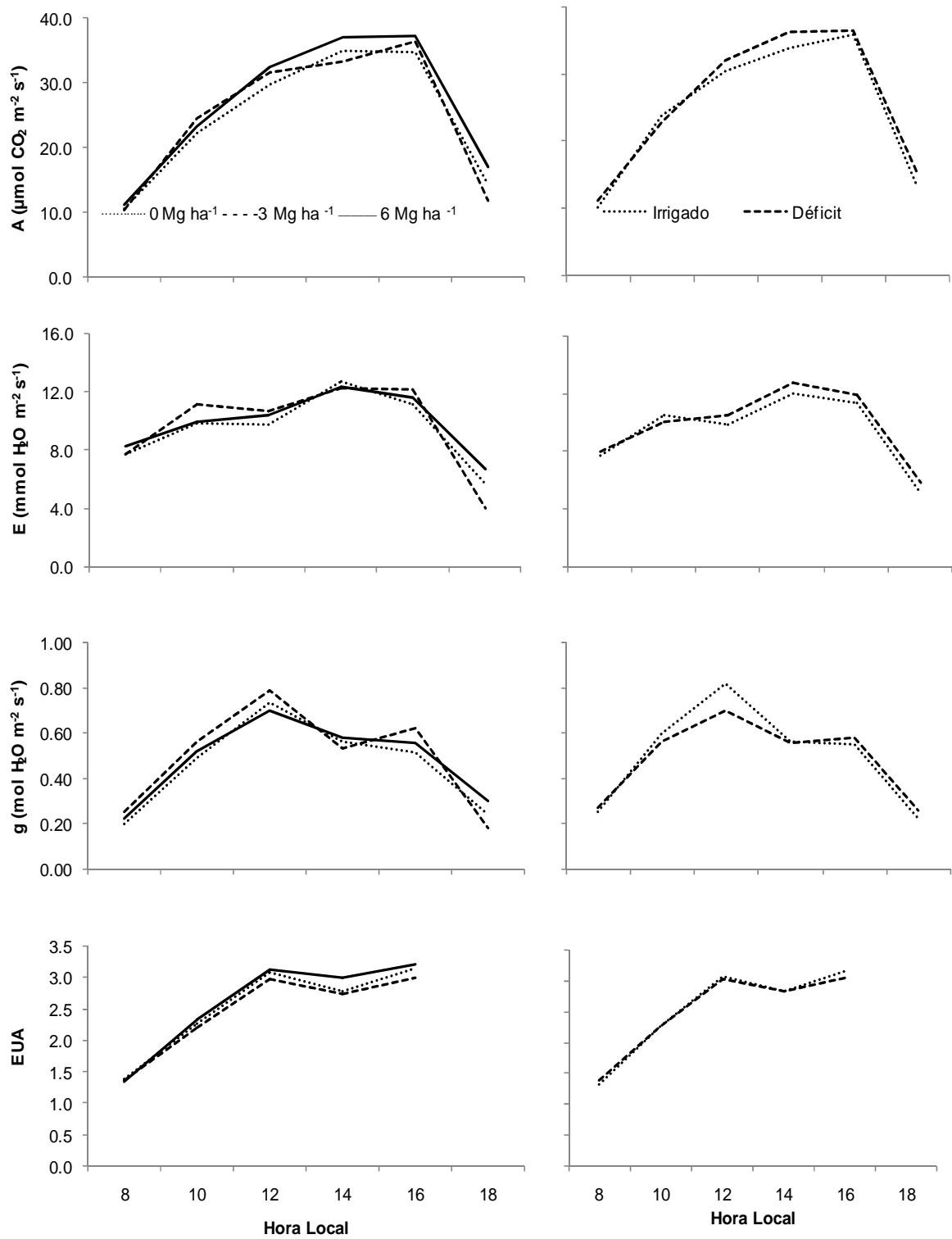


Figura 18- Variação diária da taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E) condutância estomática (gs) e da eficiência do uso da água (EUA) em milho para o dia 14/01/2010 (34 DAE). Santa Maria, RS, 2010.

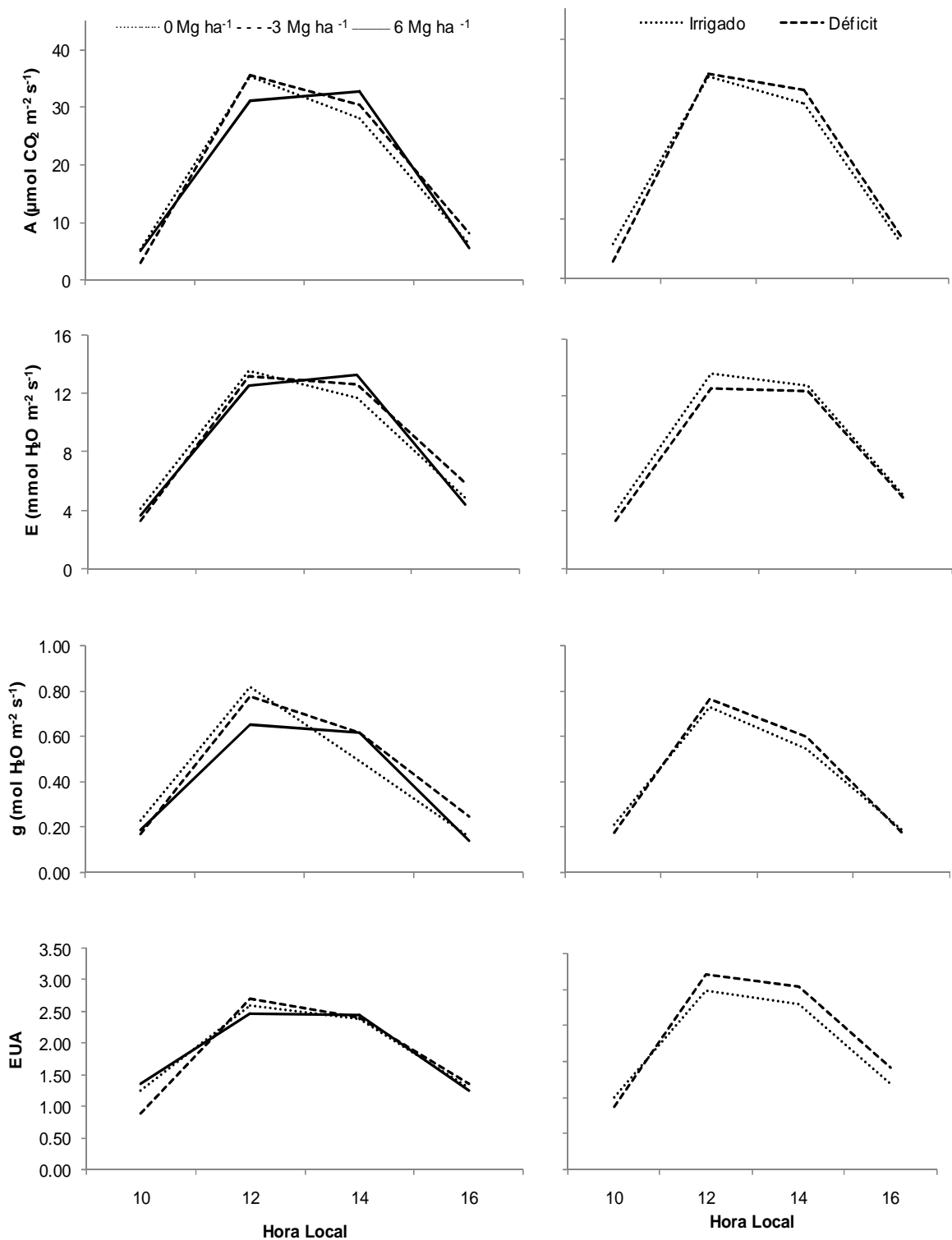


Figura 19- Curso diário da taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E) condutância estomática (gs) e da eficiência do uso da água (EUA) em milho para o dia 30/01/2010 (50 DAE). Santa Maria, RS, 2010.

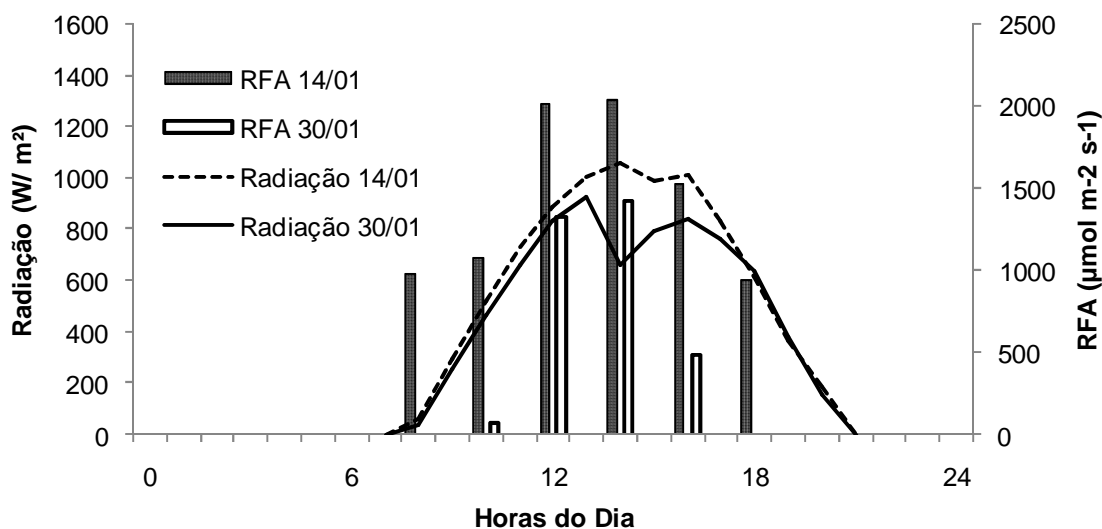


Figura 20- Variação diária da radiação solar (Estação Automática), e a Radiação fotossinteticamente ativa (RFA), nos horários das avaliações (LI 6400 XT), para os dias 14/01/2010 e 30/01/2010, Santa Maria, RS, 2010.

A resposta da condutância estomática à variação da RFA apresenta segundo Bono et al., (2001) três etapas segundo. Na primeira, com fluxos de radiação entre 0 e 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, há uma resposta linear positiva, onde a inclinação da curva indicaria a velocidade de abertura dos estômatos. Na segunda etapa, entre 300 e 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, inicia-se o processo de saturação em que a abertura estomática já não é mais linearmente relacionada a aumentos no fluxo de radiação. A última etapa indica a foto-saturação da resposta, em que aumentos da RFA não mais causam aumentos significativos na condutância estomática, quando os estômatos atingem sua máxima abertura.

Comparando-se os valores de *EUA* para aos 50 DAE observam-se uma maior eficiência de uso de água para o tratamento com déficit hídrico, pois plantas em deficiência hídrica inicial apresentam um aumento na *EUA* uma vez que uma redução apenas parcial da abertura estomática limita mais fortemente a transpiração do que a entrada de CO_2 aumentando a eficiência do uso da água. (CHAVES et al., 2002; KRON et al., 2008; FIRMANO et al., 2009)

5 CONCLUSÃO

O excesso de chuvas que ocorreram fora do experimento interferiram na aplicação dos déficit hídricos na área experimental.

As quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo não influenciaram nos parâmetros morfofisiológicos da cultura do milho.

Não foram observadas modificações morfofisiológicas na cultura do milho nos déficit hídrico aplicados.

Não foi possível identificar parâmetros indicativos de condição hídrica na cultura do milho devido a não ocorrência de respostas fisiológicas que pudessem estar relacionadas ao déficit hídrico

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. FAO-56 dual crop coefficient procedure for predicting evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE**, v. 131, n. 1, 2005.

ANGELLOCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: L. R. Angelocci, 2002. 272 p.

ANSLEY, R.J. et al. Soil and leaf water relations of differentially moisture stressed honey mesquite (*Prosopis glandulosa* Torr). **Journal of Arid Environments**, London, v.22, n.1, .147-159, 1992.

AZEVEDO, E.; HSIAO, T. C.; HENDERSON, D. W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. **Plant Physiology**, Rockville, v. 48, p. 631-636, 1971.

BASSOI, L. H. et al. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: II. Comparação entre a cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 541-548, 1994.

BAUMHARDT, R. L.; JONES, O. R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. **Soil & Tillage Research**, v. 68, p. 71-82, 2002.

BELAYGUE, C. et al. Contribution of leaf expansion, rates of leaf appearance, and stolon branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 1240-1246, 1996.

BERGAMASCHI, H. et al. Water supply in the critical period of maize and the grain production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H. et al. Water deficit and yield in maize crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 603-613, 2007.

BERGONCI, J. I. **Avaliação de indicadores de déficit hídrico em milho**. 1997. 111f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

BERGONCI, J. et al. Condutância foliar como um indicador do déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 27-34, 2000a.

BERGONCI, J. I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000b.

BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BERGONCI, J. I. ; PEREIRA, P. G. Comportamento do potencial da água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 229-235, 2002.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **“El Niño” e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; Aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2003. 110 p.

BESCANSÀ, P. et al. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 87, p. 19-27, 2006.

BIANCHI, C. A. M. **Avaliação de indicadores da condição hídrica em milho sob diferentes níveis de água, em semeadura direta e Convencional**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2004.

BIANCHI, C. A. M.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHASCHI, H.; DALMAGO, G. A. HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Ciência Rural** v. 37, n. 2, p. 315-322, 2007.

BOND, J. J.; WILLIS, W. O. Soil water evaporation: first stage dryings as influenced by surface residue and evaporation potential. **Soil Science Society of American Proceeding**, Madison, v. 34, n. 6, p. 924-928, 1970.

BONO, L. **Efeito do déficit hídrico sobre as respostas estomáticas do milho à radiação fotossinteticamente ativa**. 1997. 95f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

BONO, L. et al. Alterações no padrão de resposta à luz da condutância estomática do milho causadas pelo déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 27-34, 2001.

BOYER, S. J. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**, Rockville, v. 46, p. 233-235, 1970.

BRAGAGNOLO, L.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 369-374, 1990.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trend in Plant Science**, London, v. 2, n. 2, p. 48-54, 1997.

CEULEMANS, R.; IMPENS, I.; LAKER, M.C.; ASSCHE, F.M.G. van; MOTRAN, R. Net CO₂ exchange rate as a sensitive indicator of plant water status in corn (*Zea mays* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 3, p. 597-606, 1988.

CHAVES, M. M. et al. How plants cope with stress in the field: photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 907-16, 2002.

CHAVES, M. M., OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for watersaving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 2365–2384, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2004. 400 p.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. da S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um latossolovermelho- amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, n. 32, p. 515-523, 2008.

CRAUFURD, P. Q. et al. Effect of temperature and water deficit on water-use efficiency, carbon isotope discrimination, and specific leaf area in peanut. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 1, p. 136-142, 1999.

CRUZ, A. C. R. et al. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1105-1112, 2003.

DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 2004. 245 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DALMAGO, G. A. et al. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 855-864, 2009.

DAVIES, W. J., WILKINSON, S., LOVEYS, B. Stomatalcontrol by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water-use efficiency in agricultura, **New Phytol**, v. 135, p. 449-460, 2002.

DECAGON DEVICES. **Operator's manual version 1.3 WP4 dew point meter**. USA, Decagon devices, 2000. 70 p.

DUARTE, J. O. ; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. **Análise da evolução do sistema de plantio direto e sua relação com a evolução da área plantada com sorgo no Cerrado**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

EARL, H. J.; DAVIS, R. F. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 688-696, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília-DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>>. Acesso em: 28 jul. 2008.

FERNÁNDEZ, C. J.; McINNES, K. J.; COTHREN, J. T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 1224-1233, 1996.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: 45^a REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 255-258.

FIRMANO, R. S.; KUWAHARAI, F. A.; SOUZAI, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 1967-1973, out. 2009.

FLEXAS, J. et al. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biol**, v. 6, p. 269–279, 2004.

FLEXAS, J. et al. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, v. 127, p. 343-352, 2006.

FREITAS, P. S. MANTOVANI, L.; E. C., SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v.8, n.1, p.85-91, 2004.

GOMES, M. M. A. et al. Abscisic acid and indole 3-acetic acid contents in orange trees infected by *Xylella fastidiosa* and submitted to cycles of water stress. **Plant Growth Regul**, v. 39, n. 3, p. 263-270, 2003.

GOMES, M. de M. de. A. et al. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Physiologia Plantarum**, v. 16, n. 3, p. 155-161, 2004.

GORDIYENKO, V. P.; KOSTOGRYZ, P. V. Patterns of moisture evaporation at variable bulk densities of the upper soil layer. **Soviet Soil Science**, New York, v. 22, n. 8, p. 111-122, 1990.

GUBIANI, P. I. **Tempo para a ocorrência da resistência à penetração estritiva ao feijoeiro em solo com diferentes estados de compactação**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 70-75, 2006.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. 3. ed. New York: Academic Press, 1973. 288 p.

HUBERT, F. et al. Morphology changes under tillage and no-tillage practices. **Geoderma**, v. 142, p. 226-236, 2007.

JOHN, L. **ONU quer mais eficiência na irrigação**. 2003. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/ext/ciencia/agua/negociacoesde2003_7.htm>. Acesso em: 07 jan. 2008.

JONES, C.A. **C4 Grasses and Cereals: Growth, Development and Stress Response**. New York: John Wiley & Sons, 1985.

KATERJI, N.; HALLAIRE, M. Les grandeurs de reference utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. **Agronomie**, Paris, v. 4, n.10, p.999-1008, 1984.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 20).

KRAMER, P. J.; BOYER J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995, 495 p.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 43-49, 2008.

KRON, A. P. et al. Water deficiency at different developmental stages of *glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 43-49, 2009.

KUNZ, J. H. et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, 2007.

LAFARGE, T. H.; HAMMER, G. L. Predicting plant leaf area production: shoot assimilate accumulation and partitioning and leaf area ratio are stable for a wide range of sorghum population densities. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 77, p. 137-151, 2002.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Brasil: E. RiMa, 2000. 530p.

LAWLOR, D. W., CORNIC, G. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. Metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, n. 89, p. 871-885, 2002.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: P. L. Libardi, 1995. 497 p.

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

LIU, L. et al. Coordination between Stomatal Conductance and Leaf specific Hydraulic Conductance in Maize (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural Meteorology**, v. 61, n. 3, p. 143-152, 2005.

MACHADO, E. C.; LAGO, A. M. M. A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, vol.53, n.2, p. 141-149, 1994.

MARTORANO, L. G. et al. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397-405, 2009.

MASRI, Z.; RYAN, J. Soil organic matter and related physical properties in a Mediterranean wheat-based rotation trial. **Soil & Tillage Research**, v. 87, p. 146-154, 2006.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10).

MEDICI, L. O. et al. Stomatal conductance of maize under water and nitrogen deficits. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 599-601, 2007.

MEYER, R. F.; BOYER, J. S. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. **Planta**, Springer-Verlag Heidelberg, v. 151, p. 482-489, 1981.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre-RS: Secretaria de Agricultura, 1961. 42p.

MOULIA, B. Leaves as shell structures: double curvature, auto stresses, and minimal mechanical energy constraints on leaf rolling in grasses. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 19, p. 19-30, 2000.

MÜLLER, A. G. et al. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.

NESMITH, D. S.; RITCHIE, J. T. Short- and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 107-113, 1992.

NIED, A. H. et al. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, set./out. 2005.

NIU, S. L. et al. Diurnal gas Exchange and superior resources use efficiency of typical C4 species in Hunshandak Sandland, China. **Photosynthetica**, v. 41, n. 2, p. 221-226, 2003.

NIU, S. L. et al. Ecophysiological acclimation to different soil moistures in plants from a semi-arid sandland. **Journal of Arid Environments**, v. 63, p. 353-365, 2005.

NIU, S. L. et al. Gas exchange and chlorophyll fluorescence response to simulated rainfall in *Hedysarum fruticosum* var. *mongolicum*. **Photosynthetica**, v. 42, n. 1, p. 1-6, 2004.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ed. Agronomica Ceres, 1981. 440 p.

OTIENO, D. O. et al. Seasonal variations in soil and plant water status in a *Quercus suber* L. Stand: roots as determinants of tree productivity and survival in the Mediterranean-type ecosystem. **Plant Soil**, v. 283, p. 119-135, 2006.

PAIVA, A. S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PEREIRA, A. C.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de níveis de cobertura do solo sobre o manejo de irrigação de feijoeiro. **Irriga**, Botucatu v. 7. n. 1 p. 42-52, 2002.

PEREIRA, P. G. et al. Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico na fotossíntese e condutância foliar em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 53-62, 2003.

PETRY, M. T. et al. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 531-539, 2007.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. de La. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 31-39, 2000.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: UFRuralRJ, 2004. 192 p.

PREMACHANDRA, G. S. et al. Osmotic adjustment and stomatal response to water deficits in maize. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 43, n. 256, p. 1451-1456, 1992.

QUANQI, L. et al. Water potential characteristics and yield of summer maize in different planting patterns. **Plant Soil Environ**, v. 54, n. 1, p. 14-19, 2008.

RADIN, B. et al. Evapotranspiração da cultura do milho em função da demanda evaporativa atmosférica e do crescimento das plantas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 9, p. 7-16, 2003.

REICHARDT, K. & TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: E. Manole, 2004. 478 p.

REICH, P.B.; HINCKLEY, T.M. Influence of pre-dawn water potential and soil-to-leaf hydraulic conductance on maximum daily leaf diffusive conductance in two oak species. **Ecology**, New York, v.3, p.719-726, 1989.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J. & BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Special Report n. 48. Iowa State, University of Science and Tecnology, Ames, Iowa, 1993.

ROJAS, C. A. L.; LIER, Q. J. V. Alterações físicas e hídricas de um podzólico em função de sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 5, p. 105-115, 1999.

SADRAS, V. O.; ECHARTE, L.; ANDARADE, F. Profile of leaf senescence during reproductive growth of sunflower and maize. **Annals of Botany**, London, v. 85, p. 187-195, 2000.

SAHA, S. et al. Linking the patterns in soil moisture to leaf water potential, stomatal conductance, growth, and mortality of dominant shrubs in the Florida scrub ecosystem. **Plant Soil**, v. 313, p. 113–127, 2008.

SALA, A.; TENHUNEN, J. D. Simulation of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex l.* under the influence of seasonal drought. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdan, v. 18, p. 203-222, 1996.

SANTOS, M. G. et al. Gas exchange and yield response to foliar phosphorus application in *Phaseolus vulgaris L.* under drought. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, p. 171-179, 2004.

SANTOS, M. G. et al. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild drought deficit. **Plant Science**, Clare, v. 170, p. 659-664, 2006.

SANTOS, M. G et al. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit. **Biologia Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1998.

SAUTER, A., DAVIES, W. J., HARTUNG W. The long distance abscisic acid signal in the droughted plant; the fate of the hormone on its way from the root to the shoot. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 1-7, 2001.

SCHURR, L.; GOLLAN, T.; SCHULZE, E. D. Stomatal Response to Drying soil in Relation to Changes in the Xylem Sap Concentration of *Helianthus annuus*. I. Stomatal Sensitivity to Abscisic Acid Imported from the Xylem Sap. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 15, p. 561-567, 1992.

SCHUSSLER, J. R.; WESTGATE, M. E. Maize kernal set at low water potential. I. Sensitivity to reduced assimilates during early kernal growth. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 1189- 195, 1991.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho Agiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 407-414, 2005.

SELLIN, A. Does pre-dawn water potential reflect conditions of equilibrium in plant and soil water status? **Acza Oecoiogicu**, v. 20, n. 1, p. 51-59, 1999.

SHULTZ, H. R.; MATTEWS, M. A. Growth, osmotic adjustment, and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 287-294, 1993.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M. & REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 391-399. 2006.

SOUZA, G. M.; CARDOSO, V. J. M. Toward a hierarchical concept of plant stress. **Israel Journal of Plant Sciences**, Jerusalem, v. 51, p. 29-37, 2003.

STONE L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001.

STRECK, N. A. Do we know how plants sense a drying soil?. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 581-584, mar./abr. 2004.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. EMATER/RS; UFRGS, Porto Alegre, 2002. 222p

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: E.Atmed, 2009.819 p.

TARDIEU, F.; ZHANG, J.; GOWING, D. J. G. Stomatal Control by [ABA] in the Xylem Sap and Leaf Water Status: A Test of a model for Droughted or ABA-Fed Field-Grown Maize. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 16, p. 413-420, 1993.

TORMENA, C. A. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

TORRES, J. A. P., SCHIAVINATO, M. A. Crescimento, eficiência fotossintética e eficiência do uso da água em quatro espécies de leguminosas arbóreas tropicais. **Hoehnea**, v. 35, n. 3, p. 395-404, 2008.

TURNER, C. N. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tabacco under field conditions. **Plant Physiology**, Rockville, v. 53, p. 360-365, 1974.

VALENTINUZ, O. R.; TOLLENAAR, M. Vertical profile of leaf senescence during the grain filling period in older and newer maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 827-834, 2004.

VIEIRA JUNIOR, P. A. et al. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.

VITA, P. de. et al. No-tillage and convencional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 69-78, 2007.

WARREN, C. R., LIVINGSTON, N. J., TURPIN, D. H. Water stress decreases the transfer conductance of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziensis*) seedlings. **Tree Physiol**, v. 24, p. 971-979, 2004.

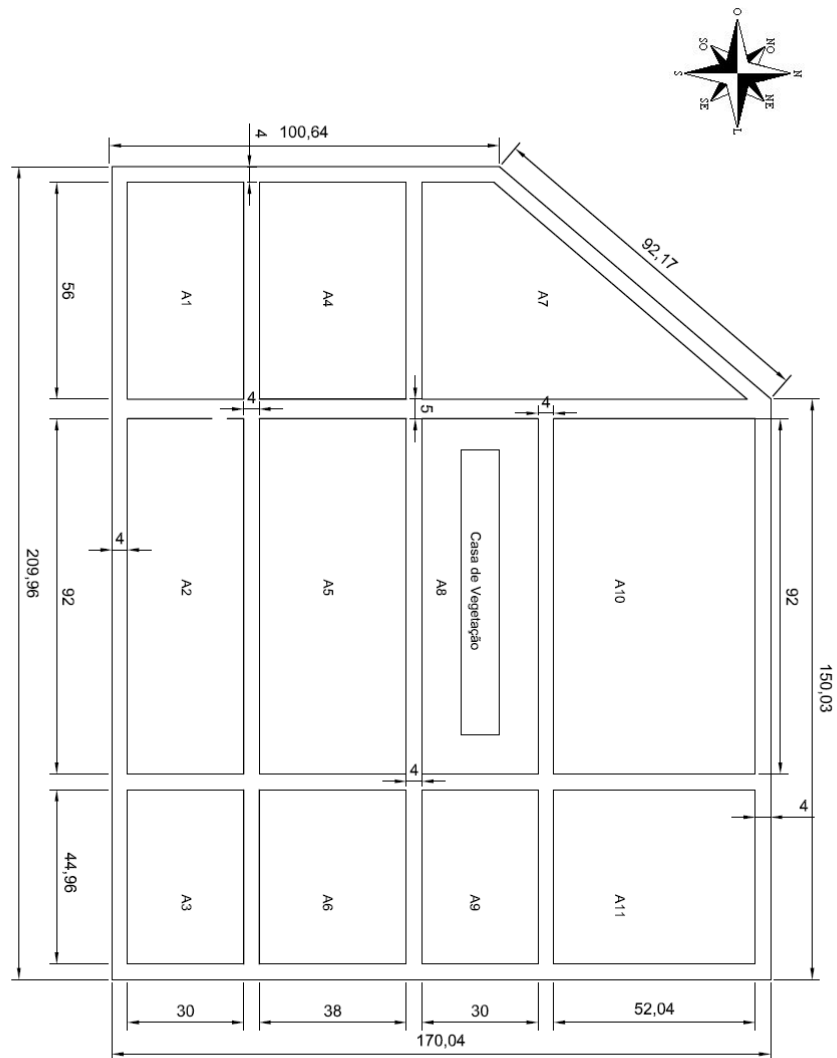
YATAPANAGE, K. G., SO, H. B. The Relationship between Leaf Water Potential and Stem Diameter in Sorghum. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 1341-1343, 2001.

YU, G. R. et al. Root water uptake and profile soil water as affected by vertical root distribution. **Plant Ecology**, v. 189, p. 15-30, 2007.

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M.E.; JONES, R.J. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. **Crop Science**, v. 35, p.158-164, 1995.

APÊNDICES

APÊNDICE 1- Croqui da estação experimental de irrigação do departamento de Engenharia Rural, UFSM, com localização da casa de vegetação (Rainout shelter) onde foi conduzido o experimento.



APÊNDICE 2 - Normais climatológicas para santa Maria, RS (1961-1990).

Mês	Chuva(mm)	Temperatura (°C)			UR(%) média
		Média	Mínima	Máxima	
Janeiro	145,1	24,6	19,1	30,4	71,0
Fevereiro	130,2	24,0	19,5	30,0	76,0
Março	151,7	22,2	17,9	28,2	79,0
Abril	134,7	18,8	14,5	25,0	80,0
Mai	129,1	16,0	11,8	22,1	82,0
Junho	144,0	12,9	9,3	19,2	81,0
Julho	148,6	13,5	9,5	19,6	80,0
Agosto	137,4	14,6	10,4	20,3	78,0
Setembro	153,6	16,2	11,3	21,9	78,0
Outubro	145,9	18,8	13,5	24,8	73,0
Novembro	132,2	21,4	15,9	27,3	71,0
Dezembro	133,5	22,7	18,3	29,5	69,0
Anual	1686,1	18,8	14,2	24,9	77,0

APÊNDICE 3- Médias mensais de chuva, temperatura máxima mínima e media do ar e umidade relativa do ar, nos meses de realização do experimento.

Mês	Chuva(mm)	Temperatura (°C)			UR(%) média
		Média	Mínima	Máxima	
Setembro	368,4	15,7	11,3	20,9	83
Outubro	109,4	18,5	13,5	24,3	75,8
Novembro	437,2	22,7	14,9	27,9	83,9
Dezembro	310,6	23,5	15,2	28,5	79,4
Janeiro	432,8	24,2	15,5	25,9	74,6

APÊNDICE 4- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o armazenamento de água na camada de 0-10 cm. Santa Maria, RS, 2010.

D A E	P	I	P * I	QMe	CV%	D A E	P	I	P * I	QMe	CV %
0	52,5*	28,25	3,68	10,53	6,51	26	13,98	4,32	6,91	21,01	8,86
1	40,6*	20,09	5,01	6,92	4,97	27	15,50	5,04	6,36	19,49	8,50
2	40,1*	16,41	5,33	7,76	5,24	28	16,80	4,52	5,92	18,84	8,34
3	42,6*	18,38	4,59	8,56	5,62	29	16,16	5,07	5,38	19,04	8,58
4	32,31	7,60	0,00	14,28	7,50	30	16,24	6,18	4,62	18,13	8,59
5	25,93	2,66	0,00	20,26	9,13	31	15,37	6,71	3,89	16,91	8,50
6	24,42	2,11	0,00	20,17	9,22	32	13,93	24,53	3,38	16,04	8,45
7	23,32	1,79	0,00	20,24	9,36	33	14,62	83,80*	4,32	16,94	8,83
8	23,82	1,46	0,00	20,83	9,61	34	13,59	68,80*	4,07	14,81	8,39
9	25,32	0,00	1,07	21,60	9,87	35	18,14	16,49	3,62	14,80	7,69
10	26,37	0,00	1,34	22,22	10,07	36	19,04	13,03	4,47	15,64	7,98
11	27,66	0,00	1,56	23,69	10,43	37	21,64	24,99	8,24	8,21	5,34
12	29,56	0,00	1,02	24,49	10,66	38	11,12	4,13	5,75	12,59	6,66
13	31,10	0,00	1,02	25,86	10,97	39	15,37	3,71	5,70	14,87	7,61
14	30,82	0,00	1,31	26,27	11,11	40	14,39	4,23	5,31	14,08	7,69
15	37,63	8,61	29,16	40,78	12,83	41	12,88	4,10	5,04	13,16	7,66
16	8,21	60,75	54,96	83,55	17,80	42	11,35	4,06	4,99	12,56	7,71
17	5,32	60,41	55,51	84,83	18,06	43	11,07	30,08	4,52	12,44	7,79
18	4,84	57,94	53,03	84,77	18,29	44	13,97	142,22*	7,26	16,95	9,19
19	10,96	0,00	52,24	76,99	17,63	45	11,32	118,60*	8,36	16,43	9,50
20	9,31	5,59	39,36	69,89	17,13	46	10,53	62,95*	7,66	17,59	9,71
21	12,07	2,47	25,92	58,08	16,49	47	13,97	142,22*	7,26	16,95	7,79
22	13,34	5,78	21,31	49,26	15,46	48	11,32	118,60*	8,36	16,43	9,19
23	10,02	14,64	19,43	36,42	11,85	49	14,39	104,23*	5,31	14,08	7,61
24	10,89	4,83	14,90	26,92	9,74	50	12,88	142,10*	5,04	13,16	8,69
25	14,53	4,24	8,82	21,59	8,73						

APÊNDICE 5- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o armazenamento de água na camada de 10-25 cm. Santa Maria, RS, 2010.

D A E	P	I	P * I	QMe	CV%	D A E	P	I	P * I	QMe	CV%
0	52,51*	28,25	3,68	10,53	6,51	26	10,89	4,83	14,90	26,92	9,74
1	40,68*	20,09	5,01	6,92	4,97	27	14,53	4,24	8,82	21,59	8,73
2	42,64*	18,38	4,59	8,56	5,24	28	13,98	4,32	6,91	21,01	8,86
3	40,13*	16,41	5,33	7,76	5,62	29	15,50	5,04	6,36	19,49	8,50
4	32,31	7,60	0,00	14,28	7,50	30	16,80	4,52	5,92	18,84	8,34
5	25,93	2,66	0,00	20,26	9,13	31	16,16	5,07	5,38	19,04	8,58
6	24,42	2,11	0,00	20,17	9,22	32	16,24	6,18	4,62	18,13	8,59
7	23,32	1,79	0,00	20,24	9,36	33	15,37	6,71	3,89	16,91	8,50
8	23,82	1,46	0,00	20,83	9,61	34	13,93	24,53	3,38	16,04	8,45
9	25,32	0,00	1,07	21,60	9,87	35	13,59	68,80*	4,07	14,81	8,83
10	26,37	0,00	1,34	22,22	10,07	36	14,62	83,80*	4,32	16,94	8,39
11	27,66	0,00	1,56	23,69	10,43	37	18,14	16,49	3,62	14,80	7,69
12	29,56	0,00	1,02	24,49	10,66	38	19,04	13,03	4,47	15,64	7,98
13	31,10	0,00	1,02	25,86	10,97	39	21,64	24,99	8,24	8,21	5,34
14	30,82	0,00	1,31	26,27	11,11	49	15,37	3,71	5,70	14,87	6,65
15	37,63	8,61	29,16	40,78	12,83	41	14,39	4,23	5,31	14,08	7,61
16	8,21	60,75	54,96	83,55	17,80	42	12,88	4,10	5,04	13,16	7,69
17	5,32	60,41	55,51	84,83	18,06	43	11,35	4,06	4,99	12,56	7,66
18	4,84	57,94	53,03	84,77	18,29	44	11,07	30,08	4,52	12,44	7,71
19	5,38	53,55	50,60	84,22	18,52	45	13,97	142,22*	7,26	16,95	7,79
20	10,96	0,00	52,24	76,99	17,63	46	11,32	118,60*	8,36	16,43	9,19
21	9,31	5,59	39,36	69,89	17,13	47	14,39	104,23*	5,31	14,08	7,61
22	10,32	2,19	32,38	64,29	16,86	48	12,88	142,10*	5,04	13,16	8,69
23	12,07	2,47	25,92	58,08	16,49	49	11,35	123,06*	4,99	12,56	9,66
24	13,34	5,78	21,31	49,26	15,46	50	11,07	130,08*	4,52	12,44	9,71
25	10,02	14,64	19,43	36,42	11,85						

APÊNDICE 6- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o armazenamento de água na camada de 25-55 cm. Santa Maria, RS, 2010.

D A E	P	I	P * I	QMe	CV%	D A E	P	I	P * I	QMe	CV%
0	37,43	2,13	7,43	17,65	4,22	26	28,30	2,13	6,43	10,72	2,95
1	8,03	2,70	5,70	8,12	2,63	27	33,10	1,20	4,90	10,58	2,94
2	13,30	2,70	5,70	11,00	3,07	28	44,43	1,20	3,90	14,00	3,46
3	18,63	4,80	4,90	13,25	3,44	29	28,13	1,63	5,73	10,73	3,01
4	24,40	3,33	4,93	16,70	3,96	30	29,03	2,13	3,03	11,63	3,13
5	30,10	4,03	7,23	18,15	4,23	31	31,03	0,00	4,43	16,10	3,76
6	33,10	6,53	5,63	17,62	4,25	32	12,70	3,33	5,83	17,57	4,27
7	38,63	2,70	7,30	18,62	4,44	33	12,70	6,53	5,63	19,48	4,52
8	48,53	4,80	8,40	18,87	4,53	34	20,03	5,63	6,43	19,60	4,47
9	53,73	5,63	10,13	20,12	4,73	35	23,63	5,63	7,23	18,48	4,62
10	59,70	4,80	6,30	19,42	4,68	36	37,43	2,13	7,43	17,65	4,16
11	71,03	7,50	7,90	20,33	4,82	37	8,03	2,70	5,70	8,12	2,64
12	74,10	5,63	7,23	19,60	4,77	38	13,30	2,70	5,70	11,00	3,28
13	86,93	4,80	8,40	21,83	5,03	39	18,63	4,80	4,90	13,25	3,20
14	84,23	2,70	7,30	21,13	4,94	49	24,40	3,33	4,93	16,70	3,04
15	84,53	7,50	14,80	22,75	4,91	41	30,10	4,03	7,23	18,15	3,36
16	85,63	13,33	16,03	21,95	4,66	42	33,10	6,53	5,63	17,62	3,95
17	78,23	13,33	16,03	23,15	4,79	43	38,63	2,70	7,30	18,62	4,43
18	66,13	16,13	17,73	22,75	4,81	44	48,53	4,80	8,40	18,87	4,64
19	75,83	10,80	15,10	23,97	5,01	45	53,73	5,63	10,13	20,12	4,80
20	75,63	24,30	13,30	22,67	4,87	46	59,70	4,80	6,30	19,42	4,87
21	89,70	53,33	18,43	22,65	4,93	47	18,63	5,63	10,13	20,12	4,80
22	74,53	30,00	17,20	23,68	5,12	48	24,40	4,50	10,30	19,42	4,87
23	72,90	22,53	10,83	23,80	5,22	49	30,10	104,23*	5,31	14,08	7,61
24	62,70	26,13	18,23	22,03	5,00	50	12,88	142,10*	5,04	13,16	8,69
25	38,93	13,33	12,93	9,52	2,87						

APÊNDICE 7- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o armazenamento de água na camada de 55- 85 cm. Santa Maria, RS, 2010.

D A E	P	I	P * I	QMe	CV%	D A E	P	I	P * I	QMe	CV%
0	40,93	9,63	6,53	33,87	4,49	26	39,70	26,13	5,03	39,18	4,63
1	45,03	8,53	3,23	32,12	4,49	27	37,43	30,00	4,90	40,08	4,63
2	46,43	10,80	6,10	33,17	4,56	28	38,53	32,03	5,73	40,07	4,72
3	49,90	7,50	6,10	34,45	4,34	29	38,53	22,53	10,13	41,17	4,35
4	53,63	7,50	9,10	35,85	4,28	30	36,40	24,30	5,20	35,37	4,65
5	43,20	32,03	4,93	38,00	4,48	31	32,13	36,30	3,60	40,52	4,46
6	42,03	30,00	4,30	39,03	4,53	32	42,63	24,30	8,10	36,63	4,17
7	48,53	19,20	5,20	34,80	4,67	33	40,93	9,63	6,53	33,87	4,28
8	48,90	5,63	5,23	33,45	4,62	34	45,03	8,53	3,23	32,12	4,43
9	52,43	9,63	7,03	36,20	4,70	35	46,43	10,80	6,10	33,17	4,47
10	53,63	12,03	8,03	36,32	4,77	36	49,90	7,50	6,10	34,45	4,42
11	54,53	8,53	9,73	37,82	4,71	37	53,63	7,50	9,10	35,85	4,72
12	50,03	8,53	11,63	36,17	4,76	38	43,20	32,03	4,93	38,00	4,74
13	43,43	10,80	15,10	36,75	4,85	39	42,03	30,00	4,30	39,03	4,54
14	43,43	13,33	17,03	37,23	4,73	49	48,53	19,20	5,20	34,80	4,48
15	40,83	17,63	19,03	35,92	4,63	41	48,90	5,63	5,23	33,45	4,56
16	38,10	9,63	17,03	36,23	4,34	42	52,43	9,63	7,03	36,20	4,16
17	40,53	14,70	15,60	38,27	4,33	43	53,63	12,03	8,03	36,32	4,25
18	44,93	10,80	15,60	36,58	4,57	44	54,53	8,53	9,73	37,82	4,38
19	34,30	13,33	20,83	35,48	4,62	45	50,03	8,53	11,63	36,17	4,49
20	43,43	16,13	10,03	33,02	4,60	46	43,43	10,80	15,10	36,75	4,64
21	52,50	13,33	10,43	32,92	4,64	47	53,63	7,50	9,10	35,85	4,72
22	47,63	10,80	12,70	36,42	4,67	48	52,43	9,63	7,03	36,20	4,16
23	44,93	9,63	12,13	36,82	4,85	49	47,63	10,80	12,70	36,42	4,67
24	38,43	4,03	12,43	36,05	4,69	50	43,43	10,80	15,10	36,75	4,85
25	34,30	0,00	14,63	36,15	4,60						

APÊNDICE 8- Lâmina média diária armazenada (mm), para os diferentes níveis de palha e irrigação, na camada de 0-10cm. Santa Maria, RS, 2010.

DAE	I	D.H	0	3	6	DAE	I	D.H	0	3	6
Mg ha ⁻¹						Mg ha ⁻¹					
0	36,8	36,7	32,8	37,6	39,8	26	37,1	33,6	33,1	35,4	37,6
1	37,5	37,4	33,8	38,3	40,3	27	37,1	34,9	33,8	36,0	38,1
2	37,9	37,8	34,2	38,7	40,7	28	36,1	34,6	33,2	35,5	37,3
3	37,2	37,2	33,3	38,1	40,3	29	36,0	34,7	33,0	35,6	37,3
4	36,7	36,6	32,8	37,5	39,7	30	36,4	35,1	33,5	35,9	37,7
5	36,1	36,0	32,1	36,9	39,1	31	35,9	34,8	33,2	35,7	37,2
6	35,6	35,5	31,5	36,2	38,8	32	34,7	34,0	32,0	34,8	36,3
7	35,0	35,0	31,0	35,6	38,4	33	33,6	33,1	31,0	33,9	35,2
8	34,6	34,5	30,4	35,1	38,2	34	33,7	31,7	30,5	33,2	34,3
9	34,3	34,2	30,0	34,8	38,1	35	33,7	30,0	30,0	32,5	33,0
10	34,3	34,2	29,9	34,7	38,1	36	31,7	29,0	28,4	31,2	31,5
11	34,2	34,1	29,8	34,7	38,0	37	33,1	31,0	29,6	33,2	33,4
12	33,8	33,7	29,3	34,2	37,8	38	33,2	31,8	29,7	33,8	33,9
13	33,7	33,6	29,2	34,0	37,7	39	34,5	33,2	30,8	35,2	35,6
14	33,2	33,1	28,8	33,5	37,3	40	35,7	34,6	32,1	36,3	37,0
15	37,4	37,4	34,3	37,4	40,4	41	34,5	33,8	31,1	35,3	36,0
16	37,5	38,0	35,4	37,9	39,9	42	33,3	32,8	30,1	34,3	34,8
17	36,3	37,0	33,9	36,8	39,1	43	32,1	31,8	29,0	33,2	33,6
18	35,4	36,2	33,0	36,0	38,4	44	31,1	30,8	28,1	32,2	32,5
19	34,6	35,5	32,3	35,0	37,8	45	31,9	29,8	28,3	32,0	32,4
20	36,4	34,0	32,8	34,8	38,0	46	33,2	28,7	28,9	31,9	32,0
21	35,3	32,6	31,6	33,5	36,6	47	30,6	27,2	26,9	29,9	29,8
22	33,6	31,5	30,3	32,3	35,1	48	33,7	26,2	28,1	30,7	31,2
23	31,8	30,0	28,8	30,6	33,4	49	34,0	25,5	27,9	30,4	31,0
24	30,9	29,0	27,7	29,8	32,5	50	33,1	24,2	26,9	29,4	29,6
25	35,4	30,8	30,8	33,0	35,6						

APÊNDICE 9- Lâmina média diária armazenada (mm), para os diferentes níveis de palha e irrigação, na camada de 10-25 cm. Santa Maria, RS, 2010.

DAE	I	D.H	0	3	6	DAE	I	D.H	0	3	6
Mg ha ⁻¹						Mg ha ⁻¹					
0	50,8	48,9	47,7	49,6	52,3	26	51,6	50,2	50,2	50,4	52,1
1	53,7	52,1	50,9	52,9	54,9	27	53,7	52,9	52,3	53,2	54,4
2	53,9	52,4	51,1	53,1	55,1	28	53,6	52,8	51,9	53,4	54,3
3	52,9	51,3	50,1	52,0	54,2	29	52,1	51,3	50,5	51,8	52,8
4	50,9	49,9	48,5	50,8	52,0	30	52,4	51,5	50,6	52,2	53,1
5	49,6	49,0	47,5	49,9	50,5	31	52,4	51,7	50,6	52,3	53,2
6	49,0	48,4	46,9	49,2	50,0	32	51,2	50,4	49,5	51,1	52,0
7	48,3	47,8	46,4	48,4	49,4	33	50,0	49,1	48,2	49,7	50,7
8	47,7	47,3	45,9	47,7	48,9	34	48,9	47,9	47,1	48,5	49,6
9	47,3	46,9	45,5	47,2	48,6	35	48,3	46,5	46,2	47,5	48,5
10	46,9	46,7	45,2	46,9	48,4	36	48,3	44,9	45,4	46,6	47,8
11	46,7	46,7	45,0	46,7	48,3	37	47,4	44,4	44,7	45,9	47,0
12	46,4	46,4	44,7	46,5	48,1	38	50,8	49,3	48,5	50,6	51,0
13	46,3	46,4	44,5	46,5	48,0	39	50,2	48,9	48,0	50,0	50,6
14	46,1	46,2	44,4	46,2	47,9	49	54,5	52,7	52,2	53,6	55,1
15	49,2	50,3	48,0	49,5	51,8	41	53,7	52,9	52,1	53,7	54,2
16	49,9	52,8	50,6	51,1	52,4	42	51,0	50,3	49,3	51,1	51,6
17	49,6	52,4	50,5	50,7	51,8	43	49,2	48,4	47,4	49,2	49,8
18	48,9	51,7	50,0	49,8	51,1	44	47,7	47,0	46,1	47,7	48,3
19	48,2	50,9	49,4	48,9	50,3	45	46,3	45,6	44,8	46,2	46,8
20	49,8	49,7	49,7	48,8	50,8	46	46,3	44,3	44,1	45,4	46,2
21	49,2	48,4	48,8	47,8	49,8	47	47,0	42,6	43,5	45,0	45,9
22	47,8	47,3	47,6	46,5	48,6	48	44,7	40,7	41,5	42,9	43,6
23	46,5	45,9	46,2	45,1	47,3	49	47,1	39,3	42,2	43,2	44,3
24	45,9	45,0	45,2	44,3	46,6	50	47,7	38,0	41,8	43,1	43,6
25	51,6	50,2	50,2	50,4	52,1						

APÊNDICE 10- Lâmina média diária armazenada (mm), para os diferentes níveis de palha e irrigação, na camada de 25-55 cm. Santa Maria, RS, 2010.

DAE	I	D.H	0	3	6	DAE	I	D.H	0	3	6
Mg ha ⁻¹						Mg ha ⁻¹					
0	99,2	99,8	98,2	98,7	101,6	26	94,8	92,9	92,0	92,1	97,5
1	108,0	108,6	107,8	108,0	109,2	27	108,2	106,9	106,3	106,5	109,8
2	107,8	108,5	107,3	107,9	109,3	28	110,9	110,4	110,0	109,5	112,5
3	105,5	106,1	104,9	105,2	107,3	29	110,8	110,5	109,8	109,6	112,7
4	102,8	103,6	102,2	102,3	104,9	30	108,4	108,0	106,9	107,2	110,6
5	100,3	101,1	99,7	99,7	102,7	31	109,2	108,8	108,1	107,9	111,0
6	98,4	99,2	97,7	97,8	101,0	32	109,2	109,0	108,0	108,2	111,1
7	96,9	97,6	96,0	96,2	99,6	33	106,9	106,8	105,9	105,8	109,0
8	95,6	96,3	94,5	94,8	98,5	34	103,8	103,7	102,9	102,5	105,9
9	94,5	95,3	93,3	93,7	97,6	35	100,9	100,8	100,0	99,5	103,0
10	93,7	94,5	92,4	92,9	96,9	36	98,9	98,0	97,7	97,1	100,5
11	93,1	94,1	91,7	92,5	96,6	37	97,9	95,5	95,8	95,5	98,8
12	92,5	93,4	90,9	91,8	96,0	38	98,5	96,5	96,8	96,2	99,5
13	92,4	93,2	90,7	91,6	96,0	39	107,7	107,1	107,1	106,7	108,4
14	92,5	93,2	90,9	91,5	96,1	49	106,2	105,6	105,4	105,1	107,2
15	96,6	97,8	94,5	96,4	100,9	41	110,3	110,9	110,8	109,7	111,3
16	99,8	101,2	97,9	99,7	103,9	42	109,9	110,1	110,4	109,2	110,5
17	99,8	101,2	98,4	99,5	103,6	43	107,0	106,9	106,6	106,2	108,1
18	98,6	99,9	97,3	98,1	102,3	44	103,6	103,6	103,4	102,6	104,8
19	97,2	98,4	95,9	96,6	100,9	45	100,1	100,2	100,0	99,0	101,4
20	98,8	96,9	95,9	96,6	101,1	46	97,2	97,2	97,1	96,0	98,6
21	98,1	95,4	94,5	95,4	100,2	47	96,0	94,8	95,3	94,2	96,8
22	96,0	94,0	92,9	93,5	98,6	48	96,1	92,6	93,9	93,4	95,8
23	94,2	92,5	91,3	91,7	97,0	49	93,2	90,2	91,4	90,5	93,3
24	94,8	92,9	92,0	92,1	97,5	50	94,2	84,5	89,0	88,2	90,9
25	108,2	106,9	106,3	106,5	109,8						

APÊNDICE 11- Lâmina média diária armazenada (mm), para os diferentes níveis de palha e irrigação, na camada de 55-85 cm. Santa Maria, RS, 2010.

D A E	I	D.H	Mg ha ⁻¹			DA E	I	D.H	Mg ha ⁻¹		
			0	3	6				0	3	6
0	132,8	133,9	135,9	131,5	132,6	26	128,2	128,7	130,4	126,6	128,3
1	136,2	138,2	139,6	136,0	136,0	27	127,0	127,7	129,4	125,5	127,3
2	136,1	138,1	139,5	135,9	135,8	28	129,0	129,7	131,6	127,4	129,2
3	135,3	136,7	138,6	134,6	134,9	29	135,0	136,9	138,2	134,9	134,8
4	134,6	135,7	137,8	133,4	134,3	30	135,7	137,6	138,9	135,6	135,5
5	133,6	134,7	136,8	132,3	133,4	31	135,7	137,8	139,0	135,7	135,6
6	132,5	133,6	135,6	131,1	132,4	32	135,0	136,8	138,1	134,8	134,9
7	131,1	132,2	134,2	129,7	131,1	33	135,7	137,4	138,7	135,3	135,6
8	129,6	130,8	132,6	128,2	129,7	34	135,7	137,7	138,8	135,6	135,7
9	128,3	129,6	131,3	127,0	128,5	35	134,9	136,5	138,0	134,3	134,8
10	127,3	128,6	130,1	126,0	127,6	36	134,1	135,2	137,0	132,9	134,1
11	126,5	127,8	129,2	125,3	126,9	37	133,4	134,4	136,3	132,0	133,3
12	125,9	127,2	128,6	124,7	126,4	38	132,2	133,1	135,1	130,7	132,1
13	126,8	128,1	129,6	125,4	127,2	39	130,9	131,6	133,7	129,3	130,7
14	127,2	128,6	130,2	126,0	127,6	49	131,7	132,6	134,6	130,3	131,5
15	128,0	129,3	130,6	126,7	128,6	41	135,7	137,7	139,2	135,6	135,4
16	131,9	133,2	134,9	130,6	132,0	42	135,1	136,8	138,4	134,8	134,7
17	132,0	133,3	135,1	130,8	132,2	43	136,3	138,2	139,6	136,0	136,1
18	131,4	132,7	134,4	130,1	131,6	44	136,2	138,2	139,6	136,0	136,1
19	130,6	131,9	133,6	129,3	130,8	45	135,3	137,2	138,7	135,0	135,0
20	130,2	131,0	132,8	128,7	130,2	46	134,3	135,6	137,6	133,3	134,1
21	129,4	129,9	131,7	127,8	129,4	47	133,4	134,5	136,6	132,0	133,2
22	128,2	128,7	130,4	126,6	128,3	48	127,2	126,9	129,4	125,2	126,5
23	127,0	127,7	129,4	125,5	127,3	49	127,6	125,7	128,8	124,9	126,1
24	129,0	129,7	131,6	127,4	129,2	50	126,8	125,1	128,1	124,1	125,5
25	135,0	136,9	138,2	134,9	134,8						

APÊNDICE 12- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o potencial de água na folha, para os dias 17, 28, 32, 34 e 38 após a emergência . Santa Maria, RS, 2010.

DAE	Palha	Irrigação	Interação	QMe	CV(%)	Média Geral
17	0,00101	0,00300	0,00364	0,02860	-19,06	-0,89
28	0,05124	0,07701	0,00484	0,02584	-16,48	-0,98
32	0,01083	0,17176	0,00212	0,02390	-15,26	-1,01
34	0,00192	0,00300	0,03457	0,03036	-24,27	-0,62
38	0,00994	0,01160	0,00152	0,03269	-12,01	-1,45

APÊNDICE 13- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o potencial de água na folha, para os dias onde foram realizadas avaliações horários. Santa Maria, RS, 2010.

DAE	Hora	Palha	Irrigação	Interação	QMe	CV	Média Geral
41							
	8	0,222222	0,020000	0,00000	0,111111	-17,50	-0,89
	9	0,00000	0,002310	0,00000	0,00000	-13,50	-1,00
	10	0,222222	0,03550	0,00000	0,111111	-25,00	-1,11
	11	0,00000	0,043530	0,00000	0,00000	-13,59	-1,00
	12	0,222222	0,00000	0,00000	0,111111	-10,00	-1,11
	13	0,222222	0,0534356	0,00000	0,222222	-18,57	-1,22
	14	0,666667	0,002350	0,00000	0,222222	-15,36	-1,33
	15	0,00000	0,0035250	0,73643	0,333333	-14,64	-1,67
	16	0,222222	0,0435320	0,00000	0,333333	-19,97	-1,44
	17	0,98933	0,006898	0,90420	0,679712	-16,99	-1,49
	18	0,013454	0,06450	0,00245	0,032904	-13,50	-1,00
	19	0,055456	0,254422	0,055556	0,0349811	-15,32	-1,00
45							
	8	0,025256	0,045556	0,053456	0,053456	-15,82	-1,00
	10	0,166667	0,055556	0,055556	0,166667	-12,27	-1,83
	12	0,055556	0,055556	0,055556	0,055556	-12,12	-1,94
	14	0,166667	0,500000	0,166667	0,111111	-18,18	-1,83
	16	0,055556	0,055556	0,722222	0,222222	-13,94	-1,39
	18	0,00000	0,500000	8,67E-11	0,166667	-14,99	-1,17
	20	0,055556	0,055556	0,055556	0,055556	-11,72	-1,00

46

6	0,055556	0,00000	0,166667	0,11546	-17,59	-1,00
8	0,055556	0,00000	0,166667	0,111111	-20,00	-1,11
10	0,500000	0,00000	0,166667	0,222222	-18,28	-1,67
12	0,388889	0,05555	0,388889	0,166667	-13,70	-1,72
14	0,055556	0,00000	0,166667	0,111111	-17,65	-1,89
16	0,055556	0,055556	0,055556	0,055556	-12,12	-1,94
18	0,01987	0,002344	0,054674	0,012034	-14,39	-1,00

48

8	0,013454	0,06450	0,00245	0,032904	-15,89	-1,00
10	0,055556	0,222222	0,055556	0,111111	-10,00	-1,11
12	1,166,667	0,055556	0,055556	0,166667	-27,22	-1,50
14	0,055556	0,055556	0,055556	0,055556	-12,12	-1,94

APÊNDICE 14- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para o índice de área foliar. Santa Maria, RS, 2010.

DAE	Palha	Irrigação	Interação	QMe	CV	Média Geral
13	0,002280*	0,007053*	0,000373	0,000590	13,96	0,17
17	0,012263*	0,034680*	0,007410	0,003382	12,66	0,46
20	0,014023	0,108000*	0,002190	0,007997	11,59	0,77
25	0,021663	0,137363*	0,024743	0,028468	10,90	1,55
31	0,007410	0,203363	0,054643	0,057482	9,32	2,57
33	0,025720	0,201720	0,037000	0,070763	8,67	3,07
37	0,060840	0,165763	0,032173	0,089453	7,79	3,84
42	0,104813	0,147000	0,022680	0,107583	7,51	4,37
48	0,050323	0,000963	0,093003	0,088750	5,98	4,98

APÊNDICE 15- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para as variáveis (fotossíntese, condutância, transpiração, radiação fotosinteticamente ativa (RFA) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (VPDL) para o dia 14/01/2009. Santa Maria, RS, 2010.

Parâmetro	Hora	Palha	Irrigação	Interação	QMe	CV	Média Geral
Fotossíntese							
	8	1,158	7,056	2,003	5,950	22,74	10,73
	10	11,164	8,791	1,250	28,362	22,82	23,34
	12	19,512	19,071	13,602	27,139	16,67	31,25
	14	34,042	43,971	36,764	18,893	12,37	35,14
	16	15,691	3,536	6,647	18,973	12,04	36,18
	18	61,987	26,500	26,171	20,384	31,35	14,40
Condutância							
	8	0,007943	0,000030	0,007090	0,016352	21,04	0,61
	10	0,162423	0,007680	0,002110	0,035102	32,27	0,58
	12	0,254253	0,302003	0,067253	0,232487	52,43	0,92
	14	0,006870	0,000750	0,097690	0,023633	27,50	0,56
	16	0,027373	0,007363	0,009653	0,021338	25,82	0,57
	18	0,033103	0,009720	0,030310	0,011650	45,22	0,24
Transpiração							
	8	1,24033	0,806880	2,38512	1,61643	16,14	7,88
	10	5,14152	2,19240	0,358843	2,13687	14,18	10,31
	12	2,32366	3,44085	0,775003	2,24893	14,64	10,25
	14	0,463270	5,08408	5,55130	1,42003	9,60	12,41
	16	2,76460	2,70000	0,822510	2,18739	12,70	11,64
	18	19,00040	4,23376	5,89182	1,11492	19,41	5,44
RFA							
	8	447,11	3847,44	2862,34	10585,01	10,63	967,87
	10	33313,23	283310,79	27016,1	79584,42	16,87	1671,92
	12	2274,55	5283,31	242,020	6200,33	3,90	2017,30
	14	5887,03	114146,20	37020,14	69937,85	13,01	2032,85
	16	37700,53	614711,85	183225,92	61884,81	16,36	1520,48
	18	74142,80	61650,66	129219,70	79098,57	30,05	936,05
VPDL							
	8	0,043590	0,029453	0,193263	0,057397	16,73	1,43
	10	0,346770	0,039603	0,006463	0,075720	12,59	2,19
	12	0,060723	0,001203	0,059663	0,112352	15,18	2,21
	14	0,040163	0,090750	0,431410	0,204417	16,75	2,70
	16	0,061863	0,033333	0,026623	0,107995	13,36	2,46
	18	0,282023	0,020280	0,148330	0,084667	11,89	2,45

APÊNDICE 16- Quadrado médio do fator palha, irrigação, interação (palha X Irrigação) e do erro, coeficiente de variação e média da análise de variância para as variáveis (fotossíntese, condutância, transpiração, radiação fotosinteticamente ativa (RFA) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (VPDL) para o dia 30/01/2009. Santa Maria, RS, 2010.

Parâmetro	Hora	Palha	Irrigação	Interação	QMe	CV	Média Geral
Fotossíntese							
	9	15,302	59,537	27,026	8,403	67,29	4,31
	11	85,913	2,377	26,643	76,406	25,82	33,86
	15	113,093	12,862	29,893	50,992	23,10	30,91
	17	14,167	4,623	7,492	14,008	55,49	6,76
Condutancia							
	9	0,007580	0,013077	0,011973	0,00848	46,65	0,20
	11	0,093004	0,012892	0,033178	0,05083	30,27	0,75
	15	0,085000	0,002687	6,74E-03	0,04565	36,45	0,59
	17	0,029742	0,004820	0,003934	0,02165	85,94	0,19
RFA							
	9	447,11	387,44	282,34	1585,01	20,63	67,87
	11	4313,23	83310,79	7016,1	9584,42	36,87	1371,92
	15	2274,55	5283,31	242,020	6200,33	33,90	1417,30
	17	587,03	11146,20	3720,14	7937,85	43,01	482,85
Transpiração							
	9	5,231321	5,951221	2,974791	8,16501	38,08	3,78
	11	10,64717	3,528469	2,365701	5,37248	21,93	13,03
	15	4,119277	1,021721	2,931631	6,42145	18,24	12,71
	17	0,012140	0,053994	0,036995	0,05398	48,61	5,21
VPDL							
	9	0,213845	0,613358	0,125821	0,20187	11,58	2,07
	11	0,506964	0,523438	0,071716	0,28872	20,30	2,24
	15	0,128574	0,050956	0,092751	0,23085	20,10	2,67
	17	15,30278	59,53617	27,02116	8,40233	14,81	3,25

Figura 21- Variação diária da Radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar nos Dias 41, 45, 46 e 48 DAE. Santa Maria, RS, 2010.

