

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**TEMPERATURA E UMIDADE DE UM SOLO FRANCO
ARENOSO CULTIVADO COM MILHO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alberto Eduardo Knies

Santa Maria, RS, Brasil.

2010

**TEMPERATURA E UMIDADE DE UM SOLO FRANCO
ARENOSO CULTIVADO COM MILHO**

por

Alberto Eduardo Knies

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

Orientador: Prof. Ph. D. Reimar Carlesso

Santa Maria, RS, Brasil.

2010

K69t Knies, Alberto Eduardo, 1984-
Temperatura e umidade de um solo franco arenoso cultivado com milho / Alberto Eduardo Knies. – Santa Maria, 2010.
104 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.
“Orientador: Prof. PhD Reimar Carlesso”

1. Ciência do solo 2. Água no solo 3. Temperatura 4. Umidade 5. Milho 6. Sistemas de cultivo do solo I. Carlesso, Reimar II. Título

CDU: 631.43:633.15

Ficha catalográfica elaborada por
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2010

Todos os direitos autorais reservados a Alberto Eduardo Knies. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua João Goulart, n. 673, Ap. 301, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, CEP 97105-220.

Fone (0xx)55 3220 8399; End. Eletr: albertoeknies@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

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

**TEMPERATURA E UMIDADE DE UM SOLO FRANCO
ARENOSO CULTIVADO COM MILHO**

elaborada por

Alberto Eduardo Knies

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Reimar Carlesso, Ph. D.
(Presidente/Orientador)

Genesio Mario da Rosa, Dr. (CESNORS/UFSM)

Mirta Teresinha Petry, Dra. (FATEC)

Santa Maria, 01 de março de 2010

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde e por iluminar meu caminho e minhas decisões.

À Universidade Federal de Santa Maria, pública e gratuita, ao Centro de Ciências Rurais, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela possibilidade de realização deste curso e pela bolsa de estudos concedida.

Ao professor Reimar Carlesso, pela orientação e amizade de tantos anos, muito importantes para a minha formação científica.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões dadas e considerações feitas, e aos professores que ministraram as aulas no decorrer do Curso, pelos ensinamentos e disponibilidade de tempo sempre que necessário.

Agradeço de maneira especial o colega e amigo Juliano D. Martins, pelo companheirismo na realização do experimento, e aos demais amigos e colegas de pesquisa: Cleiton D. Santa, Cleudson J. Michelin, Geraldo Rodrigues, Gisele S. Saldanha, Giovani L. Alonso, Gustavo De David, Luís F. Grasel, Mirta T. Petry, Rodrigo E. de Almeida, Rodrigo P. Mulazzani, Tiago Broetto, Vinícius Dubou. A vocês meu muito obrigado, pois cada número apresentado nesta dissertação também foi fruto de seu trabalho e dedicação.

À minha namorada, Zanandra Boff de Oliveira, pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratório e, sobretudo, pelo amor, carinho, compreensão, incentivo e companheirismo.

Aos meus familiares, principalmente aos meus pais Adair e Nívea, irmão Adônis, pelo carinho, incentivo, apoio e confiança.

A todos aqueles que, de uma ou outra maneira, ajudaram na realização deste trabalho.

A todos, meu eterno agradecimento e carinho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TEMPERATURA E UMIDADE DE UM SOLO FRANCO ARENOSO CULTIVADO COM MILHO

Autor: Alberto Eduardo Knies

Orientador: Reimar Carlesso

Local e data da defesa: Santa Maria, 01 de março de 2010

A água é um fator fundamental à produção das culturas, tendo papel importante nas flutuações de produtividade, principalmente para a cultura do milho no Sul do Brasil. A cobertura morta na superfície do solo, a temperatura e a umidade do solo são fatores intimamente interligados e, quando manejados adequadamente, podem propiciar incrementos à produção das culturas. A conservação da água no solo é um aspecto de relevância para uma produção agrícola mais estável e sustentável. A finalidade deste trabalho foi avaliar as variações no conteúdo de água e na dinâmica da temperatura de um solo cultivado com milho sob diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície e regimes hídricos. O experimento foi realizado em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS, no ano agrícola de 2009/10, no interior de uma cobertura móvel. O delineamento experimental utilizado foi o 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 aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). O fator B foi constituído de dois regimes hídricos: irrigado e não irrigado. O conteúdo volumétrico de água (cm³ água cm⁻³ solo) do solo foi determinado nas camadas de: 0-0,1; 0,1-0,25; 0,25-0,55 e 0,55-0,85 m, por um conjunto FDR (Reflectometria no Domínio de Freqüência). Para avaliação da temperatura do solo, foram utilizados termopares, constituídos de um fio de cobre e de outro de constantan, os quais determinaram a temperatura do solo nas profundidades de 0,03; 0,08; 0,15 e 0,30 m. As características morfológicas das plantas de milho, como área foliar e comprimento acumulado das folhas, foram determinadas com medidor portátil de área foliar LI-COR 3000C. As menores perdas acumuladas de água do solo na camada de 0-0,1 m foram observadas no solo mantido com 6 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal na superfície, chegando a 50 % de redução aos 100 mm de evapotranspiração de referência acumulada (18 dias após a semeadura) comparado ao solo descoberto. A utilização de resíduos vegetais não proporcionou alterações fenométricas significativas nas plantas de milho durante o período de avaliação. As quantidades de 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia preta depositados sobre a superfície do solo diminuíram a temperatura máxima e a amplitude térmica no solo.

Palavras-chave: armazenamento de água no solo, perdas de água do solo, amplitude térmica do solo, sistemas de cultivo do solo.

ABSTRACT

Dissertation of Masters
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

TEMPERATURE AND HUMIDITY OF A SANDY LOAM SOIL CULTIVATED WITH MAIZE

Author: Alberto Eduardo Knies

Advisor: Reimar Carlesso

Place and date of defense: Santa Maria, March 01, 2010

Water is a key factor for crop yields, and causes major fluctuations in productivity, especially for maize cultivated in southern Brazil. Mulching the soil surface, temperature and soil moisture are factors closely linked and, when handled properly, can provide the increases crop yields. The soil water conservation is an important aspect for more stable and sustainable agricultural production. The purpose of this study was to evaluate changes in water content and dynamics of the temperature in a soil cultivated with maize under different amounts of plant residue on the surface and water regimes. The experiment was conducted in the experimental area of Agricultural Engineering Department, Federal University of Santa Maria, RS, in the crop year 2009/10, inside a rainfall shelter. The experimental design was completely randomized, factorial, with five replications. Factor A consisted of three quantity of plant residue on the soil surface: 0 (zero), 3 and 6 Mg ha⁻¹ of oat (*Avena strigosa* Schreb). Factor B consisted of two water regimes: with and without irrigation. The volumetric water content (cm³ water cm⁻³ soil) of soil was determined in the layers: 0-0.1, 0.1-0.25, 0.25-0.55 and 0.55 - 0.85 m, for a set FDR (Frequency Domain Reflectometry). The soil temperature was measured by thermocouples, consisting of a copper wire and the other of constantan, which determined the soil temperature at depths of 0.03, 0.08, 0.15 and 0.30 m. The morphological characteristics of maize plants, as leaf area and cumulative length of leaves were determined with the portable leaf area LI-COR 3000C. The lowest cumulative losses of soil water in the 0-0.1 m were observed in the soil maintained with 6 Mg ha⁻¹ crop residues on the surface, reaching 50% reduction to 100 mm of accumulated reference evapotranspiration (18 days after seeding) compared to bare soil. The use of crop residues on the soil surface did not produce significant changes phenometric in maize plants during the evaluation period. The quantities of 3 and 6 Mg ha⁻¹ crop residues oat deposited on the surface of the soil decreased the maximum temperature and temperature range in the soil.

Keywords: storage of water in the soil, loss of soil water, temperature range of soil, cropping systems soil.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Resultados da densidade e porosidade do solo da área experimental.
Santa Maria, 2010. 36
- Tabela 2 - Resultados da curva característica de água no solo e do limite superior de água disponível às plantas no solo (LS) da área experimental. Santa Maria, 2010..... 37
- Tabela 3 - Resultados da análise granulométrica do solo da área experimental.
Santa Maria, 2010. 37

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Ilustração da cobertura móvel, utilizada no experimento, com a estrutura aberta (a) e fechada (b) (adaptado de Schneider, 2003). Santa Maria, 2010. 34
- Figura 2 - Ilustração da instalação das sondas FDR nas diferentes camadas de solo avaliadas. Santa Maria, 2010..... 38
- Figura 3 - Ilustração da instalação dos termopares nas diferentes profundidades do solo avaliadas. Santa Maria, 2010..... 40
- Figura 4 - Evapotranspiração de referência (ET_o) média e distribuição das precipitações na primeira (a) e segunda (b) épocas de semeadura do milho. Santa Maria, 2010..... 42
- Figura 5 - Evapotranspiração de referência (ET_o) acumulada e precipitações acumuladas na primeira (a) e segunda (b) épocas de semeadura do milho. Santa Maria, 2010..... 43
- Figura 6 – Variação do armazenamento de água no solo nas diferentes camadas avaliadas na primeira época de semeadura do milho. Santa Maria, 2010..... 45
- Figura 7 – Variação do armazenamento de água no solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010. 47

Figura 8 - Variação do armazenamento de água no solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.	48
Figura 9 - Perdas diárias de água do solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.	50
Figura 10 - Perdas diárias de água do solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.	51
Figura 11 - Perdas acumuladas de água do solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.	54
Figura 12 - Perdas acumuladas de água do solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.	55
Figura 13 - Temperatura média diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas durante o cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.	59
Figura 14 - Temperatura média diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas durante o cultivo do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.	60
Figura 15 - Temperatura máxima diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas, durante o cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.	62
Figura 16 - Temperatura máxima diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas, durante o cultivo do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.	63

Figura 17 - Temperatura mínima diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas, durante o cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.	66
Figura 18 - Temperatura mínima diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas, durante o cultivo do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.	67
Figura 19 - Amplitude térmica diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas durante o cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.	69
Figura 20 - Amplitude térmica diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas durante o cultivo do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.	70
Figura 21 – Variação da temperatura do solo nas diferentes profundidades avaliadas nos dias 18 e 19 de dezembro (11 e 12 DAS). Santa Maria, 2010.....	73
Figura 22 - Índice de área foliar (IAF) das plantas de milho cultivadas sem (a) e com (b) irrigação na segunda época de semeadura do milho. Santa Maria, 2010.....	75
Figura 23 - Comprimento acumulado das folhas das plantas de milho cultivadas sem (a) e com (b) irrigação na segunda época de semeadura do milho. Santa Maria, 2010.....	76

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE A – Resultados do quadrado médio da análise da variância para o armazenamento de água no solo na camada de 0 - 0,1 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010..... 85
- APÊNDICE B – Resultados do quadrado médio da análise da variância para o armazenamento de água no solo na camada de 0,1 - 0,25 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010..... 86
- APÊNDICE C – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a perda diária de água no solo na camada de 0 - 0,1 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010. 87
- APÊNDICE D – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a perda diária de água no solo na camada de 0,1 - 0,25 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010..... 88
- APÊNDICE E – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a perda acumulada de água no solo na camada de 0 - 0,1 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010..... 89
- APÊNDICE F – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a perda acumulada de água no solo na camada de 0,1 - 0,25 m

em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.....	90
APÊNDICE G – Variação da radiação solar incidente no experimento. Santa Maria, 2010.	91
APÊNDICE H – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.	92
APÊNDICE I – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.	93
APÊNDICE J – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura máxima do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.....	94
APÊNDICE K – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura máxima do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.....	95
APÊNDICE L – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura mínima do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.....	96
APÊNDICE M – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura mínima do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.....	97

APÊNDICE N – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a amplitude de temperatura do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.....	98
APÊNDICE O – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a amplitude de temperatura do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.....	99
APÊNDICE P – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a variação da temperatura do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo. Santa Maria, 2010.....	100
APÊNDICE Q – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a variação da temperatura do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo. Santa Maria, 2010.....	101
APÊNDICE R – Resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar das plantas de milho em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.	102
APÊNDICE S – Resultados do quadrado médio da análise da variância para o comprimento acumulado das folhas das plantas de milho em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.....	103

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Disponibilidade de água no solo às plantas	19
2.2 Evaporação da água do solo	21
2.2.1 Fatores que afetam a evaporação de água do solo.....	23
2.2.1.1 Características físico-hídricas do solo	23
2.2.1.2 Desenvolvimento da cultura.....	24
2.2.1.3 Sistemas de cultivo do solo	24
2.2.1.4 Fatores meteorológicos	26
2.3 Temperatura do solo	27
2.4 A cultura do milho e o déficit hídrico.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Caracterização do experimento.....	33
3.2 Implantação e manejo da cultura do milho	35
3.3 Caracterização física do solo da área experimental.....	36
3.4 Determinações realizadas e metodologia empregada	38
3.4.1 Determinação do conteúdo de água do solo	38
3.4.2 Determinação da temperatura do solo.....	39
3.4.3 Determinações morfológicas	40
3.5 Análise estatística	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Demanda evaporativa da atmosfera das duas épocas de semeadura.....	42
4.2 Armazenamento de água no solo.....	44
4.3 Perdas diárias de água do solo	49

4.4 Perdas acumuladas de água do solo.....	53
4.6 Temperatura máxima do solo.....	61
4.7 Temperatura mínima do solo.....	65
4.8 Amplitude de temperatura do solo.....	68
4.9 Variação diária da temperatura do solo.....	72
4.10 Características morfológicas das plantas de milho	74
5 CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS.....	78
APÊNDICES.....	84

1 INTRODUÇÃO

A água é um fator fundamental à produção das culturas, tendo papel importante nas flutuações de produtividade, principalmente em lavouras não irrigadas e em regiões que apresentam períodos de déficit hídrico. A cobertura morta na superfície do solo, a temperatura e a umidade do solo são fatores intimamente interligados e, quando manejados adequadamente, podem propiciar incrementos à produção das culturas.

O déficit hídrico é o estresse ambiental que mais afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas agrícolas. A disponibilidade de água às plantas é o fator que afeta o rendimento de grãos da cultura do milho com mais frequência e intensidade no Rio Grande do Sul (MATZENAUER et al., 1995), ocasionando perturbações fisiológicas e morfológicas que afetam o desenvolvimento das plantas.

A conservação da água no solo é um aspecto de grande relevância para uma produção agrícola mais estável e sustentável, aumentando a eficiência e contribuindo na preservação dos recursos naturais, além de ser uma alternativa para incrementar a produção de alimentos em nível mundial. Assim, a busca de tecnologias e informações que contribuam para um adequado manejo do solo e da água fazem-se cada vez mais necessárias.

Para aumentar a disponibilidade de água aos cultivos agrícolas e a conservação dos recursos solo e água, tem-se aumentado a utilização de sistemas de cultivo conservacionistas, como o sistema plantio direto, que determinam a manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo e o seu mínimo revolvimento. Esse sistema causa redução nas perdas por erosão, diminui o escoamento superficial, elevando assim a taxa de infiltração, além de proporcionar outros benefícios, com a diminuição na amplitude térmica do solo, retenção de maior quantidade de água e maiores rendimentos dos cultivos agrícolas (BRAGAGNOLO; MIELNICZUCK, 1990; FREITAS et al., 2004).

A disponibilidade de água às plantas é um dos fatores de produção que limita os rendimentos com mais frequência. Portanto, o correto manejo desse recurso é decisivo para a obtenção de altas produtividades e sucesso na atividade agrícola.

O milho é, provavelmente, a cultura produtora de grãos mais influenciada pelo regime hídrico no Estado do Rio Grande do Sul. A baixa disponibilidade hídrica que ocorre com frequência no Estado, principalmente durante o período de dezembro a fevereiro, é o principal fator responsável pela quebra na safra desta cultura. Segundo Matzenauer et al. (1995) e Bergamaschi et al. (2004), as oscilações nas safras de milho das principais regiões produtoras do Brasil estão associadas à disponibilidade de água, sobretudo no período crítico da cultura, que vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos, o que na maior parte das lavouras do Sul do Brasil ocorre entre dezembro e fevereiro.

O conhecimento do efeito de diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo sobre a dinâmica da água e da temperatura deste, associado ao efeito de diferentes disponibilidades hídricas na morfologia e crescimento de plantas de milho, torna-se importante subsídio 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.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as variações no conteúdo de água e na dinâmica da temperatura de um solo cultivado com milho sob diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo e regimes hídricos. Além desse objetivo, também foram estudados (i) o armazenamento e as perdas de água de um solo cultivado com milho sob diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície e regimes hídricos; (ii) as variações das características morfológicas das plantas de milho cultivado sob diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo e regimes hídricos e, (iii) o comportamento da temperatura máxima, mínima e amplitude do solo sob diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo e regimes hídricos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O manejo adequado da água e do solo nos sistemas agrícolas tem grande importância, aumentando a eficiência na produção e contribuindo na preservação dos recursos naturais. Também é uma das alternativas para incrementar a produção de alimentos em nível mundial e aumentar a disponibilidade de água aos cultivos agrícolas, desde que esta seja usada de forma eficiente e racional e não cause danos ao meio ambiente.

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. A escolha da tecnologia mais adequada e, sobretudo, a promoção de métodos de irrigação que evitam o desperdício são fundamentais para atender à demanda por alimentos, com o mínimo de impactos ambientais, como a degradação dos solos e aquíferos (JOHN, 2003).

No Brasil, existe a necessidade de se aperfeiçoar a eficiência no manejo da irrigação, da drenagem agrícola, da efetiva aplicação dos tradicionais instrumentos de gestão da água, além da otimização do uso dos equipamentos, elevando a área total sob produção em cada safra e reduzindo as áreas ociosas, para possibilitar o combate à fome e atuar na segurança alimentar (CHRISTOFIDIS, 2006).

O aumento da disponibilidade de água aos cultivos agrícolas é uma alternativa para incrementar a produção de alimentos em nível mundial, desde que não cause danos ao meio ambiente e seja utilizada de forma racional e eficiente. Uma grande contribuição na preservação dos recursos hídricos é o avanço nos sistemas de manejo da água e do solo, que contribuem para o aumento da eficiência do uso da água, visando à melhor utilização da água das chuvas (SPOHR et al., 2007).

2.1 Disponibilidade de água no solo às plantas

Diferentes critérios têm sido utilizados para quantificar a água disponível às plantas. Os pesquisadores têm dado muita atenção a problemas associados com a avaliação dos limites de disponibilidade de água no solo às culturas e à dinâmica do crescimento radicular. Entretanto, considerações sobre a disponibilidade total de água no solo às plantas e o seu impacto no crescimento e desenvolvimento destas têm recebido pequena atenção.

A disponibilidade de água não está ligada de forma direta à capacidade de armazenamento de água do solo. Este depende de aspectos como o espaço poroso e a profundidade do solo, enquanto a disponibilidade depende de fatores intrínsecos do solo e da capacidade das plantas em extrair água nos diferentes teores de umidade e níveis de energia de retenção. O conhecimento desses aspectos é importante para o manejo da água na agricultura irrigada e não irrigada, principalmente para um planejamento correto da atividade agrícola. Na agricultura não irrigada, o aspecto mais importante é a associação da época de semeadura com o período de maior disponibilidade hídrica às culturas, além da utilização de variedades tolerantes e/ou resistentes a curtos períodos de deficiência hídrica no solo (PETRY et al, 2007).

Muita atenção tem sido dispensada pela física do solo aos problemas que envolvem a definição dos limites de umidade do solo, principalmente porque a avaliação detalhada da água disponível no solo às plantas é essencial para o manejo adequado da irrigação (PETRY et al., 2000).

A maneira tradicional de avaliar essa disponibilidade tem sido através da medida da "capacidade de campo" e do "ponto de murcha permanente" de amostras de solo retiradas do campo. Usualmente, utilizam-se os seguintes valores para a obtenção da capacidade de campo através da curva característica de água do solo: para solos muito argilosos, utiliza-se o valor do conteúdo de água correspondente à tensão de 0,1 MPa; para solos argilosos, o valor correspondente à tensão de 0,033 MPa; e para solos arenosos, o valor de 0,01 MPa. Já para o ponto de murcha permanente, o conteúdo de água é avaliado nos potenciais de $-1,5$ MPa (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2005). Entretanto, vários estudos criticam essas definições, usando como principais argumentos que as plantas podem retirar água

do solo em potenciais menores que $-1,5$ MPa, superestimando os valores do ponto de murcha permanente ou, ainda, pode ocorrer uma sub-estimativa da capacidade de campo, fatos encontrados por Petry (2000), trabalhando com três classes de texturas de solo (argila pesada, franco-argilo-siltosa e franco-arenosa).

A capacidade de campo deve ser utilizada unicamente como indicação do armazenamento de água no solo; não se deve relacioná-la com a água disponível às plantas. Por outro lado, visando aplicar esses conceitos em projetos de irrigação, pode-se afirmar que a capacidade de campo não expressa adequadamente o limite superior de disponibilidade de água às plantas, resultando em erros na frequência e lâminas de irrigação a serem aplicadas no solo. Os resultados demonstram que a drenagem ou redistribuição de água no perfil do solo é praticamente negligenciável após 24 horas do início da drenagem (PETRY et al., 2000).

A utilização da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) tem sido difundida e sua determinação é realizada pela diferença de conteúdo volumétrico de água entre os limites superior e inferior de disponibilidade de água às plantas, considerando cada camada do perfil de solo explorado pelo sistema radicular das plantas (CARLESSO, 1995).

O limite superior (LS) é definido como o conteúdo de água no solo observado 24 horas após a drenagem do perfil, a partir do umedecimento completo ou saturação do solo por irrigação ou precipitação. O limite inferior (LI), por sua vez, é definido como o conteúdo de água no solo quando as plantas, após apresentarem um desenvolvimento normal, estiverem completamente senescidas. Assim, considera-se que neste ponto houve extração de toda a água disponível no perfil do solo e que as plantas não podem recuperar a turgidez (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2005).

A água disponível às plantas (expressa em altura de lâmina de água, mm) é utilizada como indicador de déficits hídricos e também como indicador do momento de fazer a irrigação (CARLESSO, 1995).

2.2 Evaporação da água do solo

A evaporação da água é o processo de mudança de sua fase líquida para a fase gasosa e ocorre tanto numa massa contínua (rio, lago e represa), como numa superfície úmida (solo); é, também, um fenômeno que utiliza a energia externa ao sistema e a transforma em calor latente. Normalmente, a radiação solar é a fonte principal de energia consumida neste processo (SOARES et al., 2001).

Em regiões subtropicais e temperadas, nos cultivos de primavera-verão, uma considerável proporção das precipitações pluviais que deveriam ser aproveitadas pelos cultivos é perdida para a atmosfera por evaporação. As perdas por evaporação direta da superfície do solo têm maior relevância nas fases iniciais de desenvolvimento das plantas, antes do fechamento das entrelinhas pelo dossel vegetativo da cultura.

A evaporação é o maior componente do balanço hídrico para áreas com culturas irrigadas ou de sequeiro, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento das culturas. Segundo Freitas et al. (2004), para a taxa de resíduo de 100% da matéria seca, a demanda evaporativa teve pequena influência na redução da evaporação da água do solo, que foi de aproximadamente 20% da evaporação ocorrida no tratamento com solo descoberto.

De acordo com Gardner e Hillel (1962), a evaporação da água de superfícies inicialmente saturadas ocorre em três estágios. No primeiro, a água não é limitante e a taxa de evaporação é determinada pela quantidade de energia disponível para vaporizar a água contida na camada superficial do solo. Nesse estágio, as perdas por evaporação dependem da demanda evaporativa da atmosfera junto à superfície do solo, sendo o fluxo capilar da água no perfil do solo suficiente para manter a superfície úmida, mantendo a taxa de evaporação elevada (REICHARDT, 1996). Para Allen et al. (1998), a lâmina de água evaporada na primeira fase denomina-se água prontamente evaporável APE (mm), enquanto a lâmina máxima de água que pode ser evaporada através da superfície do solo denomina-se lâmina total evaporável ATE (mm).

No segundo estágio, a evaporação sofre uma redução rápida, ocasionada principalmente pela diminuição da umidade do solo na camada superficial e por fatores referentes à condutividade hidráulica do solo, que determinam a

transferência de líquido e vapor à superfície. Nessa fase, as condições atmosféricas (demanda evaporativa) acima da superfície perdem importância em relação aos fatores intrínsecos do solo, e a evaporação é controlada pelas propriedades hidráulicas do solo. A taxa de perda de água é função linear da umidade média do perfil do solo, e o fluxo capilar e a transferência de vapor são os processos que dominam as perdas por evaporação neste estágio (REICHARDT, 1996). Já Allen et al. (1998) relatam que a evaporação da água do solo decresce à medida que a umidade do perfil deste diminui, sendo proporcional à razão entre a quantidade de água que ainda está disponível na camada superficial do solo, que produz a evaporação.

O terceiro estágio da evaporação se inicia quando a relação entre a taxa de evaporação e a umidade média do solo perde a linearidade estabelecida no estágio dois, e o solo encontra-se bem mais seco (VENTURA et al., 2005). Esse estágio é determinado principalmente pelas características físicas e adsorptivas do solo, ocorrendo o fluxo da água através dos poros do solo basicamente por difusão de vapor, sensível ao fluxo de calor e, sendo esse um processo muito lento, a taxa de evaporação pode ser considerada desprezível.

A taxa de transferência de água do solo para a atmosfera através das plantas pode ser limitada pelo solo, pela planta e pelas condições atmosféricas. Para os cultivos anuais, no início da fase de crescimento, quando o solo está parcialmente coberto pelo dossel da cultura, a evapotranspiração da cultura é dominada pela evaporação direta da água do solo descoberto e úmido, a qual é influenciada, antes de tudo, pela energia disponível (FREITAS et al., 2006).

O suprimento de água para a evaporação é dependente das propriedades físicas do solo, principalmente estrutura, densidade e porosidade. Para que o processo ocorra e se mantenha, é necessário um suprimento contínuo de energia e a existência de gradiente de pressão de vapor entre a superfície e a atmosfera, sendo estas determinadas pelas variáveis meteorológicas. Além disso, deve haver um suprimento hídrico contínuo do interior do solo à sua superfície. Essa condição depende do potencial matricial de água no interior do solo e das condições de transferência do meio, como a condutividade hidráulica (HILLEL, 1973).

2.2.1 Fatores que afetam a evaporação de água do solo

2.2.1.1 Características físico-hídricas do solo

As principais características físico-hídricas que influenciam diretamente as perdas de água por evaporação estão relacionados com a estrutura do solo, principalmente densidade e porosidade, as quais interferem na retenção da água e nos fluxos líquido e gasoso desta no perfil do solo (GORDIYENKO; KOSTOGRYZ, 1990). Além desses fatores, a condutividade hidráulica não saturada tem papel importante no suprimento hídrico à superfície do solo, para a manutenção do processo de evaporação. Água, oxigênio, temperatura e resistência mecânica são fatores que estão associados à emergência e ao crescimento radicular, agindo diretamente no crescimento de plantas (LETEY, 1985). Propriedades físicas como textura, estrutura, porosidade, entre outras, por sua vez, afetam diretamente os fatores citados anteriormente e, portanto, indiretamente, o crescimento de plantas.

A porosidade total do solo pode ser dividida em microporosidade, ou porosidade capilar, e macroporosidade, ou porosidade de aeração. Estes poros podem armazenar água e ar necessários para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, dos microorganismos e animais do solo. Os sistemas de manejo do solo afetam diferentemente a densidade e porosidade e o armazenamento de água ao longo do perfil do solo, interferindo diretamente no desenvolvimento e na produtividade das culturas (HILLEL, 1973).

A modificação no espaço poroso, principalmente os macroporos e a continuidade dos poros, afeta a densidade do solo, influenciando nas propriedades físico-hídricas importantes, como a porosidade de aeração, a retenção de água, a disponibilidade de água às plantas e a resistência à penetração (KLEIN, 1998). Em termos práticos, o uso intensivo de máquinas, segundo Camargo e Alleoni (1997), vem tornando comuns os problemas de compactação em solos agrícolas. Especialmente com a crescente utilização do sistema plantio direto, os atributos físicos do solo têm sido modificados, necessitando de pesquisas com períodos de duração mais longos para se poder estudar os fenômenos ligados à sua estrutura.

2.2.1.2 Desenvolvimento da cultura

A presença de plantas crescendo interfere indiretamente no processo de evaporação da água do solo; pois, com o aumento da área foliar, ocorre um aumento da interceptação da radiação solar incidente, aumentando o sombreamento do solo e reduzindo a quantidade de energia que chega a esse. No início do ciclo das culturas, o efeito da área foliar das plantas é pequeno, e a evaporação tende a ser maior, perdendo importância quando a área foliar é suficiente para o fechamento das entrelinhas de cultivo (BERGAMASCHI et al., 2004; DALMAGO et al., 2004).

O período inicial de desenvolvimento das culturas anuais é definido por ALLEN et al. (1998) como um período em que aproximadamente 10% de cobertura do solo são realizados pelo dossel vegetativo da cultura. Dessa forma, a evaporação na superfície do solo tende a ser maior no início do ciclo das culturas do que quando o índice de área foliar for máximo, quando a maior quantidade de energia é interceptada pelo dossel (BERGAMASCHI et al. 2004).

Segundo Andrade et al. (2007a), quando o índice da área foliar da cultura do milho for menor que 0,17, a máxima perda de água do solo na profundidade de 0-10 cm nas condições de 3 e 6 Mg ha⁻¹ de cobertura morta ocorre um dia após a condição de solo descoberto. Os mesmos autores afirmam que a evaporação acumulada de água do solo, na profundidade de 0 - 30 cm, coberto com 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais em semeadura direta é significativamente menor que o coberto com 3 Mg ha⁻¹, até 34 dias após a emergência da cultura do milho.

2.2.1.3 Sistemas de cultivo do solo

A utilização de sistemas de cultivo conservacionistas, como o sistema plantio direto (PD), que determinam a manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo e o seu mínimo revolvimento, podem contribuir para aumentar a capacidade produtiva dos solos. A cobertura morta reduz a evaporação, mantendo o solo mais úmido, com isso ocorre a redução nas oscilações de sua temperatura e umidade.

O sistema de plantio direto vem sendo implementado em grande escala nas últimas décadas no Brasil. Na safra 2006/07, foram cultivados aproximadamente 25,5 milhões de hectares em plantio direto no Brasil, contra 14,3 milhões de hectares na safra 1999/2000 (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA

PALHA, 2008). Esse 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 cobertura morta é utilizada basicamente para reduzir a perda de água do solo por evaporação e diminuir a ocorrência de plantas invasoras. O uso dessa técnica, conhecida como “mulching”, provoca modificações microclimáticas, pois além de alterar o balanço de radiação, devido à diferença no coeficiente de reflexão, modifica todos os outros componentes do balanço de energia na superfície (PEZZOPANE et al., 1996).

A utilização de cobertura morta na superfície do solo, segundo Andrade et al. (2007b), pode ocasionar uma redução nas perdas de água por evaporação na camada de 0 - 0,1 m de 19 a 42%, respectivamente, com a utilização de 3,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de resíduos vegetais de aveia em comparação com o solo descoberto, obtidos em novembro e dezembro de 2006. Já Freitas et al. (2004), trabalhando em laboratório com colunas de solo de 20 cm de diâmetro e 45 cm de altura, afirmam que pode ocorrer uma redução da evaporação da água de aproximadamente 20% com 100 % de cobertura vegetal, pois a evaporação é o maior componente do balanço da água para áreas com culturas irrigadas ou de sequeiro.

O aumento do armazenamento de água no plantio direto, mesmo que pequeno, tem grande importância para culturas sensíveis ao déficit hídrico e que possuem um período crítico bem definido, como o milho, em que um pequeno acréscimo de umidade no solo, neste período, pode garantir rendimentos satisfatórios, reduzindo flutuações na produção, principalmente em períodos com ocorrência de estiagem. Essa diferença de disponibilidade de água no plantio direto é mais significativa na camada próxima à superfície, sendo mais frequente quando o solo se encontra em processo de secagem avançado (BRAGAGNOLO; MIELNICZUK, 1990).

Resultados que confirmam esse fato são descritos por Lindswall et al. (1995), que verificaram um benefício do plantio direto às culturas quando as precipitações são abaixo do normal, proporcionando maior suprimento hídrico. Bragagnolo e Mielniczuk (1990) citam também que, em curtos déficits hídricos, esse benefício é

alcançado com 5,0 a 7,5 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais adicionados à superfície, sendo estas quantidades possíveis de serem alcançadas por produtores em lavouras.

2.2.1.4 Fatores meteorológicos

A radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento são os parâmetros climatológicos mais importantes a considerar quando se avalia o processo de evaporação da água do solo (ALLEN, 2005). A mudança das moléculas de água do estado líquido para o estado de vapor requer uma quantidade de energia de aproximadamente 590 calorias por grama de água a ser evaporada. Essa energia é proporcionada pela radiação solar e, em menor grau, pela temperatura do ar.

À medida que ocorre a evaporação, o ar circundante se satura gradualmente, e o processo se torna cada vez mais lento, até parar completamente se o ar úmido circundante não se transfere à atmosfera. Assim, para que o processo de evaporação se mantenha, há a necessidade de uma constante renovação do ar junto à superfície, ocorrendo a troca do ar saturado por um ar mais seco, realizada pelo vento. No entanto, a força impulsora para retirar o vapor de água de uma superfície evaporante depende do gradiente de pressão de vapor entre essa superfície e a atmosfera, o qual é dependente da umidade relativa do ar.

A radiação solar afeta diretamente a demanda evaporativa da atmosfera, pois ela é responsável pelo fornecimento de energia para todos os processos que ocorrem na atmosfera, como, por exemplo, aquecimento, evaporação da água, turbulência do ar, fotossíntese e outros (REICHARDT, 1990). O sol é a fonte de toda energia e sua distribuição origina todos os processos físicos, químicos e biológicos na natureza. O processo de evaporação da água da superfície do solo ou das plantas demanda energia da ordem de 590 cal g⁻¹ a uma temperatura de 20 °C. Isso significa que, para cada grama de água evaporada, são necessárias 590 cal, as quais são provenientes da radiação solar (CARLESSO et al., 2007).

2.3 Temperatura do solo

Práticas de manejo das culturas como a utilização de resíduos vegetais sobre a superfície do solo tendem a alterar significativamente o regime de temperatura deste, isso porque agem como atenuadores da amplitude térmica. A temperatura do solo, seu valor em dado momento e a maneira como varia no tempo e no espaço são fatores determinantes nas taxas de transferência de energia e massa com a atmosfera, incluindo a evaporação e a aeração. Fatores meteorológicos, localização geográfica, declividade, cobertura vegetal, precipitação pluvial e ação antrópica são os elementos que, de acordo com Hillel (1998), mais interferem na temperatura e fluxo de calor no solo.

A temperatura é considerada um fator importante que está diretamente relacionado ao sistema solo-planta-atmosfera, atuando em processos bioquímicos, participando no controle da atividade microbiana e nas reações químicas no interior do solo. Nas plantas o processo de germinação e emergência, bem como o crescimento das raízes, é grandemente influenciado pela temperatura do solo (CONCEIÇÃO et al., 2000). O desenvolvimento inicial ideal de uma planta começa com condições favoráveis para a germinação e emergência das plântulas. Dentre os fatores que afetam a emergência, está a temperatura do solo, a qual está relacionada à presença de cobertura. Segundo Urchei et al. (1998), a consequência da reflexão e absorção da energia incidente está relacionada a cor, tipo, quantidade e distribuição de resíduos vegetais das culturas anteriores.

Para a emergência de plântulas de milho, a temperatura ideal na zona radicular situa-se na faixa de 25 a 35°C; em temperaturas superiores a 35°C ocorre drástica redução do desenvolvimento das plântulas (LAL, 1974). Para a cultura da soja, Silva (2002) cita que a temperatura ótima do solo para germinação da semente fica na faixa de 25 a 30°C e, para nodulação e fixação de nitrogênio, entre 27°C e 32°C e, segundo Hornetz et al. (2001), a temperatura ótima para a emergência de plântulas de feijão é de 37°C.

A presença de resíduos vegetais na superfície do solo protege-o contra o aquecimento excessivo e a perda de água por evaporação, modificando vários processos físicos, químicos e biológicos, provocando modificações microclimáticas, pois além de alterar o balanço de radiação, devido à diferença no coeficiente de

reflexão, modifica todos os outros componentes do balanço de energia na superfície. Os resíduos vegetais possuem alta refletividade à radiação solar e baixa condutividade térmica, causando redução da evaporação, mantendo o solo mais úmido. Com isso ocorre redução nas oscilações de temperatura e umidade do solo (PEZZOPANE et al., 1996).

A superfície seca dos solos arados e gradeados também pode manter a temperatura do perfil de solo mais uniforme do que se ele fosse compactado, ainda que a variação na superfície aumente. Por isso, haverá uma redução da amplitude da temperatura abaixo dessa camada seca, reduzindo as perdas de água por evaporação, pois a condutividade hidráulica desta camada é baixa. Ocasionalmente, também, maior variação de temperatura na superfície (ainda que o coeficiente de reflexão seja alto), porque a condutividade térmica dessa camada é baixa (PREVEDELLO, 1996).

Trabalhando com resíduos vegetais de trigo como cobertura, Bragagnolo e Mielniczuk (1990) observaram na temperatura máxima do solo uma redução de 0,6 a 1,1°C por Mg ha⁻¹ de massa seca depositada na superfície. Perceberam também que a diferença entre a temperatura do solo descoberto e a daquele com cobertura morta é em função do conteúdo de água no solo, sendo maior quanto maior for a diferença de umidade deste. Os mesmos autores encontraram uma redução da temperatura em 8,5 °C (de 37,1 °C para 28,6 °C) no solo com cobertura de 7,5 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais, além de esse reter 10% a mais de água, comparado ao descoberto.

Em condições subtropicais, Salton e Mielniczuk (1995), verificaram menores temperaturas máximas e menor variação diária da temperatura do solo a 0,05 m de profundidade para o plantio direto, quando comparado com o preparo convencional e preparo reduzido, em um Argissolo Vermelho Distrófico.

Em um solo descoberto, Marote; Vidor e Mendes (1990) observaram temperatura máxima de 38°C, a qual foi reduzida para 30°C quando utilizaram cobertura morta sobre a superfície. Gasparin et al. (2005) observaram temperaturas superiores a 40°C a 0,02 m de profundidade, com amplitude térmica de 20°C, no solo sem cobertura, enquanto que para o com cobertura de 4 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia, a temperatura máxima foi inferior a 31°C, e a amplitude térmica diária foi reduzida para menos de 10°C. Pezzopane et al. (1996) observaram

redução de 9,5°C na temperatura máxima do solo, utilizando uma cobertura de 24 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais secos de café.

Estudos conduzidos por Sidiras e Pavan (1986) observaram temperaturas máximas a 0,03 m de profundidade que frequentemente excederam a 40°C no sistema de plantio convencional, enquanto que no plantio direto, com presença de resíduos vegetais na superfície, as temperaturas mantiveram-se inferiores a 35°C. De modo semelhante, Varadan e Rao (1983) observaram que a temperatura máxima do solo desnudo alcançou 39-40°C, enquanto que no solo com mulching de resíduos vegetais chegou a 30-33°C na profundidade de 0,05 m, aspecto considerado benéfico para as plantas de pomares de coco e banana.

De acordo com Streck et al. (1994), ao compararem-se resultados de temperatura entre solo descoberto e com mulching, é importante levar em consideração as diferenças entre o conteúdo de água no solo, pois este modifica as suas propriedades térmicas alterando o balanço de energia. Pires et al. (2004) afirmam que há influência do ambiente de cultivo, da cobertura do solo e dos níveis de irrigação na temperatura máxima do solo, a qual aumenta com a diminuição do potencial da água no solo.

A natureza da cobertura e o nível de sombreamento influenciam diretamente as flutuações de temperatura e umidade do solo (OLIVEIRA et al., 2005). Os mesmos autores também verificaram que o solo sem cobertura apresentou a maior amplitude de variação da temperatura ambiente acima da superfície, registrando os menores valores de umidade e os maiores de temperatura. Além disso, observaram que as variações na umidade e temperatura tendem a diminuir com o aumento da profundidade de amostragem.

2.4 A cultura do milho e o déficit hídrico

Dos 46,97 milhões de hectares cultivados com as principais culturas no Brasil, na safra 2007/08, o milho ocupa 14,605 milhões de hectares, a segunda cultura mais cultivada, perdendo apenas para a soja. Apresenta, em nível nacional, respectivamente, produção e produtividade de 57,877 milhões de toneladas e 3.962 kg ha⁻¹. O Rio Grande do Sul apresenta área plantada com milho de 1,391 milhões

de ha e produção de 5,520 milhões de toneladas, com produtividade de 3.969 Kg ha⁻¹ (CONAB, 2008).

A cultura do milho tende a expressar sua elevada produtividade quando a máxima área foliar coincidir com o período de maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico (BERGAMASCHI et al., 2004). Essa condição permite a máxima fotossíntese, porém aumenta a necessidade hídrica da cultura, já que o elevado fluxo energético incidente também eleva a evapotranspiração.

O déficit hídrico pode ser definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação (TAIZ; ZEIGER, 2004). A frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial (SANTOS; CARLESSO, 1999). A disponibilidade de água às plantas é o fator que afeta o rendimento de grãos da cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul com maior frequência e intensidade (MATZENAUER et al., 1995; EMYGDIO; TEIXEIRA, 2006). Segundo Matzenauer (2002), pode ocorrer redução de rendimento de grãos de milho em quatro anos a cada dez. Entretanto, a maior parte das lavouras cultivadas com o cereal não são irrigadas, e o rendimento de grãos está condicionado ao suprimento de água através das precipitações pluviais (CARLESSO et al., 2000).

Os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento de interesse econômico de uma cultura vão depender da sua intensidade, duração, época de ocorrência e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente (CUNHA; BERGAMASCHI, 1992; KELLING, 1995; CHAVES, 1991).

O déficit hídrico afeta a bioquímica, a fisiologia, a morfologia e os processos de desenvolvimento das plantas, reduzindo a fotossíntese de três maneiras: pela redução na área foliar disponível para interceptar a radiação solar, pela redução da difusão do CO₂ para dentro da folha e pela redução da habilidade dos cloroplastos para fixar o CO₂, além de alterar o ambiente físico das culturas, por modificar o balanço de energia do sistema (JONES, 1985; BERGAMASCHI, 1992).

De acordo com Bergamaschi et al. (2004) e Matzenauer et al. (1995), a produtividade de grãos de milho é decorrente das condições hídricas durante o período crítico, que vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos. Segundo Medeiros et al. (1991), esse período ocorre de 10 dias antes do pendoamento até 10

dias após o final do espigamento, pois as deficiências hídricas neste sub-período acarretaram acentuados e irreversíveis decréscimos de rendimento. O número de grãos por espiga e o número de espigas por planta são os componentes da produção de grãos mais afetados pelo déficit hídrico.

Quando o déficit hídrico evolui lentamente, possibilitando mudanças nos processos de desenvolvimento, o estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento, um dos quais é a limitação da expansão foliar. A área foliar é importante porque, em geral, a fotossíntese é proporcional a ela (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Analisando alterações no enrolamento e orientação de folhas de milho causada por déficits hídricos, Carlesso (1997) concluiu que alterações na orientação e no enrolamento das folhas são maiores para déficits hídricos aplicados durante o período de crescimento vegetativo das plantas (antes da antese), com consequente redução na interceptação da radiação solar. Kunz et al. (2007) afirmam que a deficiência hídrica diminui a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, devido à redução do índice de área foliar e ao enrolamento das folhas e que o milho cultivado em plantio direto apresenta maior eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa em comparação ao preparo convencional, sendo esta maior em espaçamento reduzido.

A expansão foliar depende principalmente da expansão celular, e os processos de expansão foliar e celular são afetados pela ocorrência de déficits hídricos. Área foliar menor transpira menos, conservando um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo. Assim, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa da planta contra a deficiência hídrica (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento das plantas de milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa. Porém, os efeitos sobre a produção de grãos podem ser atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis, o que poderá garantir níveis satisfatórios de rendimento (BERGAMASCHI et al., 2006).

Segundo Zimmermann (2001), plantas de milho submetidas a déficit hídrico terminal apresentam índice de área foliar diretamente relacionado à extração de água do solo, seja nos sistemas de cultivo plantio direto ou convencional. Da mesma forma, estudos conduzidos por Dal Forno (1998), aplicando diferentes níveis de

irrigação em plantas de milho, encontraram variações no índice de área foliar, altura de plantas, alongação de folhas, matéria seca total, peso de mil sementes, peso de grãos por espiga e no rendimento, conforme alterava o manejo de irrigação.

Se o déficit hídrico ocorrer no período crítico de desenvolvimento da cultura, da pré-floração ao início do enchimento de grãos, a recuperação de sua capacidade produtiva não poderá ocorrer de forma satisfatória, uma vez que os eventos reprodutivos são muito mais rápidos do que os verificados durante o crescimento vegetativo. Nessa etapa fenológica, o milho é extremamente sensível ao déficit hídrico, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos, além da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar e da elevada carga energética proveniente da radiação solar (BERGAMASCHI et al., 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do experimento

O experimento foi realizado em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Santa Maria, RS, no ano agrícola de 2009/10. A área está situada em latitude de 29°41'24"S e longitude de 53°48'42"W. 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). Nessa 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 precipitação média anual da região varia de 1.322 a 1.769 mm. O solo do local está classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 1999).

O experimento foi conduzido no interior de uma cobertura móvel (Figura 1), estruturada sobre trilhos metálicos, com movimentação mecânica. A cobertura móvel somente foi acionada (fechada) quando da ocorrência de precipitações pluviais na área experimental. O uso deste tipo de estrutura possibilita a aplicação de diferentes déficits hídricos e lâminas de irrigação, sem a interferência das precipitações pluviais, obtendo-se um controle adequado do manejo da água no solo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, bifatorial, com cinco repetições. As unidades experimentais apresentaram dimensões de 2,9 x 3 metros, num total de 30 parcelas. 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 resíduos vegetais de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). O fator B foi constituído de dois regimes hídricos: irrigado e não irrigado.

As parcelas não irrigadas receberam água (irrigação) apenas logo após a semeadura. A necessidade de irrigação das parcelas irrigadas foi determinada com base no programa de manejo da irrigação do Sistema Irriga[®], da UFSM (<http://www.sistemairriga.com.br>). A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). A

evapotranspiração máxima das culturas foi estimada pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, utilizando os valores dos coeficientes de cultura (K_c) propostos por Allen et al. (1998). Esse método é recomendado pela FAO para a determinação da ETo , porque seu valor é muito próximo da evapotranspiração de referência da grama em seu local de avaliação, possui embasamento físico e incorpora tanto os parâmetros fisiológicos como os aerodinâmicos (CARLESSO et al., 2007).

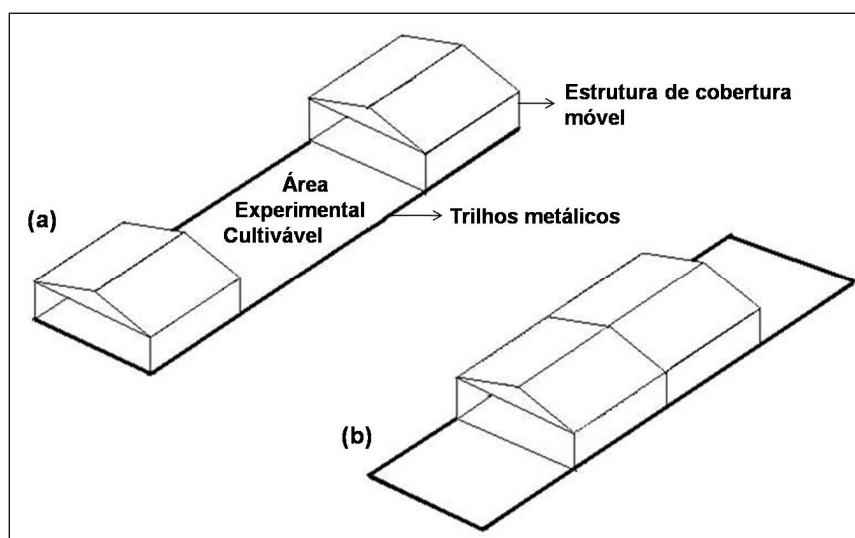


Figura 1 - Ilustração da cobertura móvel, utilizada no experimento, com a estrutura aberta (a) e fechada (b) (adaptado de Schneider, 2003). Santa Maria, 2010.

A lâmina de irrigação foi determinada em função da capacidade de armazenamento de água disponível no solo até a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas. Na definição da profundidade efetiva do sistema radicular, foi considerada a sua evolução ao longo do ciclo da cultura, iniciando com 15 cm na semeadura-emergência, aumentando a profundidade com a evolução dos estádios fenológicos, chegando-se a um máximo de 80 cm entre a floração e a maturação fisiológica.

A irrigação foi realizada por gotejamento, utilizando-se tubos gotejadores auto-reguláveis de 16 mm de diâmetro, com 0,2 m entre gotejadores na linha e 0,5 m entre as linhas. A pressão de serviço nos tubos gotejadores foi de 10 KPa, resultando em uma intensidade de irrigação de 10 mm h^{-1} .

Para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0), os dados meteorológicos necessários – temperatura do ar ($^{\circ}C$), umidade relativa do ar (%), insolação (h), velocidade do vento a 2m ($m\ s^{-1}$), pressão atmosférica (kPa) e precipitação pluvial (mm) – foram obtidos de uma estação meteorológica automática, instalada em área gramada, a aproximadamente 300 m do local do experimento, pertencente ao 8^o DISME.

3.2 Implantação e manejo da cultura do milho

A cultura do milho foi semeada em duas épocas, ambas no ano de 2009: a primeira no dia 20 de outubro, com emergência em 26 de outubro, sendo conduzida até os 47 dias após a semeadura (DAS) (06/12/2009); a segunda época foi semeada dia 07 de dezembro, com emergência em 12 de dezembro, conduzida até os 55 DAS (31/01/2010). O espaçamento entre linhas de cultivo foi de 0,5 m (seis linhas por parcela) e população final de 70.000 plantas ha^{-1} . Na primeira semeadura, utilizou-se o híbrido Pioneer 32R48H e, na segunda, o Pioneer 32R22H. A semeadura foi realizada no solo sob preparo convencional e, posteriormente, foram depositadas as quantidades de resíduo vegetal nas parcelas, conforme os tratamentos.

A fertilização do solo foi realizada com base na análise química, conforme indicações da Comissão de Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (2004), seguindo as recomendações para a cultura do milho, objetivando produtividade de grãos de 12 Mg ha^{-1} . A adubação de base consistiu de 380 Kg ha^{-1} de fertilizante mineral, fórmula 05-30-20, aplicados na linha de semeadura antes da implantação da primeira época de semeadura. Em cobertura, nas duas épocas de semeadura, foram aplicados 125 Kg ha^{-1} de nitrogênio, na forma de uréia (45% N), quando a cultura encontrava-se em estágio V4, e mais 125 Kg ha^{-1} de nitrogênio quando as plantas estavam no estágio V8. Na primeira época de cultivo, foi realizada aplicação de herbicida, constituído da mistura dos princípios ativos Atrazine + Tembotrione, no dia 13 de novembro de 2009, quando as plantas estavam em estágio V3.

3.3 Caracterização física do solo da área experimental

Ao final do experimento, foram determinadas as características físicas do perfil do solo, coletando-se amostras com estrutura preservada e deformada, em todas as camadas do perfil do solo. As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Análises Físicas do Sistema Irriga, do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Maria.

As amostras com estrutura preservada foram coletadas com o auxílio de um extrator, no qual foi acoplado um cilindro de metal de 5,56 cm de diâmetro e 3 cm de altura (volume 72,84 cm³). As características físicas avaliadas nessas amostras foram: densidade do solo, curva característica de água no solo (nos potenciais de -0,001; -0,006; -0,033 e -0,10 MPa), porosidade total, macro e microporosidade.

Com as amostras de estrutura não preservada, foram realizadas análise granulométrica, densidade de partículas e conteúdo de água nos potenciais de -0,5 e -1,5 MPa. A densidade de partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico e a densidade do solo, pelo método do anel volumétrico. Na tabela 1 são apresentados os resultados da densidade e porosidade do solo.

Tabela 1 - Resultados da densidade e porosidade do solo da área experimental. Santa Maria, 2010.

Camada (m)	Densidade (g cm ⁻³)		Porosidade (cm ³ cm ⁻³)		
	Solo	Partícula	Macro	Micro	Total
0 – 0,10	1,340	2,575	0,077	0,402	0,480
0,10 – 0,25	1,380	2,595	0,098	0,371	0,469
0,25 – 0,55	1,365	2,605	0,135	0,341	0,475
0,55 – 0,85	1,435	2,660	0,080	0,380	0,460

Os resultados da curva característica de água no solo e do limite superior de água disponível às plantas no solo (LS) são apresentados na tabela 2. O LS nas camadas de 0 - 0,1 m, 0,1 - 0,25 m e 0,25 - 0,55 m foi considerado como sendo o conteúdo de água no potencial de -0,01 MPa, estimado por meio do programa Curvaret (DOURADO NETO et al., 1990). Na camada de 0,55 - 0,85 m, o limite

superior foi considerado no potencial de -0,033 MPa, em função do maior teor de argila desta camada, conforme descrito por Carlesso e Zimmermann (2005). O armazenamento de água do solo (mm) no limite superior foi obtido pela multiplicação do conteúdo de água neste potencial ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) pela espessura da camada de solo considerada (mm).

Tabela 2 - Resultados da curva característica de água no solo e do limite superior de água disponível às plantas no solo (LS) da área experimental. Santa Maria, 2010.

Camada (m)	Umidade Volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)							LS ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
	Satur.	1 (-kPa)	6 (-kPa)	33 (-kPa)	100 (-kPa)	500 (-kPa)	1500 (-kPa)	
0 – 0,10	0,519	0,484	0,402	0,337	0,288	0,194	0,119	0,385
0,10 – 0,25	0,491	0,462	0,371	0,312	0,265	0,159	0,112	0,357
0,25 – 0,55	0,477	0,408	0,341	0,269	0,224	0,152	0,117	0,304
0,55 – 0,85	0,476	0,439	0,380	0,329	0,281	0,236	0,191	0,329

Para as análises granulométricas e densidade de partículas, foram coletadas aproximadamente 1000 gramas de solo com estrutura deformada, na porção mediana de cada camada do perfil do solo. Determinações analíticas de textura, densidade de partículas, densidade do solo e porosidade foram realizadas conforme métodos descritos pela EMBRAPA (1997). Os resultados da análise granulométrica são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da análise granulométrica do solo da área experimental. Santa Maria, 2010.

Camada (m)	Textura ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$)			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	
0 – 0,10	36,0	44,7	19,4	Franco
0,10 – 0,25	35,5	40,4	24,2	Franco
0,25 – 0,55	32,1	35,4	32,5	Franco argilo siltoso
0,55 – 0,85	24,2	31,7	44,1	Argila

3.4 Determinações realizadas e metodologia empregada

3.4.1 Determinação do conteúdo de água do solo

Para determinação do conteúdo de água no solo foi utilizado um conjunto FDR (Reflectometria no Domínio de Frequência), sendo sua calibração realizada com um conjunto TDR (Reflectometria no Domínio de Tempo), instalado em uma parte do experimento. Ambos conjuntos são constituídos por um *datalogger*, multiplexadores e sondas ou sensores e realizam a medida direta da umidade volumétrica do solo (cm^3 água cm^{-3} solo).

As sondas do sistema FDR são constituídas por duas hastes paralelas de aço inoxidável, distantes 0,04 m, com 0,3 m de comprimento e 4,5 mm de diâmetro. Foram instaladas quatro sondas por parcela, totalizando 120 sensores no experimento, nas seguintes profundidades: 0 a 0,1 m, 0,1 a 0,25 m, 0,25 a 0,55 m e de 0,55 a 0,85 m, conforme demonstrado na figura 2.

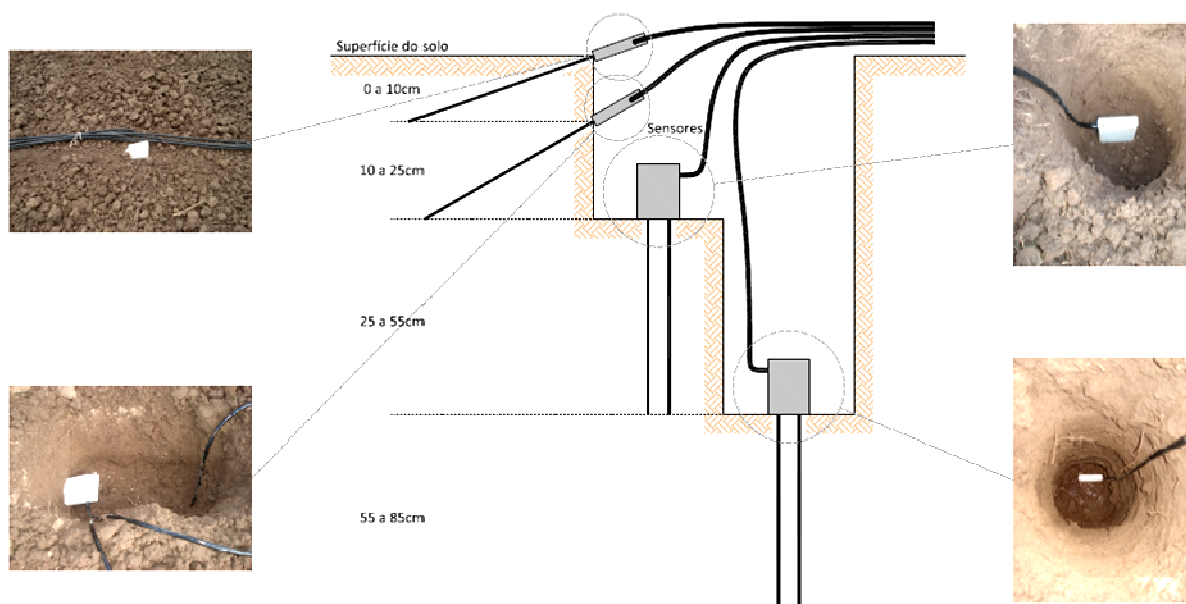


Figura 2 - Ilustração da instalação das sondas FDR nas diferentes camadas de solo avaliadas. Santa Maria, 2010.

As sondas do sistema TDR são formadas por duas hastes paralelas de aço inox, distantes 5 cm, com 0,2 m de comprimento e 6,3 mm de diâmetro. Foram instaladas em seis parcelas do experimento, quatro sondas por parcela, instaladas nas profundidades de: 0 a 0,1 m, 0,1 a 0,25 m, 0,3 a 0,5 m e a quarta de 0,6 a 0,8 m, totalizando 24 sensores.

Comparando os resultados da umidade do solo dos sistemas determinados pelos sistemas FDR e TDR, não foram constatadas diferenças significativas, em nenhuma das camadas do perfil de solo avaliadas; foram adotados diretamente os valores de umidade determinados pelo FDR para este trabalho.

As determinações da umidade do solo foram realizadas a cada 15 minutos, desde a semeadura até o final do ciclo da cultura, e estes dados foram automaticamente armazenados no *datalogger*. O armazenamento de água no solo foi obtido pelo produto do conteúdo volumétrico de água (cm^3 água cm^{-3} solo) e a espessura de cada camada do perfil do solo avaliada (mm). A lâmina média de água armazenada, extraída pela cultura, evaporada ou percolada, foi obtida pelo somatório das lâminas observadas na camada dividido pelo número de avaliações realizadas.

3.4.2 Determinação da temperatura do solo

A temperatura do solo foi medida por um conjunto formado por *datalogger*, multiplexadores e termopares ou sensores. Os termopares são constituídos por um fio de cobre e outro de constantan, unidos em cerca de 1 cm em uma extremidade. Essa união está envolta por uma camada de silicone e colocada dentro de um pequeno tubo de cobre de 4 cm de comprimento e 0,8 cm de diâmetro fechado nas extremidades, para proteger a união dos metais da oxidação.

Os termopares foram instalados nas profundidades de 0,03 m, 0,08 m, 0,15 m e 0,3 m, conforme demonstrado na figura 3, totalizando quatro sensores por parcela e 120 no total. Os termopares são conectados a multiplexadores e estes a um *datalogger* central, o qual gerencia e armazena as determinações da temperatura do solo, realizadas a cada 15 minutos.

Foram analisados os dados diários de: temperatura média, obtida a partir da média aritmética dos 96 registros diários de temperatura; temperatura máxima,

temperatura mínima e amplitude da temperatura diária, obtida pela subtração entre a temperatura máxima diária pela mínima diária.

A temperatura do solo passou a ser registrada a partir do décimo dia após a semeadura do segundo ciclo de cultivo, em função de atrasos no recebimento dos fios de cobre-constantan, necessários para confecção dos sensores (termopares).

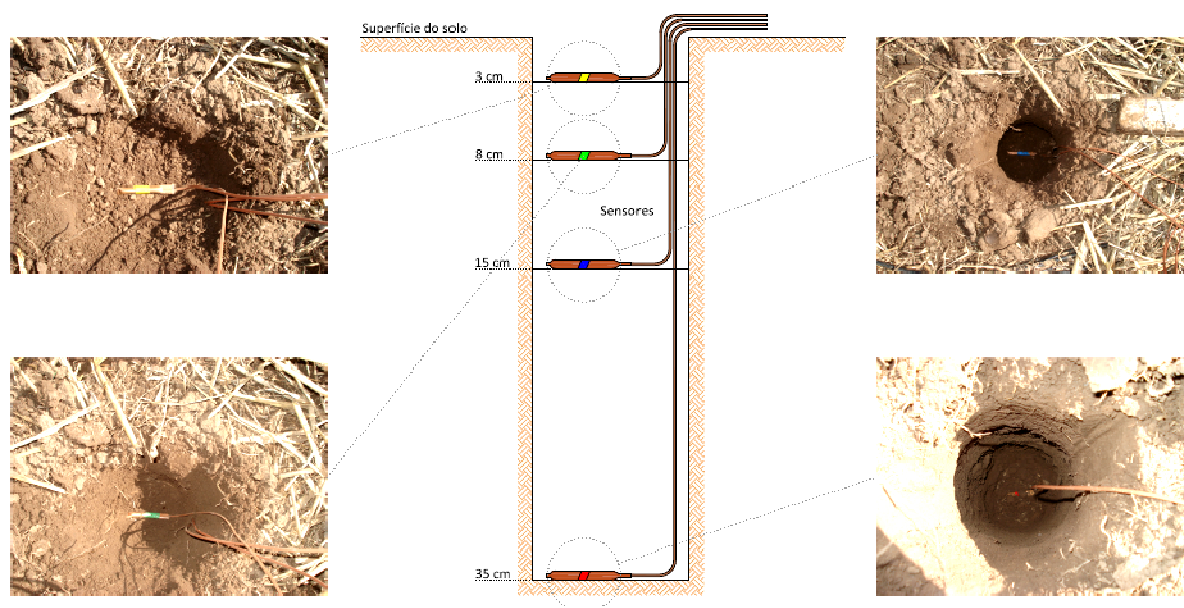


Figura 3 - Ilustração da instalação dos termopares nas diferentes profundidades do solo avaliadas. Santa Maria, 2010.

3.4.3 Determinações morfológicas

Características morfológicas das plantas, como comprimento acumulado das folhas e área foliar, foram avaliadas em duas plantas por parcela localizadas nas linhas centrais, selecionadas e identificadas aos 15 DAS, quando apresentavam altura e número de folhas idênticos. Essas avaliações foram feitas duas vezes por semana, com auxílio do equipamento LI-COR 3000C, que realiza estas medidas através de um “escaneamento” das folhas das plantas, informando diretamente a área foliar e o comprimento acumulado ou total das folhas de cada planta.

O comprimento acumulado foi obtido pelo somatório do comprimento da lâmina foliar de todas as folhas da planta, tomando-se a medida do comprimento desde a extremidade até a junção da folha no colmo. O índice de área foliar (IAF) foi

calculado pela razão entre a área foliar fotossinteticamente ativa da planta (área foliar verde) e a área superficial de solo ocupada por ela, considerando-se a população de 70.000 plantas ha⁻¹.

3.5 Análise estatística

Os resultados diários do armazenamento, perda diária e perda acumulada de água do solo e da temperatura do solo, média, máxima, mínima e amplitude, foram analisados estatisticamente através do programa estatístico Sisvar, versão 5.1. A análise de variância e o teste de Tukey foram determinados em nível de 5% de probabilidade de erro. Para os tratamentos quantitativos (quantidades de resíduo vegetal na superfície), quando observado efeito significativo, foi aplicada a análise de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Demanda evaporativa da atmosfera das duas épocas de semeadura

Na figura 4, são apresentadas a evapotranspiração de referência (ET_o) e a distribuição das chuvas nas duas épocas de semeadura. Na primeira (Figura 4a), observou-se grande número de dias com ET_o inferior a 4 mm e com chuva, evidenciando menor demanda evaporativa da atmosfera neste período. Na segunda época (Figura 4b), os valores de ET_o são mais estáveis, mantendo-se em aproximadamente 5 mm diários, e as chuvas foram menos frequentes, porém com maiores volumes diários; observaram-se 130 mm de chuva em um único dia (aos 40 DAS).

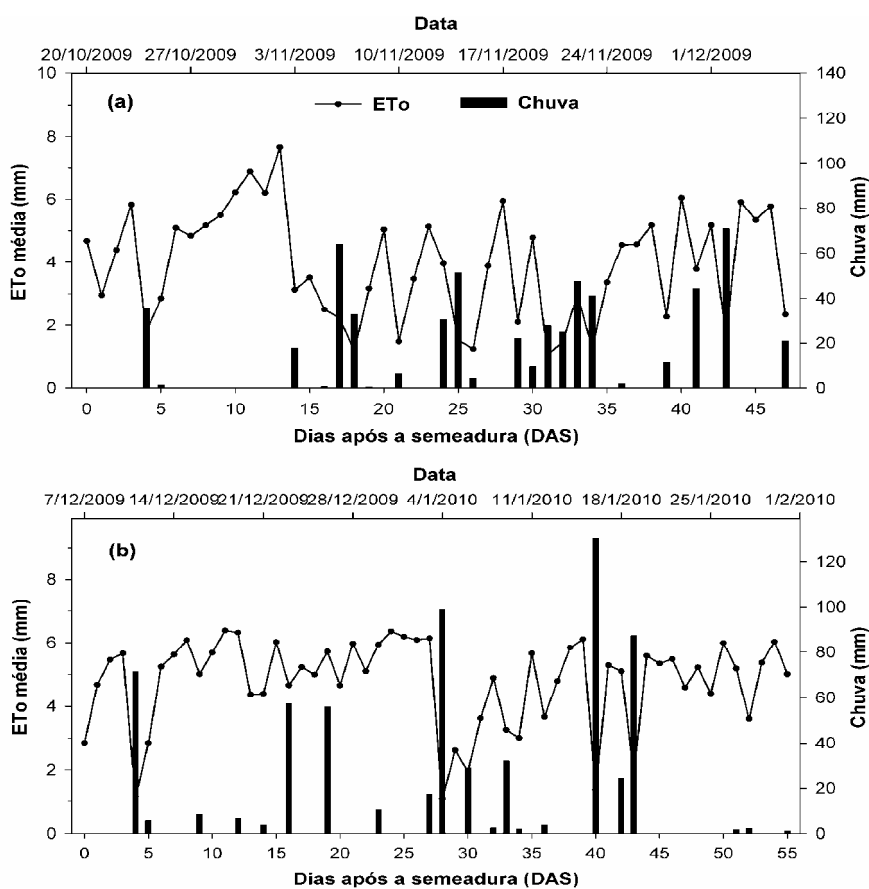


Figura 4 - Evapotranspiração de referência (ET_o) média e distribuição das precipitações na primeira (a) e segunda (b) épocas de semeadura do milho. Santa Maria, 2010.

Os valores acumulados de ETo e chuvas durante as duas épocas de cultivo são apresentados na figura 5. A primeira época de semeadura apresentou duração de 48 dias e ETo acumulada (EToac) de 186,90 mm, com valor médio de 3,90 mm dia⁻¹. A segunda (Figura 5a) teve duração de 56 dias e EToac de 266,80 mm, com valor médio de 4,76 mm dia⁻¹.

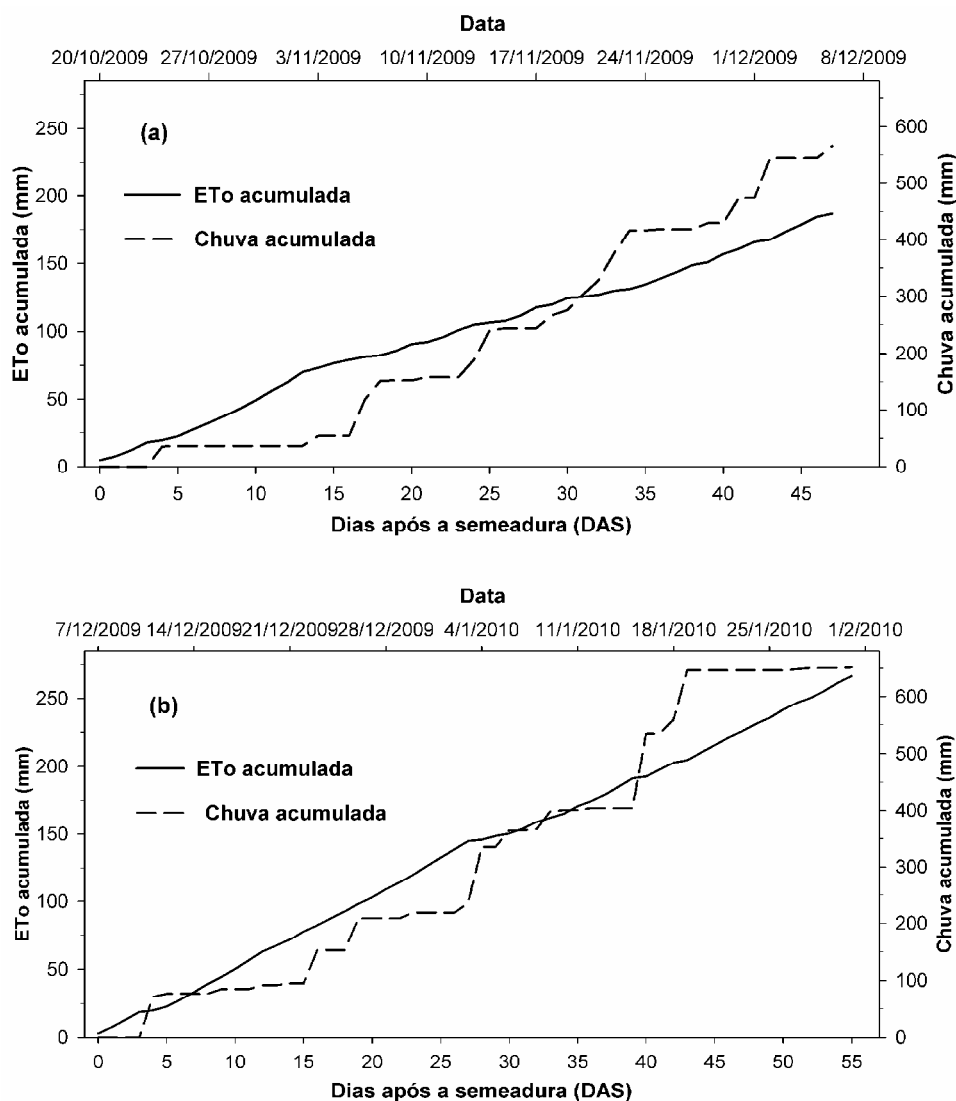


Figura 5 - Evapotranspiração de referência (ETo) acumulada e precipitações acumuladas na primeira (a) e segunda (b) épocas de semeadura do milho. Santa Maria, 2010.

A chuva acumulada totalizou 565,40 mm na primeira época (Figura 5a), de 20 de outubro a 06 de dezembro de 2009 (48 dias de duração), com média de 11,78 mm diários). Na segunda época de semeadura, de 07 de dezembro de 2009 a 31 de janeiro de 2010 (56 dias de duração), a chuva acumulada totalizou 651,80 mm, com

média diária de 11,63 mm. Os valores médios normais observados para esses períodos, conforme BURIEL et al. (2006), considerando a série histórica 1912-2004, seriam de aproximadamente 200 e 280 mm, para a primeira e segunda épocas de semeadura, respectivamente. Assim, fica evidente o excesso de chuvas ocorrido em ambas épocas de semeadura, o que prejudicou a implantação do tratamento de déficit hídrico.

Apesar de o experimento ter sido conduzido dentro de uma cobertura móvel, somente acionada (fechada) quando da ocorrência de chuvas na área experimental, os grandes volumes de chuva causavam a saturação do solo em torno da cobertura, com elevação do nível freático próximo da superfície. Em muitos dias, o nível esteve a menos de 10 cm de profundidade, influenciando toda dinâmica de entradas e saídas de água no perfil do solo da área experimental.

4.2 Armazenamento de água no solo

Na primeira época de semeadura, foram aplicadas quatro irrigações no início do ciclo de desenvolvimento das plantas de milho (Figura 6), em todas as parcelas do experimento, totalizando 62 mm, para uniformizar a emergência das plântulas. Os demais incrementos da umidade do solo, observados nas diferentes camadas avaliadas, foram ocasionados pela flutuação do nível freático do solo.

Na camada de 0 - 0,1 m de profundidade, o armazenamento de água do solo se manteve na maioria dos dias acima do limite superior de disponibilidade de água às plantas (LS) (Figura 6). Isto é, o solo se manteve com umidade próxima da saturação, em função dos elevados volumes de chuva e da baixa demanda evaporativa da atmosfera nesse período. Esse fato foi ainda mais evidente na camada de 0,1 - 0,25 m de profundidade e de 0,25 - 0,55 m e de 0,55 - 0,85 m. O armazenamento de água manteve-se durante todo o período acima do LS.

Em função do elevado volume e frequência das chuvas, resultando na elevada quantidade de água armazenada em todas as camadas do solo, nesta primeira época de semeadura, que impossibilitou a implantação dos tratamentos, optou-se por encerrar esse ciclo de cultivo e iniciar um novo, com uma nova semeadura da cultura do milho.

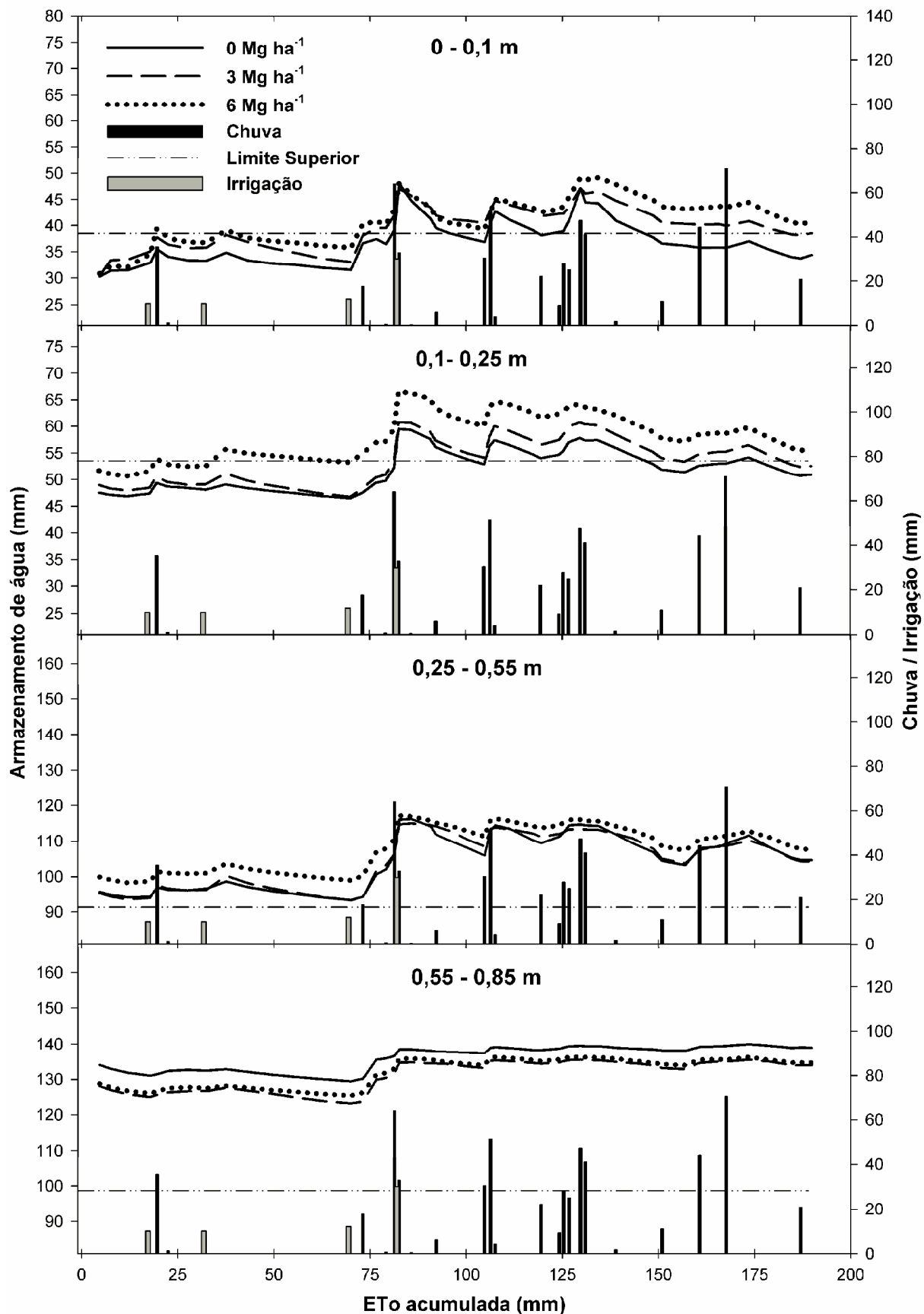


Figura 6 – Variação do armazenamento de água no solo nas diferentes camadas avaliadas na primeira época de semeadura do milho. Santa Maria, 2010.

A variação do armazenamento de água do solo na segunda época de semeadura do milho, nos tratamentos sem irrigação, está apresentada na figura 7 e a dos tratamentos com irrigação, na figura 8. Em ambas as figuras, observa-se que a umidade do solo nas camadas de 0 - 0,1 m e 0,1 - 0,25 m de profundidade manteve-se na maioria dos dias abaixo do LS, enquanto que, nas camadas de 0,25 - 0,55 e de 0,55 - 0,85 m de profundidade, o armazenamento de água manteve-se acima do LS, na maioria dos dias do período de avaliação.

Na camada de 0 - 0,1 m de profundidade, observou-se diferença ($P < 0,05$) entre as quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo até os 48 DAS (230 mm de EToac), com efeito linear entre as quantidades de resíduos, ou seja, quanto maior a quantidade de resíduo vegetal sobre a superfície do solo maior o armazenamento de água. Entre os regimes hídricos, observou-se diferença ($P < 0,05$) no período de 24 a 40 DAS (126 a 193 mm Etoac) e, no final do período de avaliação, após 50 DAS ou 240 mm EToac (Apêndice A). O maior armazenamento foi observado com a utilização de 6 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais, sendo aproximadamente 10 mm superior ao solo sem cobertura vegetal durante todo período de avaliação. A utilização de 3 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais, resultou em armazenamento de água no solo superior ao solo descoberto; mas, de maneira geral, inferior à utilização de 6 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais na superfície.

A variação no armazenamento de água em função das diferentes quantidades de resíduo vegetal foi mais evidente no início do período de avaliação, quando o IAF da cultura do milho era menor. As quantidades de resíduo vegetal sobre a superfície tiveram efeito significativo no armazenamento de água do solo até os 48 DAS ou 230 mm EToac, a partir de quando o maior IAF da cultura do milho ocasionou maior sombreamento do solo, reduzindo a influência de outros fatores, podendo as variações no armazenamento de água do solo, a partir deste período, serem atribuídas ao consumo das plantas de milho.

Na camada do solo de 0,1 - 0,25 m de profundidade, nos tratamentos sem e com irrigação (Figuras 7 e 8, respectivamente), a variação do armazenamento de água do solo foi semelhante ao observado para a camada de 0 - 0,1 m de profundidade. Encontrou-se diferença significativa entre as quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo apenas até os 6 DAS (28 mm de EToac) e, entre os regimes hídricos, apenas no final do período de avaliação, após 50 DAS ou 240 mm

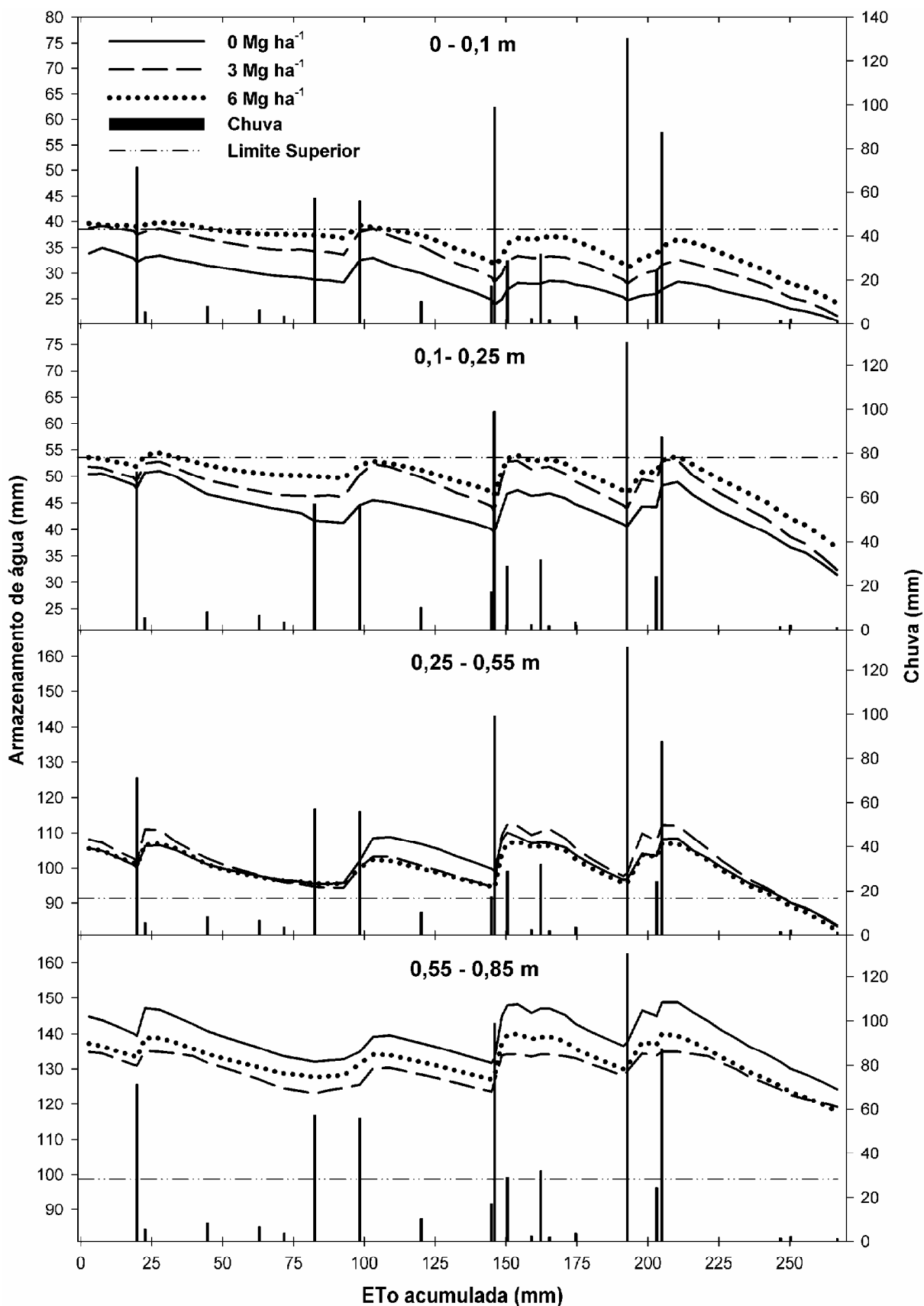


Figura 7 – Variação do armazenamento de água no solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.

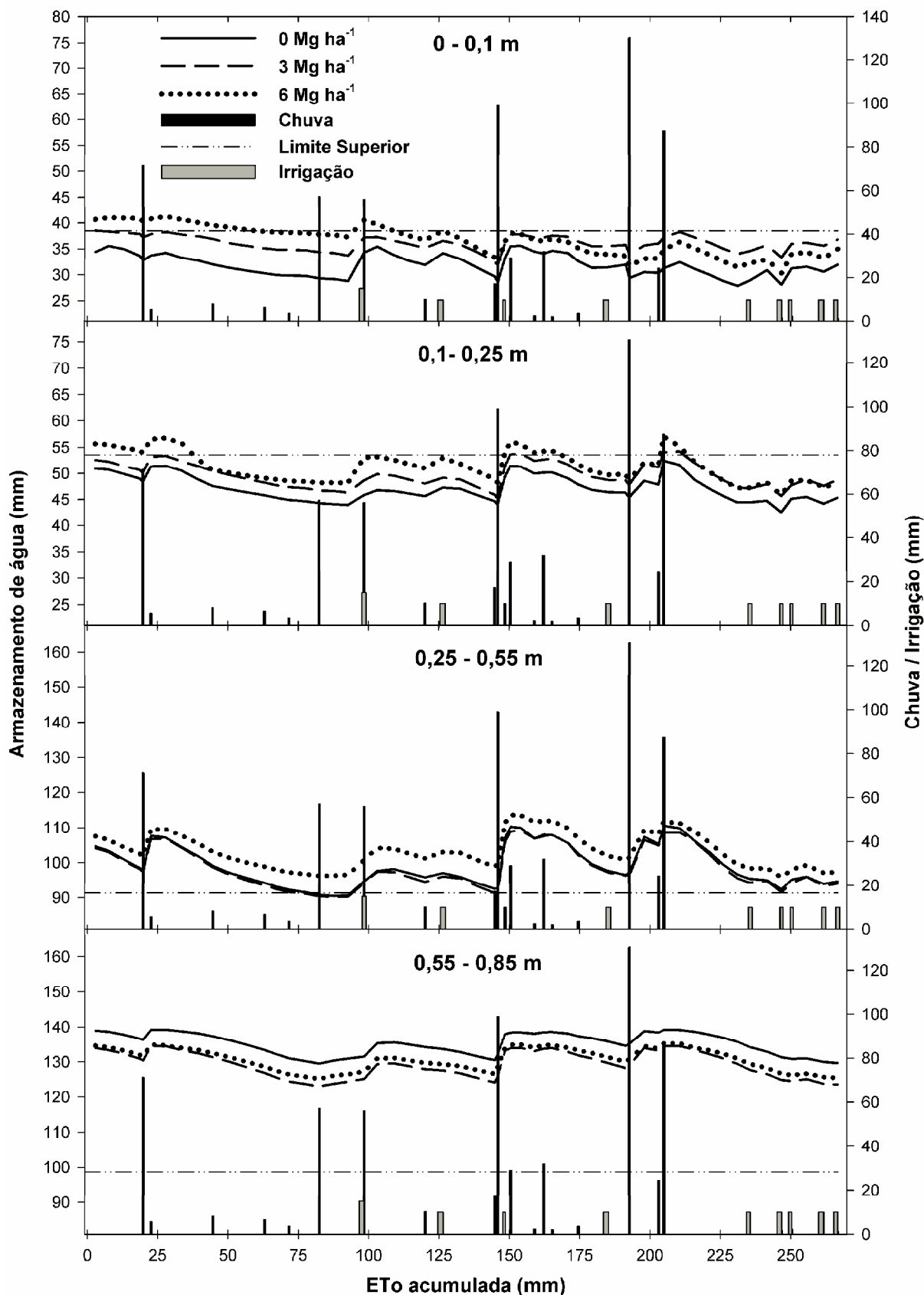


Figura 8 - Variação do armazenamento de água no solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.

EToac (Apêndice B). De maneira geral, a utilização de 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície do solo resultaram em maior armazenamento de água do que no tratamento sem cobertura vegetal.

Nas demais camadas do perfil do solo avaliadas (0,25-0,55 m e 0,55-0,85 m), observaram-se pequenas variações no armazenamento de água entre as quantidades de resíduos na superfície do solo. Para essas camadas, o armazenamento de água no solo manteve-se acima do LS em praticamente todo o período de avaliação. Exceção ocorreu na camada de 0,25 - 0,55 m, no regime hídrico sem irrigação, que a partir de 250 mm de EToac (Figura 7) apresentou uma redução, ocasionada pelo menor volume de chuvas e pela maior extração de água do solo pelas plantas de milho.

O aumento do armazenamento de água com a utilização de resíduos vegetais na superfície do solo, mesmo sendo reduzido, tem grande importância para culturas sensíveis ao déficit hídrico e que possuem um período crítico bem definido. Nesses casos, um pequeno acréscimo de umidade, no período crítico, pode garantir rendimentos satisfatórios, reduzindo flutuações na produção.

Resultados que confirmam esse fato foram descritos por Lindswall et al. (1995), que verificaram um benefício do plantio direto às culturas quando as chuvas foram abaixo do normal, proporcionando melhores condições hídricas. Bragagnolo e Mielniczuk (1990) citam também que, em curtos períodos de deficiência hídrica, esse benefício é alcançado com 5,0 a 7,5 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais adicionada à superfície. Dalmago (2004) também encontrou aumento da umidade do solo sob plantio direto, principalmente nas camadas mais superficiais do perfil do solo.

4.3 Perdas diárias de água do solo

As perdas diárias em função das diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo e dos dois regimes hídricos são apresentadas na figura 9 (sem irrigação) e 10 (com irrigação).

Na camada de 0 - 0,1 m de profundidade, observam-se diferenças ($P < 0,05$) nas perdas diárias de água entre as quantidades de resíduos vegetais na superfície

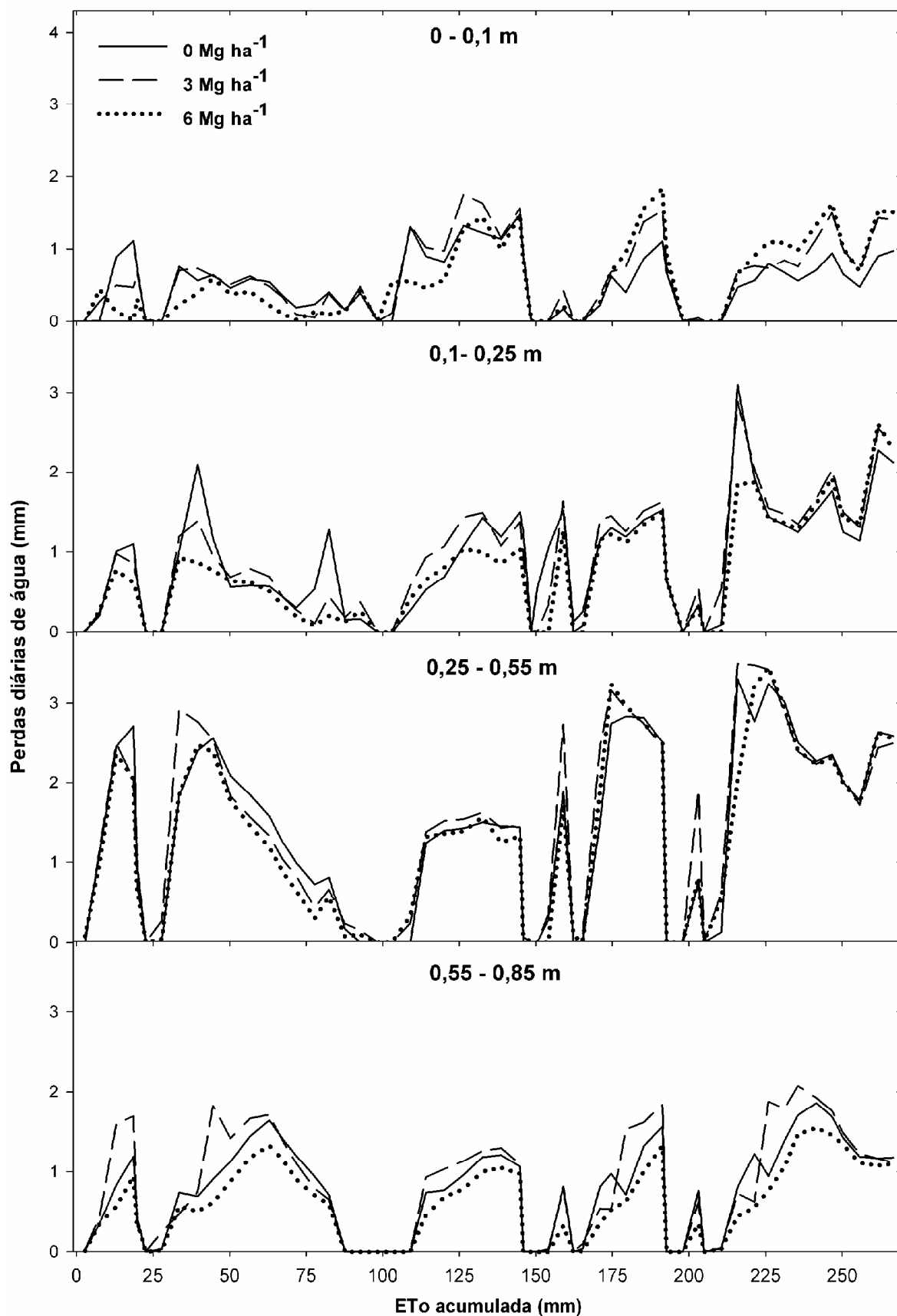


Figura 9 - Perdas diárias de água do solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.

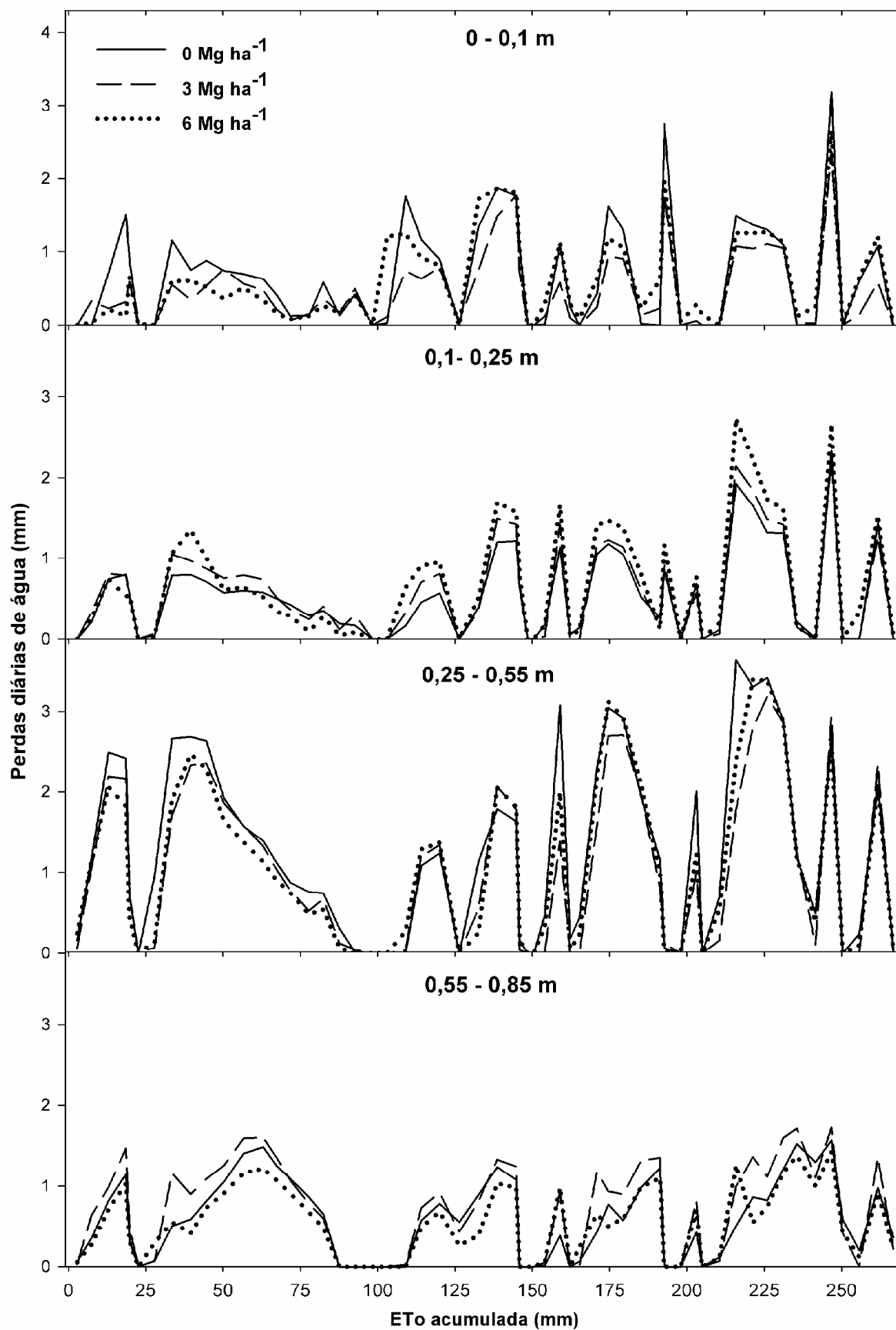


Figura 10 - Perdas diárias de água do solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.

do solo nos dias em que a EToac foi de 13 a 19,80; 63 a 82,45; 103,04; 185,22; 241,57 e 266,76 (Apêndice C), enquanto que os regimes hídricos proporcionaram efeito significativo nos dias em que a EToac foi de 126,41 a 138,69, 158,97; 174,59 a 192,70 e 221,36 a 266,76.

Nos tratamentos sem irrigação (Figura 9), as perdas diárias de água do solo na profundidade de 0 - 0,1 m são maiores no solo sem resíduos vegetais na superfície, especialmente até o valor de 125 mm de ETo acumulada. Nos tratamentos com irrigação (Figura 10), a utilização de 6 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal resultou em maiores perdas diárias (valores inferiores a 1 mm). As maiores perdas na camada de 0 - 0,1 m foram observadas entre os 100 - 150 mm, 175 - 200 mm e após os 200 mm de ETo acumulada, com valores diários próximos a 2 mm.

Trabalhando em condições semelhantes, Andrade (2008) e Dalmago (2004) observaram perdas diárias que chegaram próximo a 4 mm na camada de 0 - 0,1 m no solo sem cobertura vegetal, logo após uma chuva ou irrigação. Menores perdas de água observadas nesse experimento, em relação às indicadas na bibliografia, podem ser atribuídas ao fato de o suprimento de água da camada superficial do solo ter ocorrido principalmente por capilaridade, das camadas mais profundas do perfil do solo e pela flutuação do nível freático, em função do elevado volume de chuvas no período de avaliação.

Nos tratamentos com irrigação (Figura 10), observaram-se, aos 250 mm de ETo acumulada, perdas diárias de água da camada superficial superiores a 3 mm dia⁻¹, pois as chuvas estavam menos frequentes e com volumes menores, aliados à maior demanda evaporativa da atmosfera. No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre as quantidades de resíduos (Apêndice C), pois o IAF da cultura do milho já se encontrava em estágio avançado (Figura 21). Os resíduos vegetais cobrindo a superfície do solo, junto ao elevado teor de umidade deste, retardam o seu aquecimento, necessário para favorecer as perdas de água por evaporação (GAJRI et al., 1994).

Na camada de 0,1 - 0,25 m de profundidade, observam-se diferenças ($P < 0,05$) nas perdas diárias entre as quantidades de resíduos vegetais na superfície nos dias em que a EToac foi de 71,77; 92,67; 114,11; e 221,36 (Apêndice D). Entre os regimes hídricos, houve diferença significativa, quando a EToac foi de 13,0; 71,77; 126,41 a 138,69; 185,22 a 192,70 e de 241,57 a 266,76 (Apêndice D). De

maneira geral, as maiores perdas foram observadas nos tratamentos sem resíduos vegetais na superfície e no regime hídrico com irrigação.

Nas camadas de 0,25 - 0,55 m e de 0,55 - 0,85 m de profundidade, as variações nas perdas diárias de água do solo apresentaram comportamento similar às perdas nas camadas superficiais do solo. Entretanto, estão também associadas à redistribuição do conteúdo de água no perfil do solo, pela manutenção no nível freático próximo à superfície.

Um fator que pode contribuir para as menores diferenças de perda diária de água do solo entre as quantidades de resíduos vegetais é o fato de estes perderem o seu poder refletor cerca de 30 a 35 dias após o acamamento. Esse comportamento foi demonstrado por Dalmago et al. (2004b), indicando que, após este tempo, a disponibilidade de energia na superfície do solo é muito semelhante entre a utilização ou não de resíduos, favorecendo o processo de evaporação com a utilização da cobertura do solo, por apresentar maior conteúdo de água nas camadas próximas à superfície.

4.4 Perdas acumuladas de água do solo

As perdas acumuladas de água durante a segunda época de semeadura do milho, sem e com irrigação, são apresentadas nas figuras 11 e 12, respectivamente. Essa avaliação torna-se importante, uma vez que um determinado sistema de manejo pode favorecer a perda de grande quantidade de água no início do processo de secagem do solo e, após isso, manter-se com taxas menores que outro sistema, o que leva a interpretações equivocadas do processo de evaporação.

Na camada de 0 - 0,1 m de profundidade, foram observadas diferenças nas perdas acumuladas entre as quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo (Apêndice E), apenas na fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho (até 28 DAS ou 145,89 mm de EToac). Os manejos de irrigação foram semelhantes quanto às perdas acumuladas de água do solo (Apêndice E).

Na figura 11, observa-se que as perdas acumuladas, na camada de 0 - 0,1 m de profundidade, foram semelhantes entre a não utilização de resíduos na superfície

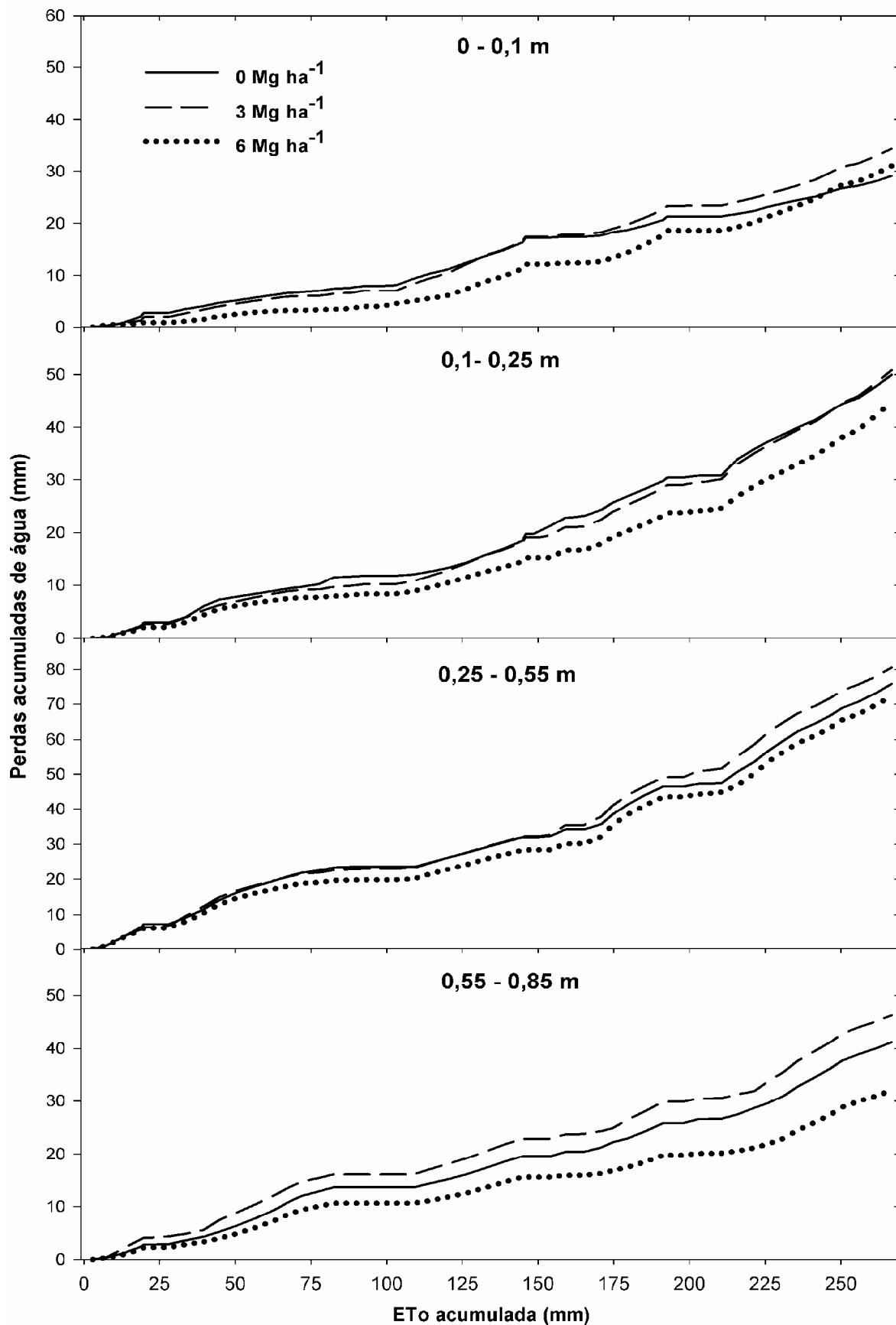


Figura 11 - Perdas acumuladas de água do solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.

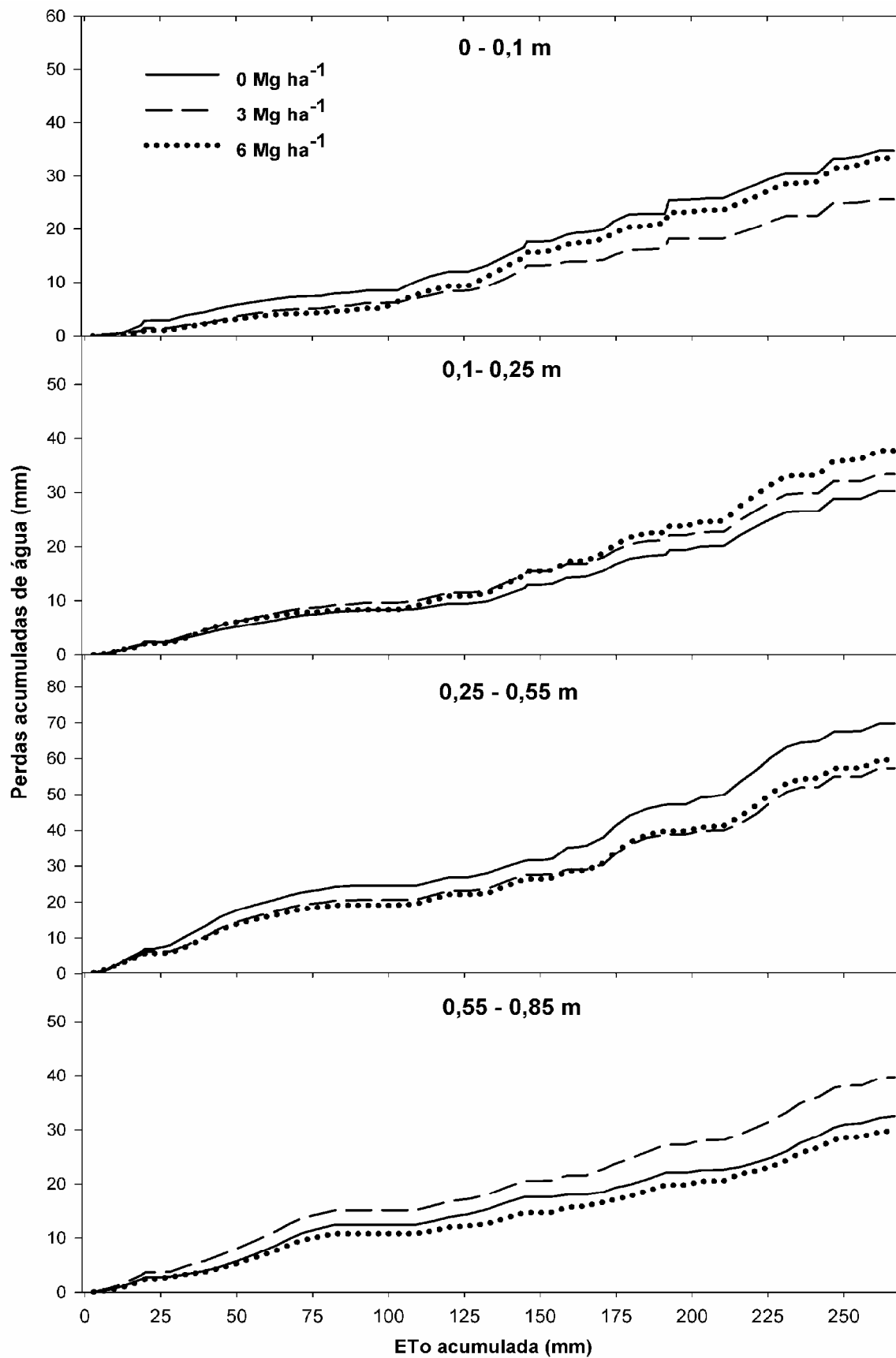


Figura 12 - Perdas acumuladas de água do solo nas diferentes camadas avaliadas na segunda época de semeadura do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.

do solo e a utilização de 3 Mg ha^{-1} , especialmente até os 175 mm de EToac. As menores perdas foram observadas no solo mantido com 6 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais na superfície, chegando a 50 % de redução aos 100 mm de EToac (18 DAS) comparado ao solo descoberto, mantendo uma diferença de aproximadamente 30% até os 185 mm de EToac (38 DAS), nos tratamentos irrigados. Após esse período, as perdas acumuladas de água do solo passam a ser semelhantes entre as diferentes quantidades de resíduo vegetal.

Na camada de 0,1 - 0,25 m de profundidade, não foram observadas diferenças significativas entre as quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo nas perdas acumuladas (Apêndice F). Para os tratamentos de manejo de irrigação, foram observadas diferenças significativas após 126,41 mm de EToac (Apêndice F). Provavelmente, essas diferenças tenham sido ocasionadas pela flutuação do nível freático. Nesse período foram observadas chuvas frequentes.

Na camada de 0,1 - 0,25 m de profundidade, para os tratamentos sem irrigação (Figura 11), a utilização de 6 Mg ha^{-1} de cobertura vegetal sobre a superfície do solo ocasionou redução nas perdas de água entre 10 a 20 %, em relação à ausência de cobertura. Esse comportamento também foi relatado por Dalmago (2003), Bragagnolo e Mielniczuk (1990), que demonstraram que a presença de resíduos vegetais na superfície do solo em plantio direto promove uma redução na evaporação de até 30% em relação ao solo descoberto.

Segundo Andrade et al. (2007b), a utilização de cobertura morta ocasionou redução nas perdas de água por evaporação de 19 a 42%, respectivamente, com a utilização de $3,0$ e $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura morta de resíduos vegetais de aveia em comparação com o solo descoberto. Já Freitas et al. (2004) afirmam que ocorre uma redução da evaporação de aproximadamente 20% com 100 % de cobertura vegetal .

Nos tratamentos com irrigação (Figura 12), as menores perdas acumuladas na camada de 0 - 0,1 m de profundidade, foram observadas com a utilização de 3 Mg ha^{-1} , valores de 20% inferiores ao final do ciclo de avaliação (270 EToac), comparadas ao solo desnudo. As perdas acumuladas de água do solo com a utilização de 6 Mg ha^{-1} apresentaram comportamento similar às do solo sem cobertura.

Na camada de 0,1 - 0,25 m (Figura 12), as menores perdas acumuladas de água do solo foram observadas no solo desnudo, o que pode ser atribuído ao fato de a ausência de cobertura vegetal ter interferido na continuidade dos poros,

diminuindo a condutividade hidráulica não saturada. Com a rápida perda de água na camada superficial, ocorre a quebra da continuidade capilar, não sendo possível a manutenção do fornecimento de água das camadas inferiores para a superfície, a fim de manter o processo de evaporação em sua taxa potencial (DALMAGO, 2004). Além disso, a ausência de resíduos vegetais favorece o selamento dos poros da superfície do solo (BARCELOS et al., 1999). Dessa forma, a secagem da camada superficial deste forma uma barreira ao fluxo de água para a atmosfera, reduzindo as perdas de água por evaporação (LEVIEN, 1999).

No sistema de plantio direto, com a superfície coberta por resíduos vegetais, a ausência de preparo do solo com revolvimento mantém a sua estrutura e aumenta a capacidade de retenção de água. Essa manutenção da estrutura permite o aumento da condutividade hidráulica não saturada do solo, favorecendo o fluxo de água no perfil deste para a manutenção do processo de evaporação, além do maior armazenamento de água. Além da maior umidade, a manutenção da evaporação por mais tempo no estágio um no plantio direto está relacionada com a presença de resíduos vegetais na superfície do solo, o que impede o impacto direto das gotas de chuva, evitando a formação do selamento superficial, como ocorre no plantio convencional (BARCELOS et al., 1999).

Nas camadas de 0,25 - 0,55 m e de 0,55 - 0,85 m, independentemente dos tratamentos de irrigação, grande parte das variações nas perdas de água acumulada podem ser atribuídas à drenagem e flutuações do nível freático. O efeito dos resíduos vegetais na redução da evaporação do solo é reduzida, principalmente, se este tiver maior armazenamento de água e se a quantidade de resíduos adicionados à superfície não for elevado, pois a evaporação é um processo dinâmico e complexo, mediado pela disponibilidade de energia e pela disponibilidade de água na superfície (DALMAGO, 2004).

4.5 Temperatura média do solo

Os valores de temperatura média do solo para os tratamentos sem irrigação estão apresentados na figura 13 e para os tratamentos com irrigação, na figura 14. Observa-se, em ambas as figuras, que a temperatura média do solo na profundidade de 3 cm foi superior à temperatura média do ar em praticamente todo o período de avaliação, principalmente no início do desenvolvimento do milho. Com o avanço do período de avaliação e com o aumento da profundidade do solo considerada, a diferença entre a temperatura média do solo e temperatura média do ar foi diminuindo. Essas temperaturas ficaram muito semelhantes a 35 cm de profundidade.

Os dados de radiação solar são apresentados no apêndice G, onde se observa a relação com a temperatura do solo, ou seja, os períodos de maior oferta de radiação resultaram em maior temperatura.

Na profundidade de 3 cm, são observadas diferenças significativas entre as quantidades de resíduo vegetal na temperatura média do solo (Apêndice H), na fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho (até os 18 DAS) e após os 42 DAS. A temperatura média do solo apresentou diferenças significativas entre os tratamentos de manejo da irrigação, no final do período de avaliação (após 52 DAS) (Apêndice H).

A temperatura média, nas quatro profundidades avaliadas, foi superior no solo sem resíduo vegetal na superfície, independentemente do manejo de irrigação. A maior diferença foi observada no início das avaliações e foi decrescendo com o aumento do IAF da cultura (Figura 21). O incremento no IAF causa maior sombreamento da superfície do solo e reduz a quantidade de energia que chega até este, necessária para seu aquecimento.

Na profundidade de 3 cm, a temperatura média do solo mantida com 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície foi 3 a 4°C menor do que no caso de não haver cobertura vegetal, especialmente até os 28 DAS, para os tratamentos com ou sem irrigação. Nessa mesma profundidade, observou-se efeito da irrigação após os 52 DAS (Apêndice H), pois a maior parte da energia disponível foi consumida no processo de evaporação da água do solo, favorecido pela sua elevada umidade (Figura 8), restando pouca energia para o aquecimento deste.

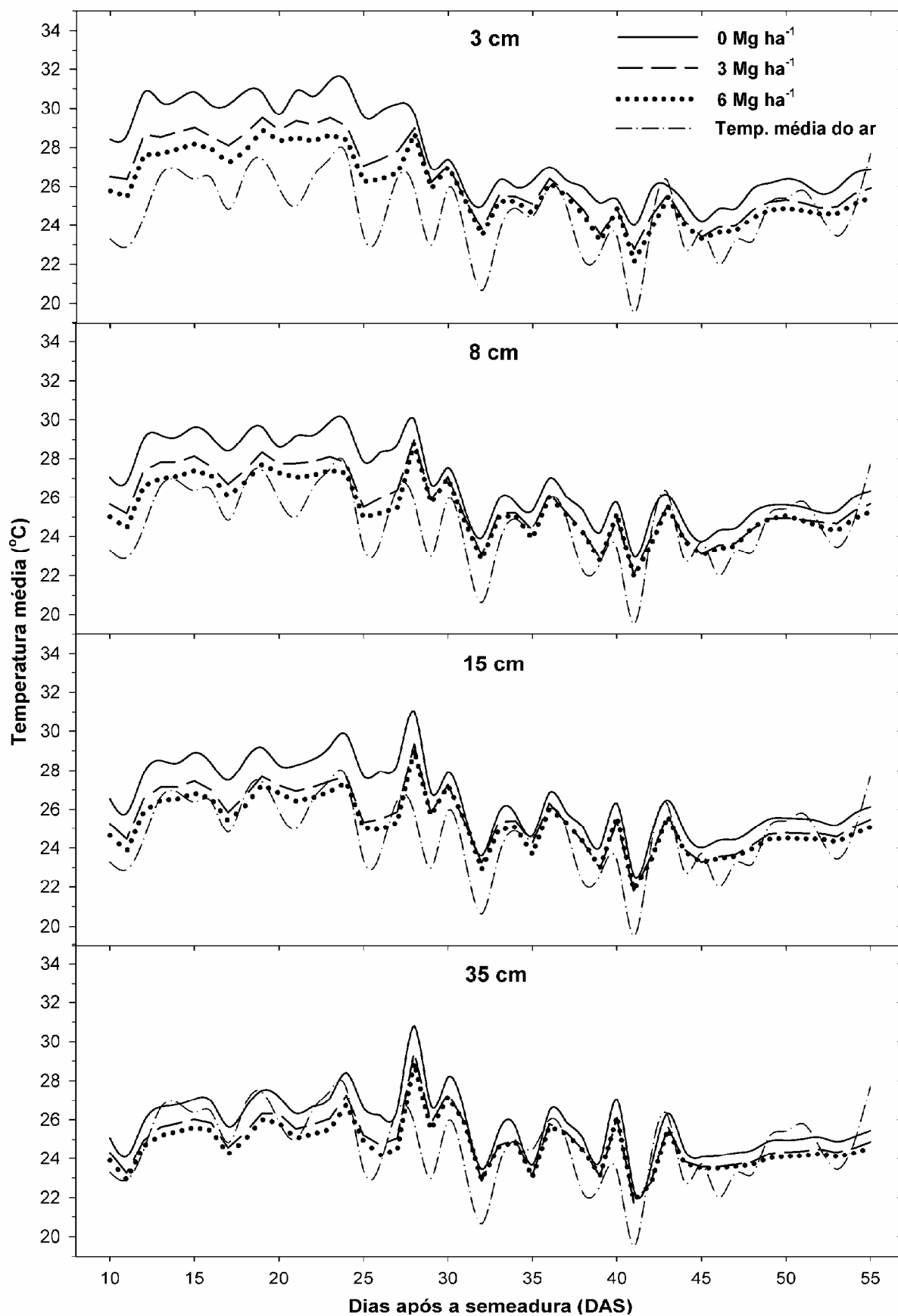


Figura 13 - Temperatura média diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas durante o cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.

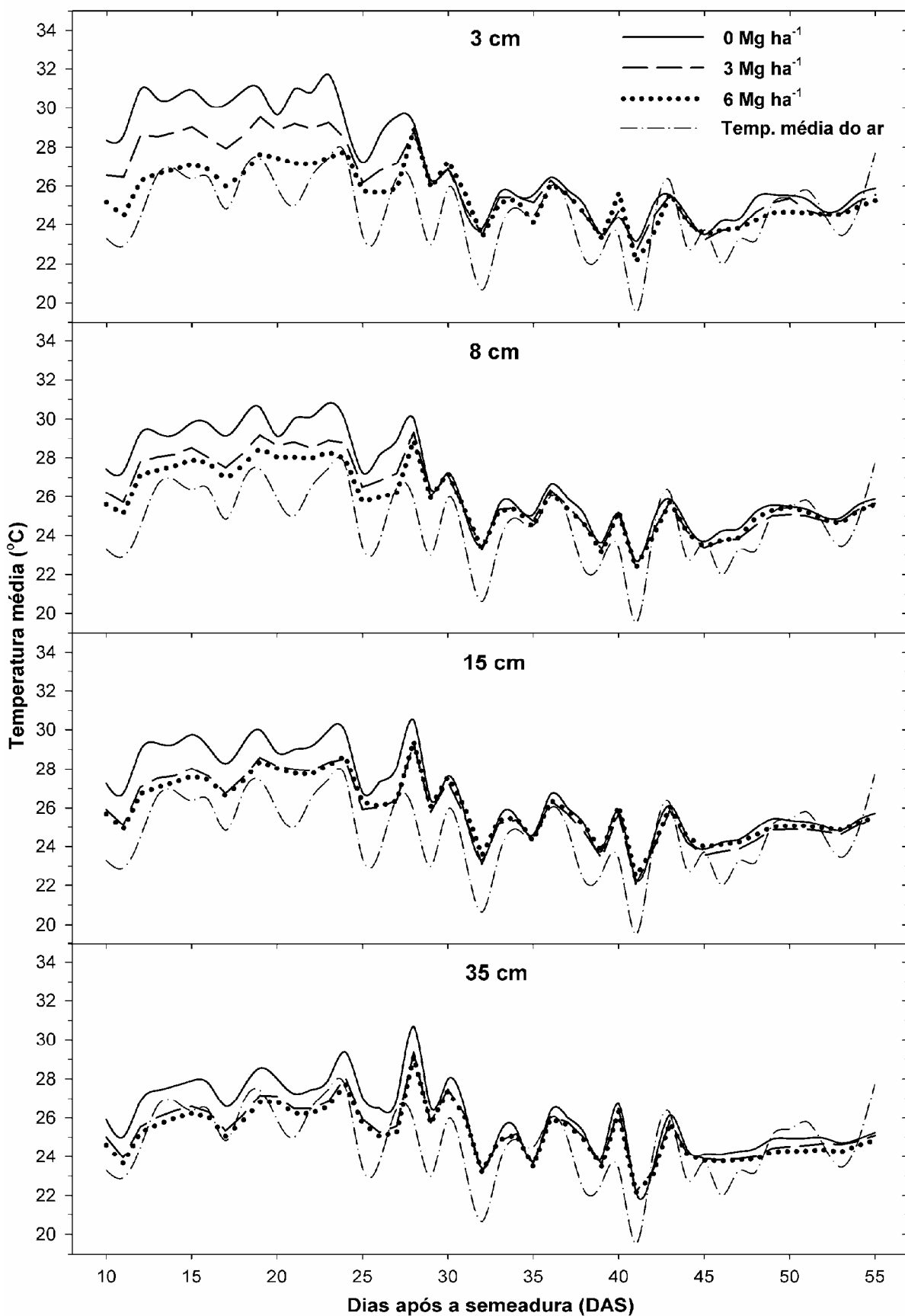


Figura 14 - Temperatura média diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas durante o cultivo do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.

Os resultados de temperatura média do solo na profundidade de 8 cm apresentaram diferenças entre as quantidades de resíduos vegetais na superfície (Apêndice I), na fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho (até os 18 DAS) e após os 46 DAS. Os tratamentos de manejo da irrigação não resultaram em diferenças significativas na temperatura média do solo (apêndice I).

A presença de resíduos vegetais na superfície do solo protege-o contra o aquecimento excessivo, modificando vários processos físicos, químicos e biológicos, provocando modificações microclimáticas; pois, além de alterar o balanço de radiação, devido à diferença no coeficiente de reflexão, modifica todos os outros componentes do balanço de energia na superfície. Os resíduos vegetais possuem alta refletividade à radiação solar e baixa condutividade térmica, causando redução da evaporação, mantendo o solo mais úmido. Com isso ocorre redução nas oscilações de sua temperatura (PEZZOPANE et al., 1996).

Nas profundidades de 15 e 35 cm, a temperatura média, sem cobertura vegetal na superfície, foi maior que no solo com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de cobertura de resíduos vegetais. Menores diferenças foram encontradas com o incremento do IAF das plantas, resultado do crescimento das plantas de milho. A temperatura média na profundidade de 35 cm foi muito semelhante entre os tratamentos com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos e em torno de 1°C inferior à do solo descoberto. Além disso, na mesma profundidade, observou-se menor variação diária da temperatura média do solo; esta foi similar à variação da temperatura média do ar.

4.6 Temperatura máxima do solo

Nas figuras 15 e 16, são apresentados os valores de temperatura máxima diária do solo observados durante a condução do experimento, sem e com irrigação, respectivamente.

Na profundidade de 3 cm, foram observadas diferenças na temperatura máxima do solo ($P < 0,05$) entre os tratamentos com diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo (Apêndice J). Já as diferenças entre os

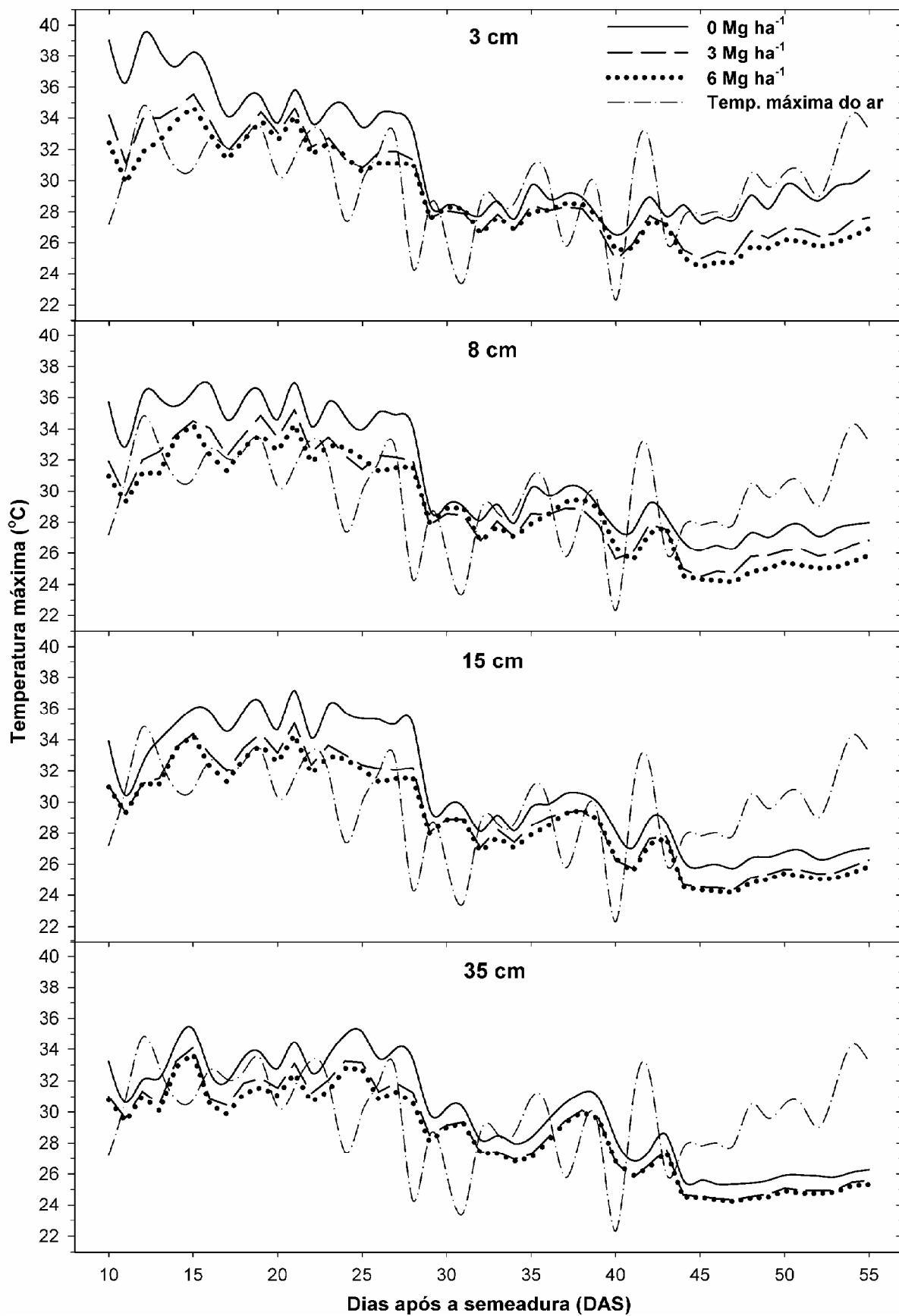


Figura 15 - Temperatura máxima diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas, durante o cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.

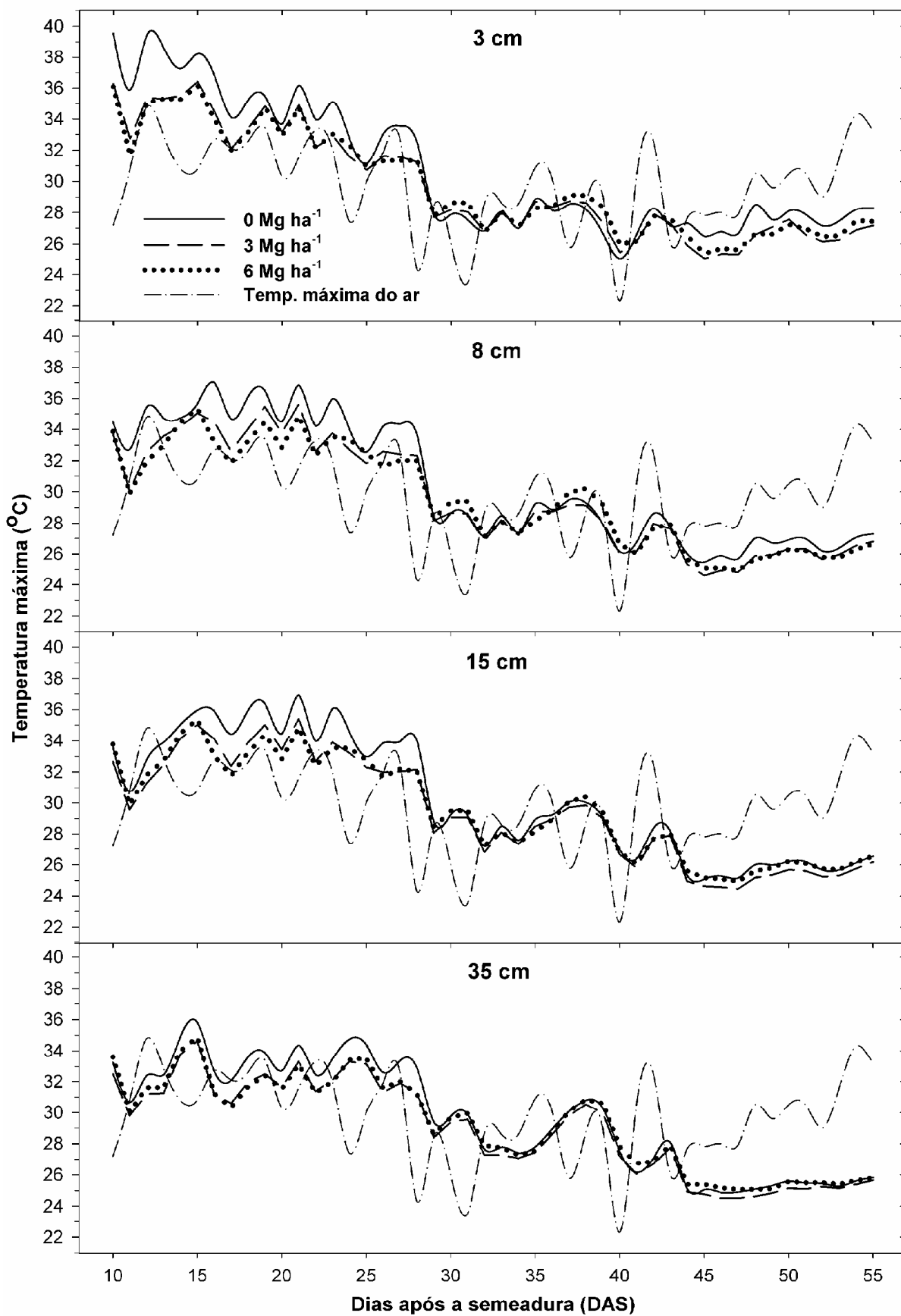


Figura 16 - Temperatura máxima diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas, durante o cultivo do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.

tratamentos de manejo de irrigação foram observadas apenas no último dia de avaliação (55 DAS) (Apêndice J).

Observou-se temperatura máxima de 39,4°C aos 12 DAS, na profundidade de 3 cm do solo sem cobertura vegetal, enquanto que, naquele mantido com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície, os valores máximos foram de 33,9 e 31,9°C, respectivamente. A utilização de 6 Mg ha⁻¹ de resíduos reduziu a temperatura máxima do solo em 7,5°C, representando em média 1,25°C de redução por Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal adicionado à superfície. Resultados semelhantes foram encontrados por Bragagnolo e Mielniczuk (1990), que observaram na temperatura máxima do solo uma redução de 0,6 a 1,1°C por Mg ha⁻¹ de massa seca depositada na sua superfície.

Em um solo descoberto, Marote; Vidor e Mendes (1990) observaram temperatura máxima de 38 °C e valores de 30°C, quando utilizaram cobertura morta sobre a superfície. Gasparin et al. (2005) verificaram temperaturas medidas a 2 cm de profundidade de um solo mantido sem cobertura superiores a 40°C e, para um solo mantido com cobertura de 4 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia, a temperatura máxima foi inferior a 31°C. Pezzopane et al. (1996) obtiveram redução de 9,5°C na temperatura máxima do solo, utilizando cobertura de 24 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais secos de café.

Os valores de temperatura máxima do solo medidos na profundidade de 8 cm apresentaram diferenças significativas entre as quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo (Apêndice K), em praticamente todo o período de avaliação. O manejo de irrigação não ocasionou diferença significativa na temperatura máxima na profundidade de 8 cm (Apêndice K).

A temperatura máxima do solo sem cobertura vegetal no manejo com irrigação na profundidade de 8 cm foi de 37,0°C aos 16 DAS, enquanto que, no solo com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície, o valor máximo observado foi de 34,5 e 33,2°C, respectivamente, ou seja, a utilização de 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície provocou uma redução de 3,8°C, representando em média 0,63°C de redução por Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal adicionado à superfície.

Trabalhando com resíduos vegetais de trigo como cobertura, Bragagnolo e Mielniczuk (1990) observaram que a diferença entre a temperatura do solo descoberto e a daquele mantido com cobertura morta é função do conteúdo de água no solo, sendo maior quanto maior a diferença de umidade deste.

A temperatura máxima do solo sem cobertura vegetal, nas profundidades de 8, 15 e 35 cm, manteve-se, na maioria dos dias, superior à temperatura máxima do solo com cobertura de resíduos vegetais de 3 e 6 Mg ha⁻¹; porém, essa diferença foi reduzida com o avanço do período de avaliação e com o aumento da profundidade considerada.

Na profundidade de 35 cm (figuras 15 e 16), a temperatura máxima do solo mantido com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície foi muito semelhante e em torno de 1°C inferior à do solo descoberto. Além disso, observou-se menor variação da temperatura máxima do solo nesta profundidade.

4.7 Temperatura mínima do solo

A temperatura mínima diária do solo em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo do manejo sem irrigação está apresentada na figura 17, e a do manejo com irrigação, na figura 18. Na maior parte do período de avaliação, os valores de temperatura mínima do solo nas profundidades de 3 e 8 cm foram superiores à temperatura mínima do ar, enquanto que a 15 cm foram semelhantes e a 35 cm foram inferiores àquela temperatura.

A temperatura mínima, na profundidade de 3 cm, apresenta diferenças significativas entre as quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e entre os manejos de irrigação, apenas em alguns poucos dias do período de avaliação, conforme apêndice L.

Reduções dos valores na profundidade de 3 cm, nos tratamentos sem irrigação, são evidenciados com a utilização de 3 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície do solo, até próximo dos 40 DAS. A utilização de 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais resultou em temperatura mínimas semelhantes às do solo sem resíduos vegetais na superfície. Após 40 DAS, as temperaturas mínimas nos diferentes tratamentos passaram a ser muito semelhantes, visto que o incremento do IAF da cultura no milho resulta em maior interceptação da radiação solar, evitando que esta atinja o solo e que as quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo

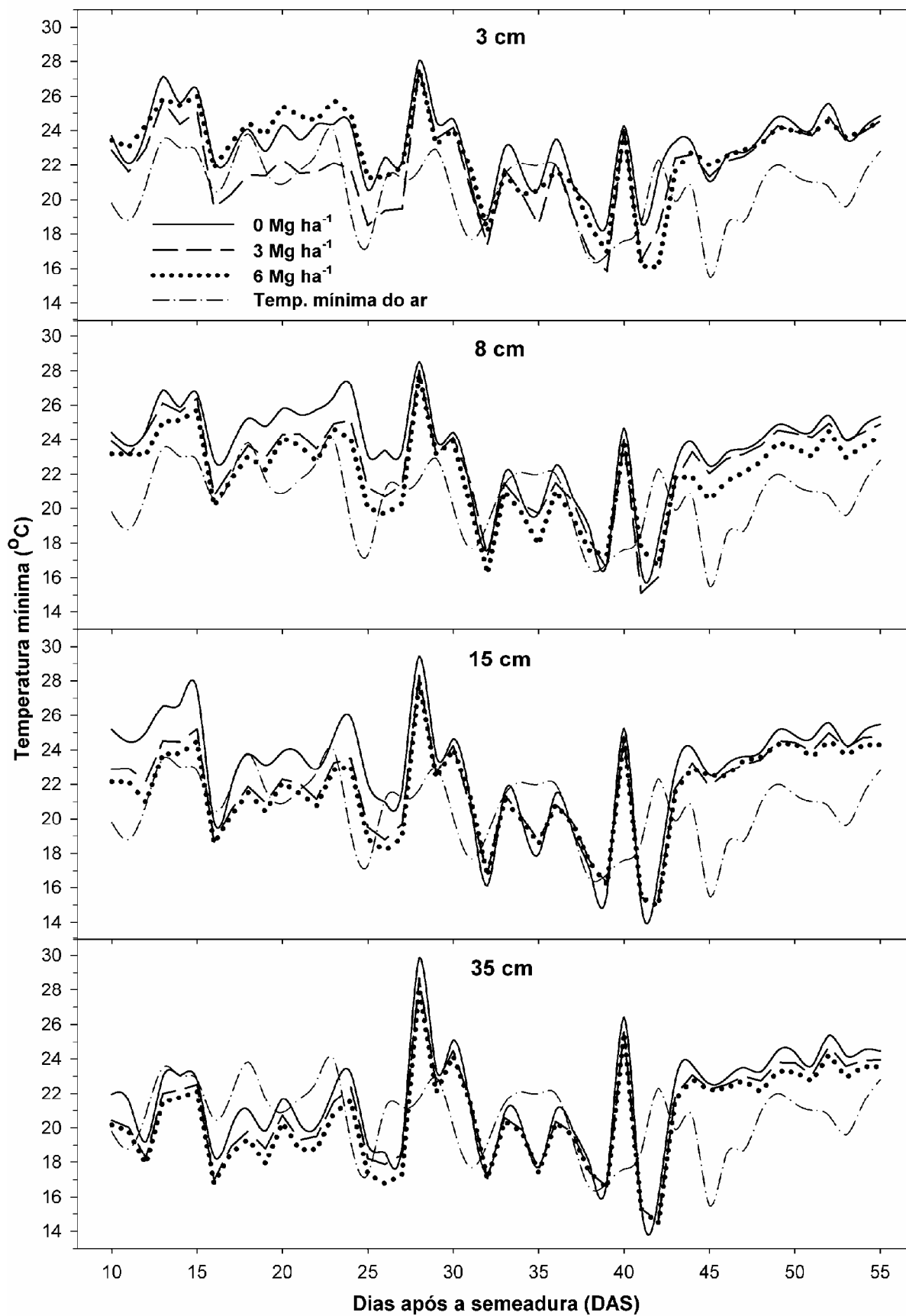


Figura 17 - Temperatura mínima diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas, durante o cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.

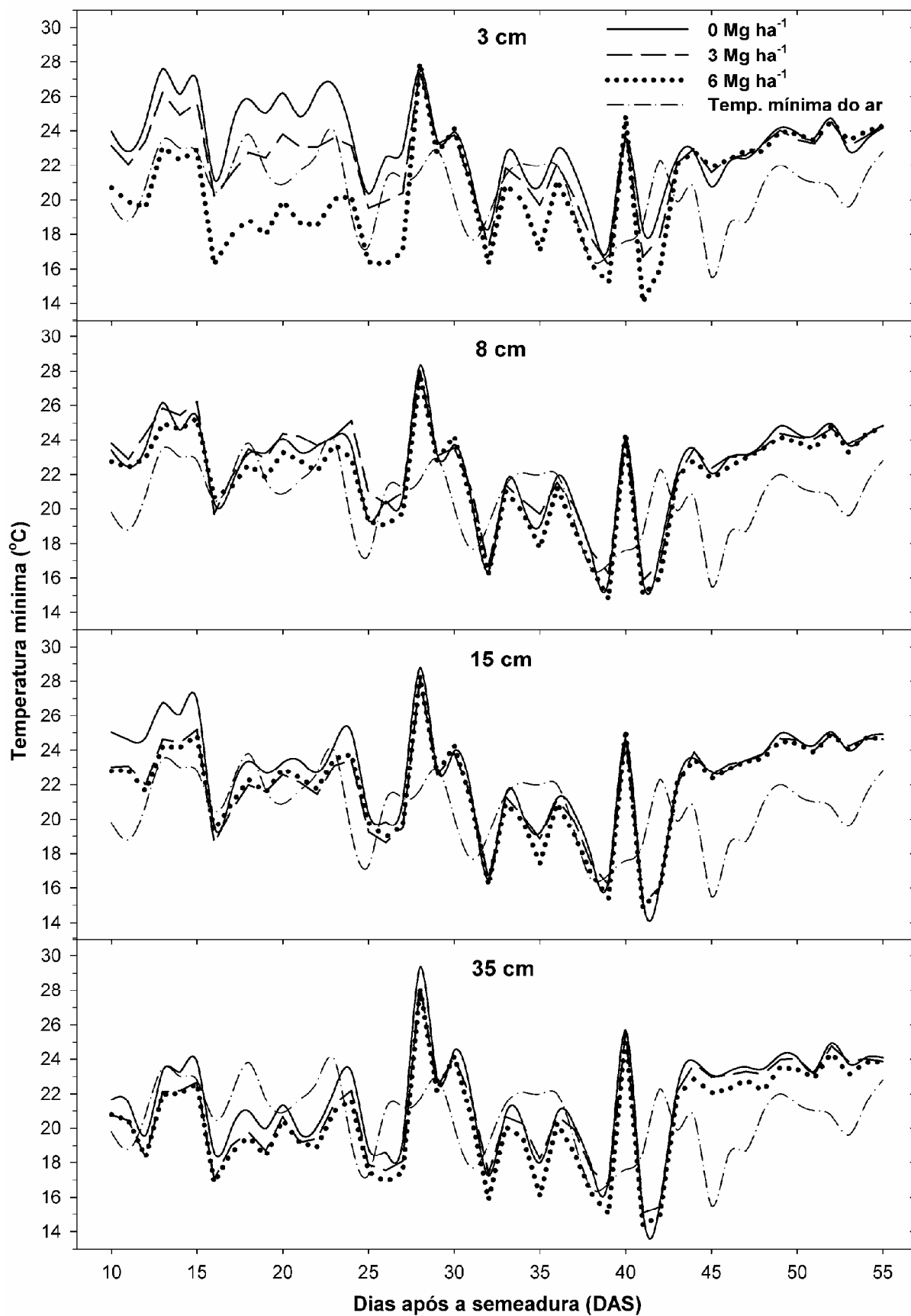


Figura 18 - Temperatura mínima diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas, durante o cultivo do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.

exercçam efeito no balanço de energia.

Trabalhando com diferentes preparos do solo na cultura do feijão, Silva et al. (2006) verificaram que, quando as plantas sombreiam completamente o solo, não há diferenças na sua temperatura entre diferentes sistemas de manejo.

Os menores valores de temperatura mínima do solo na profundidade de 3 cm, no manejo com irrigação, são observados até os 45 DAS, no solo mantido com 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície. A quantidade de 3 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais apresentou comportamento intermediário e, no solo sem cobertura, foram observados os maiores valores de temperatura mínima. Essa tendência permaneceu até em torno dos 45 DAS, quando as temperaturas mínimas passaram a ser idênticas entre as diferentes quantidades de resíduos vegetais na cobertura do solo.

Os valores na profundidade de 8 cm apresentam diferenças significativas entre as quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo e entre os regimes hídricos apenas em poucos dias do período de avaliação (Apêndice M).

A menor temperatura mínima do solo com 6 e 3 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície, observada na maior parte dos dias, nas quatro profundidades avaliadas, pode ser justificada pelo fato de, nestes tratamentos, o armazenamento de água ter sido superior ao do solo sem cobertura (Figuras 7 e 8). Grande parte da radiação líquida (energia) que chegava ao solo foi gasta no processo de aquecimento da água e de evaporação (fluxo de calor latente), restando pouca energia para o aquecimento do solo, enquanto que no solo seco, a radiação líquida é consumida praticamente toda pelo fluxo de calor sensível (ar) e pelo fluxo de calor no solo (PEZZOPANE et al. 1996).

4.8 Amplitude de temperatura do solo

A amplitude da temperatura diária observada durante a condução do experimento está apresentada nas figuras 19 e 20, sem e com irrigação, respectivamente. A amplitude de temperatura do solo apresenta semelhança com a amplitude de temperaturas do ar, especialmente nas profundidades de 3 e 8 cm.

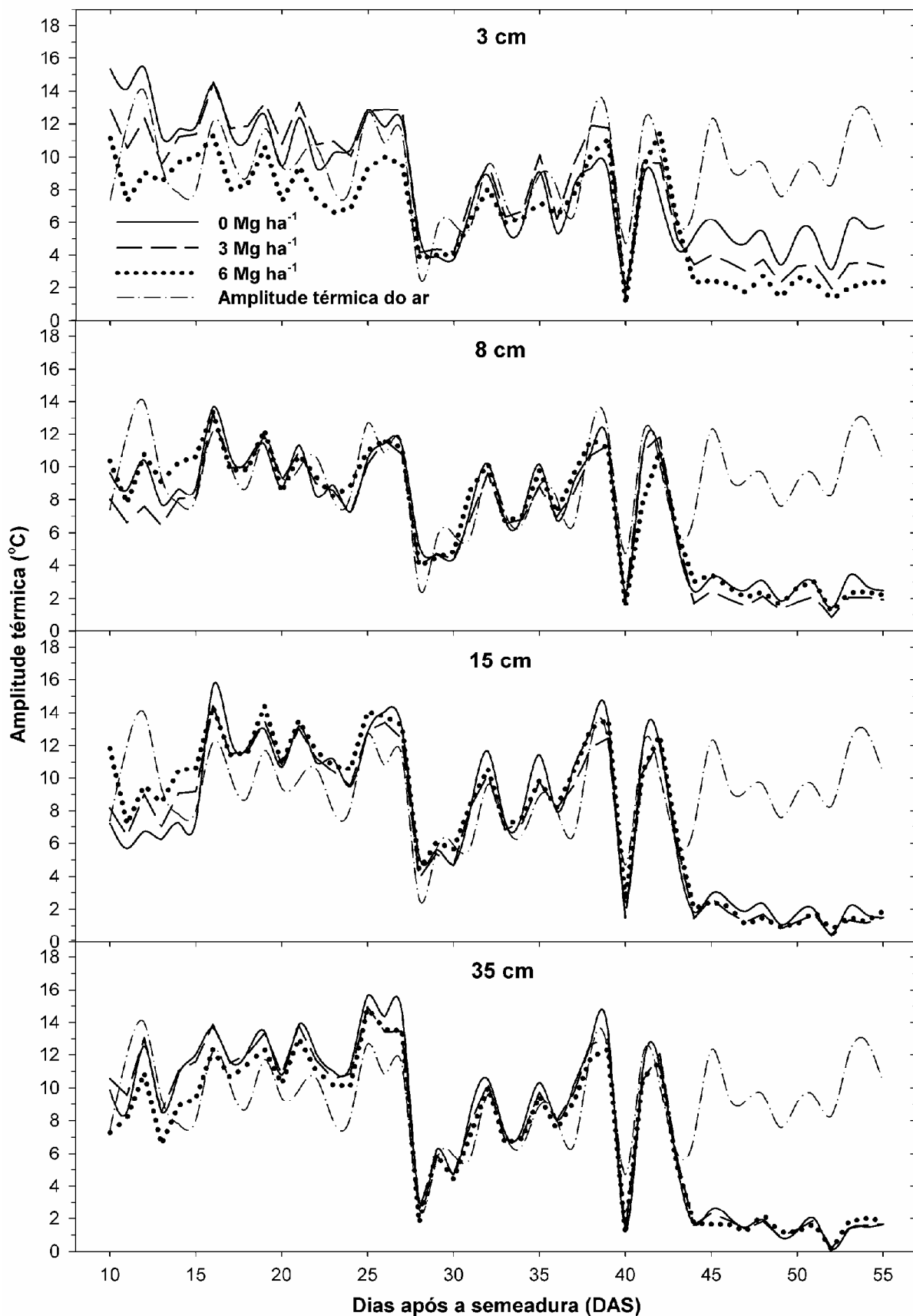


Figura 19 - Amplitude térmica diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas durante o cultivo do milho dos tratamentos sem irrigação. Santa Maria, 2010.

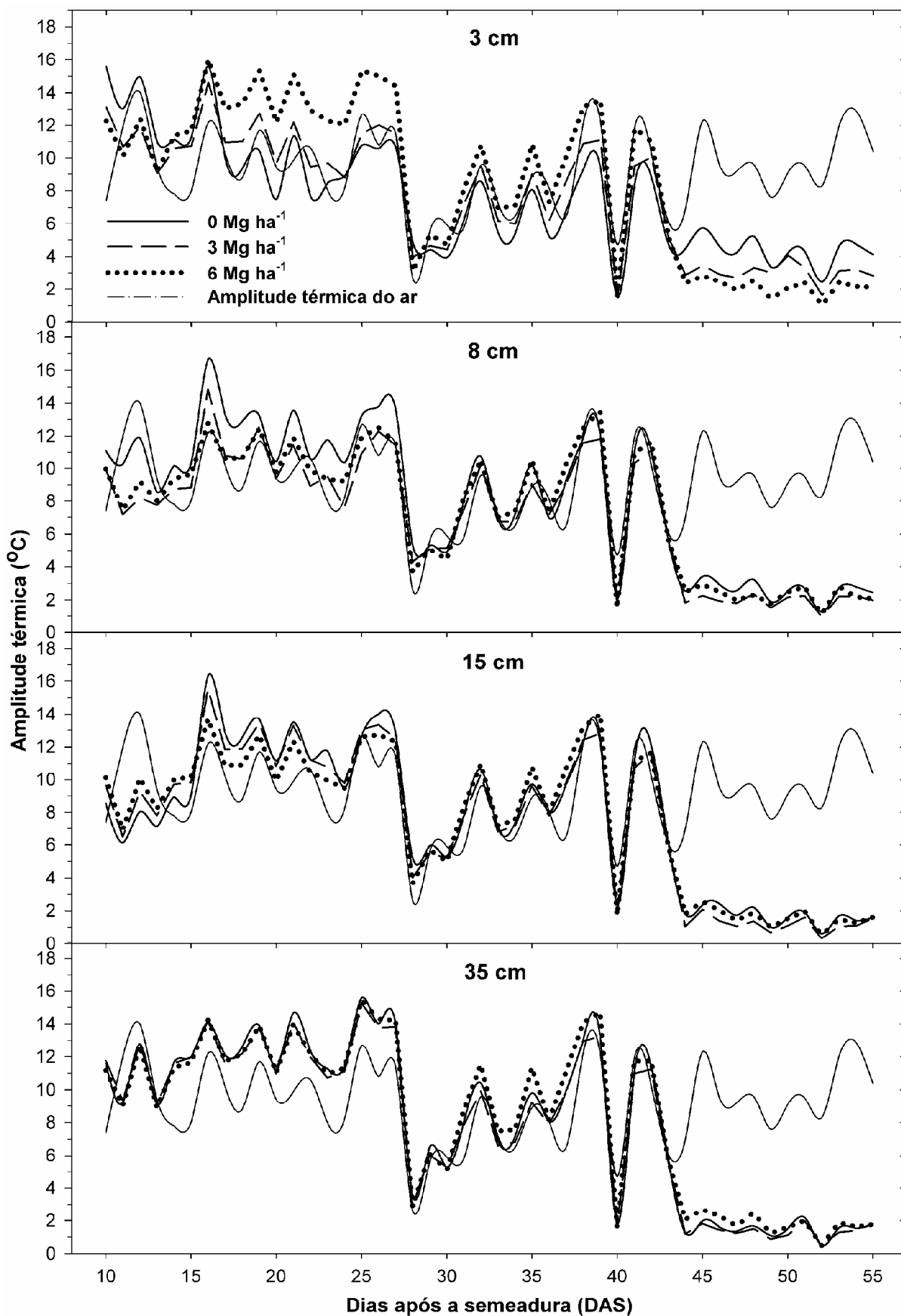


Figura 20 - Amplitude térmica diária do solo nas diferentes profundidades avaliadas durante o cultivo do milho dos tratamentos com irrigação. Santa Maria, 2010.

A amplitude de temperatura do solo na profundidade de 3 cm apresenta diferença ($P < 0,05$) entre as quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo (Apêndice N) em praticamente todo o período de avaliação. O manejo de irrigação promoveu diferenças significativas nesse item apenas nos dois últimos dias de avaliação (54 e 55 DAS) (Apêndice N).

A maior amplitude de temperatura observada no solo sem cobertura vegetal, na profundidade de 3 cm, no manejo sem irrigação, foi de $15,3^{\circ}\text{C}$ aos 12 DAS da cultura do milho, enquanto que, no solo com 3 e 6 Mg ha^{-1} , os valores foram de $12,3$ e $9,03^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Essa amplitude vai sendo reduzida com o avanço do período de avaliação, em função do crescimento das plantas de milho.

Amplitude térmica de 20°C , no solo sem cobertura, a 2 cm de profundidade, foi observada por Gasparin et al. (2005), enquanto que, para o solo com cobertura de 4 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais de aveia, o valor foi reduzido para menos de 10°C . Salton e Mielniczuck (1995) verificaram menor variação diária da temperatura do solo a 5 cm de profundidade para o plantio direto, quando comparado com o preparo convencional e preparo reduzido, em um Argissolo Vermelho Distrófico.

A maior amplitude de temperatura, na profundidade de 3 cm, sob o manejo com irrigação (Figura 17), foi observada no solo sem cobertura vegetal, chegando a 14°C , enquanto que, no solo mantido com 3 e 6 Mg ha^{-1} de resíduos, a amplitude foi em torno de 11°C . A partir dos 18 DAS, observou-se maior amplitude no solo mantido com 6 Mg ha^{-1} de resíduos vegetais, permanecendo até os 42 DAS, quando o solo sem cobertura passou a apresentar a maior amplitude de temperatura.

O fato de as maiores amplitudes de temperatura dos 18 aos 42 DAS serem observadas no solo com 6 Mg ha^{-1} resíduos vegetais em superfície pode ser atribuído às baixas temperaturas mínimas observadas neste tratamento, no período em questão (Figura 15). Trabalhando com a cultura do feijoeiro, Silva, Reichert e Reinert (2006) encontraram menor amplitude térmica no solo sob sistema plantio direto, comparado aos sistemas de plantio direto seguidos de aração ou escarificação.

A amplitude, na profundidade de 8 cm, apresenta diferenças significativas entre as quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e entre os regimes hídricos apenas em alguns poucos dias do período de avaliação (Apêndice O).

Nas profundidades de 8, 15 e 35 cm, as variações são pequenas entre as diferentes quantidades de resíduos em cobertura do solo, tornando-se mais

homogêneas com o aumento da profundidade e com o avanço do período de avaliação.

Em todas as profundidades avaliadas, percebe-se significativa redução da amplitude no final do período de avaliação, especialmente após 44 DAS, em função do crescimento das plantas de milho, que vão aumentando o sombreamento da superfície do solo e reduzindo as oscilações térmicas. As grandes variações na amplitude da temperatura do solo observadas entre 25 e 45 DAS podem ser atribuídas às freqüentes precipitações e seu elevado volume, causando variações na umidade do solo pela flutuação do nível do lençol freático.

4.9 Variação diária da temperatura do solo

O efeito das diferentes quantidades de resíduo vegetal na variação da temperatura do solo está apresentado na figura 21, onde se mostra a temperatura do solo nas diferentes profundidades avaliadas em dois dias de avaliação (48 horas), das 0h do dia 18 às 0h do dia 20 de dezembro de 2009. Os valores apresentados correspondem à média entre os tratamentos com e sem irrigação.

A temperatura do solo na profundidade de 3 cm apresenta variação significativa entre as quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo às 0 h e das 12h do dia 18h às 02h do dia 19, e das 12h do dia 19 às 0h do dia 20 de dezembro de 2009 (Apêndice P). Nessa profundidade, observou-se temperatura máxima de 38,6°C, no solo sem resíduos vegetais na superfície, enquanto que, no solo com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais, os valores máximo foram de 34,2 e 33,0°C, respectivamente, às 12:15h do dia 19 de dezembro. A utilização de 6 Mg ha⁻¹ ocasionou redução de mais de 7 °C na temperatura do solo em alguns horários. Pezzopane et al. (1996) observaram redução de 10,5 °C sob 28 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de café, na profundidade de 2 cm, comparado ao solo sem cobertura de resíduos vegetais.

Na profundidade de 8 cm, a temperatura apresenta variação significativa entre as quantidades de resíduo na superfície do solo das 0h às 4h do dia 18, das 16h do dia 18 às 04h do dia 19, e das 18h do dia 19 às 0h do dia 20 de dezembro de 2009.

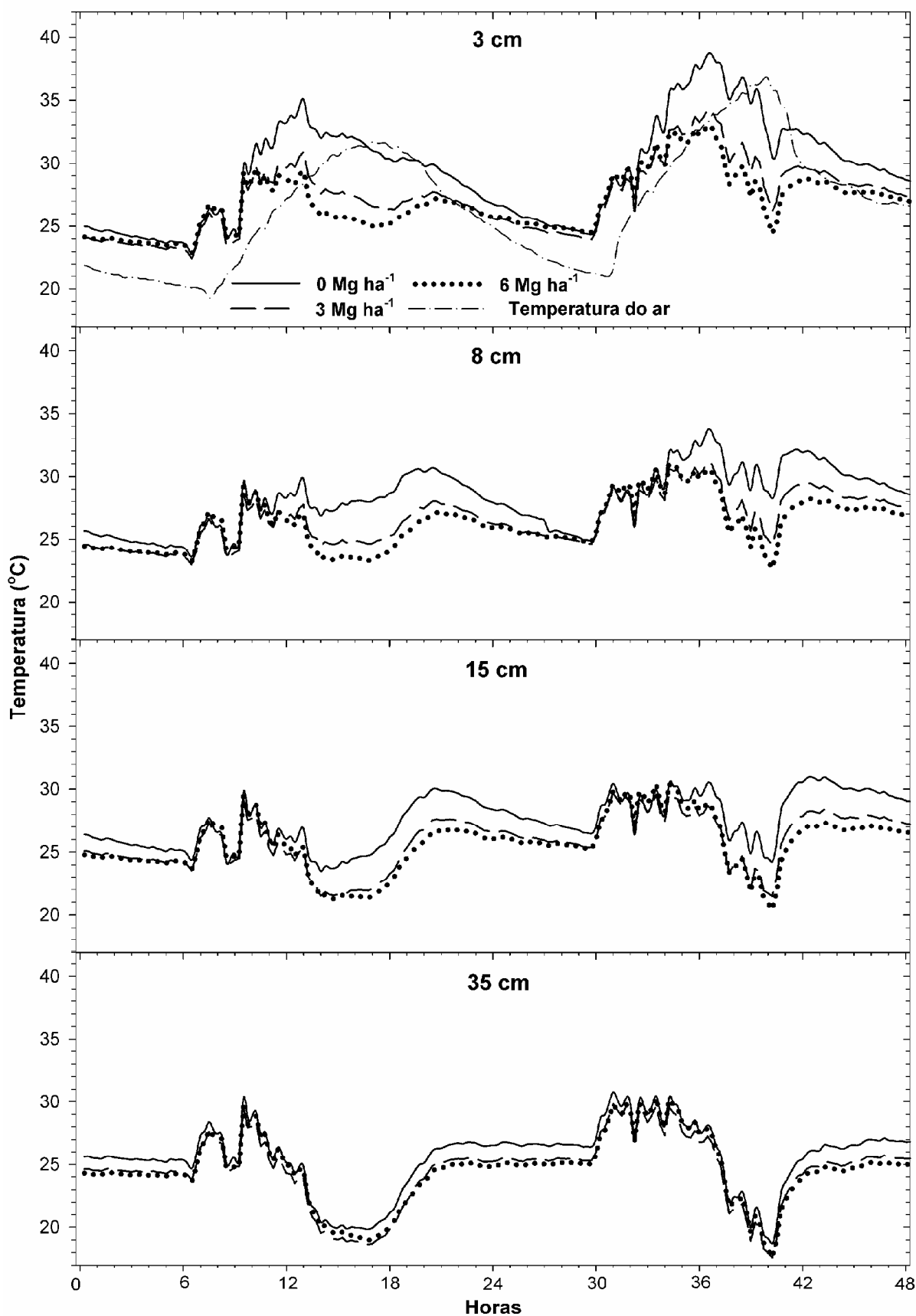


Figura 21 – Variação da temperatura do solo nas diferentes profundidades avaliadas nos dias 18 e 19 de dezembro (11 e 12 DAS). Santa Maria, 2010.

Observou-se temperatura máxima de 33,7 °C no solo sem resíduos vegetais na superfície, enquanto que, no solo com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos, os valores máximos foram de 31,2 e 30,6 °C, respectivamente, às 12:15h do dia 19 de dezembro. A utilização de 6 Mg ha⁻¹ ocasionou redução de mais de 4°C na temperatura do solo em alguns horários.

Nas profundidades de 15 e 35 cm, as oscilações são muito inferiores, e as diferenças na temperatura do solo entre as diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície são pequenas e em períodos muito curtos, comparadas às das profundidades de 3 e 8 cm.

4.10 Características morfológicas das plantas de milho

Na figura 22, são apresentados os resultados do IAF para os tratamentos com diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo e regimes hídricos.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas de milho podem, ao mesmo tempo, ser afetados pelos sistemas de manejo e afetar os processos que ocorrem nestes. No caso da disponibilidade hídrica no solo, o IAF, aliado à demanda evaporativa da atmosfera, determina a necessidade de água da cultura. Considerando que a água necessária às plantas é retirada do solo, o IAF interfere indiretamente na extração de água deste, determinando maior ou menor velocidade do processo, de acordo com sua evolução (DALMAGO, 2004).

Diferenças significativas nos valores do IAF das plantas de milho foram observados para as diferentes quantidades de resíduo (Apêndice O) apenas na avaliação realizada aos 17 DAS. Esse resultado pode ser atribuído ao maior armazenamento de água verificado nos tratamentos com resíduos vegetais na superfície do solo (Figuras 7 e 8), aumentando o crescimento inicial das plântulas de milho.

Os regimes hídricos causaram efeito significativo no IAF das plantas de milho nas primeiras cinco avaliações (Apêndice P), até os 35 DAS. Esse resultado pode ser atribuído às freqüentes chuvas nesse período e umedecimento desuniforme entre as parcelas experimentais, pois apenas duas irrigações haviam sido aplicadas (Figura 8).

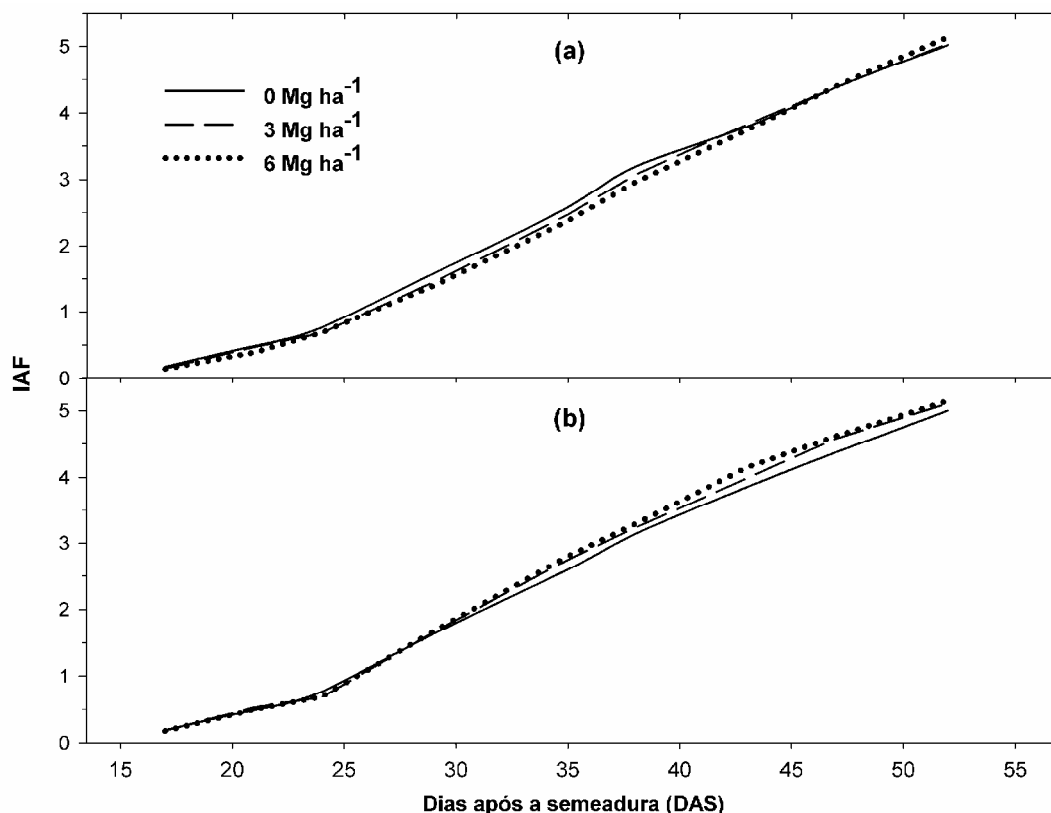


Figura 22 - Índice de área foliar (IAF) das plantas de milho cultivadas sem (a) e com (b) irrigação na segunda época de semeadura do milho. Santa Maria, 2010.

Observou-se IAF de aproximadamente 0,5 aos 21 DAS e de 5,0 aos 52 DAS, quando as plantas encontravam-se no estágio de início da floração. Andrade (2008) também não encontrou diferenças no IAF do milho cultivado sob plantio convencional e plantio direto. Esse autor relata valores em torno de 0,4 aos 20 DAS e máximo de 5,3 aos 62 DAS.

Os resultados do comprimento acumulado das folhas em função das diferentes quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo e dos manejos de irrigação são apresentados da figura 22. Não foram observadas diferenças significativas no comprimento acumulado em função das quantidades de resíduo na superfície do solo (Apêndice P). Os regimes hídricos causaram efeito significativo no comprimento acumulado das folhas apenas na primeira (17 DAS) e terceira (24 DAS) avaliações (Apêndice P).

Aos 21 DAS, observou-se comprimento acumulado das folhas das plantas de milho de aproximadamente 200 cm e, aos 50 DAS, de aproximadamente 950 cm. Zimmermann (2001) também não encontrou diferenças entre o comprimento encontrado sob plantio convencional e sob plantio direto, com 7,2 Mg ha⁻¹ de resíduo

vegetal na superfície do solo, relatando comprimento foliar acumulado em torno de 200 cm aos 20 DAS e máximo de 1400 cm aos 62 DAS.

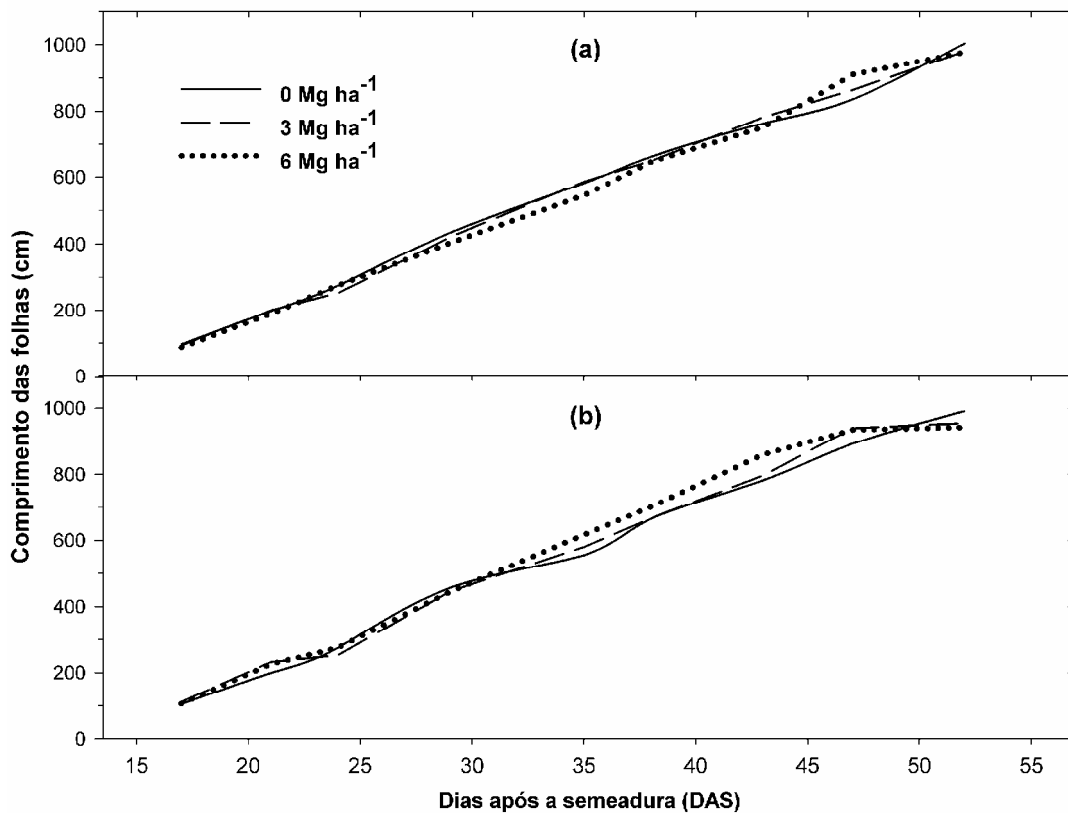


Figura 23 - Comprimento acumulado das folhas das plantas de milho cultivadas sem (a) e com (b) irrigação na segunda época de semeadura do milho. Santa Maria, 2010.

5 CONCLUSÕES

A utilização de 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia preta sobre a superfície do solo resultaram em maior armazenamento de água no solo, comparado ao solo sem cobertura vegetal, durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho, até os 48 dias após a semeadura (230 mm de evapotranspiração de referência acumulada).

As menores perdas acumuladas de água do solo na camada de 0 - 0,1 m foram observadas no solo mantido com 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais na superfície em relação ao solo descoberto, chegando a 50 % de redução aos 18 dias após a semeadura (100 mm de evapotranspiração de referência acumulada).

A utilização de 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia preta na superfície do solo não proporcionaram alterações fenométricas significativas nas plantas de milho durante o período de avaliação (55 dias após a semeadura).

As quantidades de 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia preta depositados sobre a superfície do solo diminuíram a temperatura máxima em até 7,5 °C e a amplitude térmica no solo em até 6,27°C.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: [s.n.], 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56).
- ANDRADE, J. G. de. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. Santa Maria, UFSM. 2008. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2008.
- ANDRADE, J. G. de et al. Perdas de agua por evaporacion em maiz con siembra convencional y directa para diferentes niveles de cobertura muerta. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE, 3., 2007, La Habana-Cuba. **Anais...** La Habana-Cuba, 2007a.
- ANDRADE, J. G. et al. Perdas de água por evaporação em milho com semeadura convencional e direta para diferentes níveis de cobertura morta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado, RS. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007b.
- BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um latossolo vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 35-43, 1999.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1992. p. 25-32.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.
- BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 949-956, 2001.
- 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.
- BUNCE, J. A. Nonstomatal inhibition of photosynthesis by water stress. Reduction of photosynthesis at high transpiration rate without stomatal closure in field grown tomato. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 18, n. 3, p. 357-362, 1988.
- BURIOL, G. A. et al. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, p. 89-97, 2006.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.

CARLESSO, R. et al. **Usos e benefícios da coleta automática de dados meteorológicos na agricultura**. Santa Maria: EDUFMS, 2007.

CARLESSO, R. Enrolamento e orientação de folhas de milho causada por déficits hídricos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p.171-176, 1997.

CARLESSO, R. et al. Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, n. 5, p. 15-23, 2000.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F. L. **Água no solo**: parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM, 2005.

CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, p. 1-16, 1991.

CHRISTOFIDIS, D. **Água**: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil. Brasília, DF: [s.n.], 2006.

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.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**: oitavo levantamento, safra 2007/08. Brasília : Conab, 2008.

CONCEIÇÃO, M. J. et al. Temperatura, umidade do solo e emergência de milho em diferentes sistemas de manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 13., 2000, Ilhéus-BA. **Anais...** Ilhéus-BA: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

CUNHA, G. R. da; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1992. p. 85-97.

DAL FORNO, C. **Comportamento morfo-fisiológico de plantas de milho submetidas a diferentes níveis de manejo de irrigação**. Santa Maria, UFSM, 1998. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, 1998.

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

DALMAGO, G. A. et al. Reflectância para a radiação fotossinteticamente ativa e fluxo de calor em solo sob plantio direto e preparo convencional. In: REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGÍA, 10.; REUNIÓN LATINOAMERICANA DE

AGROMETEOROLOGÍA, 4., 2004, Mar del Prata. **Anais...** Mar del Prata: FCEyN/UBA/INTA, 2004b.

DALMAGO, G. A. et al. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de semeadura direta e convencional de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBA : UFSM-UNIFRA, 2003.

DOURADO NETO, D.; LIER, Q. J. V.; BOTREL, T. A. Programa para confecção da água no solo usando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Campinas, v. 1, p. 93-101, 1990.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

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

EMYGDIO, B. M.; TEIXEIRA, M. C. C. (Orgs.). **Reunião Técnica Anual do Milho**: indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul - 2006/2007. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO, 51.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE SORGO, 34., Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo, RS: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 2006.

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

FREITAS, P. S. L. et al. Influência da cobertura de resíduos de culturas nas fases da evaporação direta da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 1, p. 104-111, 2006.

FREITAS, P. S. L. et al. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 8, n. 1, p. 85-91, 2004.

GAJRI, P. R; ARORA, V. K; CHAUDHARY, M. R.. Maize growth responses to deep tillage, straw mulching and farmyard manure in coarse textured soils of N.W. India. **Soil Use and Management**, n. 10, p. 15-20, 1994

GASPARIN, E. et al. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, n. 27, p. 107-115, 2005.

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.

GOLLAN, T.; PASSIOURA, J. B.; MUNNS, R. Soil water status affects stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, n. 1, p. 459-464, 1986.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. London: Academic Press, 1998.

HORNETZ, B.; SHISANYA, C. A.; GITONGA, N. M. Crop water relationships and thermal adaptation of kathika beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and green grams (*Vigna radiata* L. Wilczek) with special reference to temporal patterns of potential growth in the drylands of SE Kenya. **Journal Arid Environ**, n. 48, p. 591-601, 2001.

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: J. Wiley & Sons, 1985.

KELLING, C. R. S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. 1995. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1995.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

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, p. 1511-1520, nov. 2007.

LAL, R. Effect of constant and fluctuating soil temperature on the growth, development and nutrient uptake of maize seedings. **Plant Soil**, Amsterdam, v. 40, p. 589-606, 1974.

LETEY, J. Relationship between soil physical conditions and crop production. In: STEWART, B.A. (Ed.). **Advances in Soil Science** New York, Spring-Verlag, p. 277-293, 1985.

LEVIEN, R. **Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 1999. 305 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

LINDSWALL, C. W.; LARNEY, F.; CAREFOOT, J. M. Rotation, tillage end seeder effects on winter wheat performance and soil moisture regime. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n.1 p. 109-116, 1995.

MAROTE, C. G. B.; VIDOR, C.; MENDES, N. G. Alterações na temperatura do solo pela cobertura morta e irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 4, p. 81-84, 1990.

MATZENAUER, R. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 35-43, 2002.

MATZENAUER, R. et al. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.

MEDEIROS, S. L. P. et al. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 1-10, 1991.

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

OLIVEIRA, M. L. et al. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.

PETRY, M. T. et al. Avaliação do armazenamento de água no solo em função do limite superior de disponibilidade de água e da capacidade de campo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus, BA. **Anais...** Ilhéus-BA: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

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**, n. 31, p. 531-539, 2007.

PEZZOPANE, J. E. M. et al. Temperatura do solo em função da cobertura morta por palha de café. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p. 7-10, 1996.

PIRES, R. C. M. et al. Efeito de níveis de água, coberturas do solo e condições ambientais na temperatura do solo e no cultivo de morangueiro em ambiente protegido e a céu aberto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 663-674, 2004.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo** - com problemas resolvidos. Curitiba: [s.n.], 1996. 446 p.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 19, p. 313-319, 1995.

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, 1999.

SCHNEIDER, A. D. Rainfall Shelters. **Encyclopedia of Water Science**. New York: United States Department of Agriculture (USDA), 2003.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 181-184, 1986.

SILVA, L. D. J. Estágio de desenvolvimento e exigências da cultura da soja. UNIVAG. 2002. Disponível em: <<http://www.univag.com.br>>. Acesso em: 23 ago. 2009.

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.

SOARES, W. R. et al. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento (K_c ini) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 23-27, 2001.

SPOHR, R. B. et al. Escoamento superficial e infiltração de água no solo sob chuva simulada no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado, RS. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mülching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2, p. 131-142, 1994.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Artmet, 2004.

URCHEI, M. A. et al. Água e temperatura do solo. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema de plantio direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Dourados, MS: Embrapa-SPI, 1998.

VARADAN, K. M.; RAO, A. S. Effect of mulch on soil temperature in humid tropical latosols under coconut (*Cocos nucifera* Linn.) and banana (*Musa paradisiaca*). **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 28, n. 4, p. 375-386, 1983.

VIEIRA, S. R. et al. Umidade e temperatura da camada superficial do solo em função da cobertura morta por resteva de soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 219-224, 1991.

VILLWOCK, R.; TAVARES, M. H. F.; VILAS BOAS, M. A. calibração de um equipamento TDR em condições de campo. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 82-88, jan./abr. 2004.

ZIMMERMANN, F. L. **Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo**. Santa Maria, UFSM, 2001. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados do quadrado médio da análise da variância para o armazenamento de água no solo na camada de 0 - 0,1 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

ETo ac	DAS	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
2,86	0	96,99*	1,62 ^{ns}	0,95 ^{ns}	8,53	7,76
13,00	2	80,94*	4,12 ^{ns}	3,27 ^{ns}	8,91	7,93
19,80	4	130,94*	2,47 ^{ns}	1,60 ^{ns}	8,02	7,76
27,90	6	116,91*	2,82 ^{ns}	2,00 ^{ns}	8,78	7,88
39,60	8	134,43*	2,30 ^{ns}	0,24 ^{ns}	7,63	7,58
50,29	10	144,95*	1,47 ^{ns}	0,53 ^{ns}	7,42	7,71
63,00	12	157,99*	1,28 ^{ns}	0,23 ^{ns}	7,67	8,06
71,77	14	172,47*	1,56 ^{ns}	0,04 ^{ns}	8,00	8,31
82,45	16	185,68*	0,99 ^{ns}	0,14 ^{ns}	8,36	8,60
92,67	18	185,00*	1,03 ^{ns}	0,19 ^{ns}	8,22	8,67
103,04	20	68,23*	3,20 ^{ns}	8,87 ^{ns}	8,06	7,64
114,11	22	95,55*	1,12 ^{ns}	4,45 ^{ns}	8,03	8,05
126,41	24	88,18*	98,53*	6,88 ^{ns}	6,94	7,62
138,69	26	81,25*	83,70*	8,10 ^{ns}	8,44	9,10
145,89	28	83,11*	70,16*	8,84 ^{ns}	8,75	10,07
150,45	30	85,77*	222,22*	25,50 ^{ns}	10,47	9,41
158,97	32	79,15*	99,91*	26,27 ^{ns}	10,26	9,34
165,26	34	78,54*	85,71*	26,60 ^{ns}	13,10	10,43
174,59	36	82,73*	50,59*	25,94 ^{ns}	13,74	11,09
185,22	38	66,46*	90,93*	20,04 ^{ns}	14,15	11,80
192,70	40	56,77*	107,50*	18,86 ^{ns}	13,00	12,11
203,09	42	91,88*	71,73 ^{ns}	27,25 ^{ns}	19,61	13,99
210,54	44	105,53*	75,74 ^{ns}	23,31 ^{ns}	26,08	14,97
221,36	46	97,89*	33,68 ^{ns}	24,18 ^{ns}	21,25	14,29
231,17	48	86,49*	20,46 ^{ns}	21,20 ^{ns}	18,84	14,33
241,57	50	51,85 ^{ns}	230,96*	20,33 ^{ns}	23,56	15,96
250,36	52	43,81 ^{ns}	522,58*	13,62 ^{ns}	19,99	15,12
261,75	54	34,97 ^{ns}	696,00*	17,00 ^{ns}	18,04	15,01
266,76	55	31,81 ^{ns}	1153,82*	14,26 ^{ns}	17,72	14,83

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE B – Resultados do quadrado médio da análise da variância para o armazenamento de água no solo na camada de 0,1 - 0,25 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

ETo ac	DAS	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
2,86	0	39,44*	9,24 ^{ns}	1,76 ^{ns}	10,78	6,26
13,00	2	42,96*	9,97 ^{ns}	2,14 ^{ns}	12,44	6,85
19,80	4	58,64*	12,66 ^{ns}	1,55 ^{ns}	13,39	7,29
27,90	6	47,14*	9,53 ^{ns}	2,63 ^{ns}	9,38	5,75
39,60	8	46,12 ^{ns}	2,41 ^{ns}	1,18 ^{ns}	16,82	8,10
50,29	10	48,50 ^{ns}	0,51 ^{ns}	5,23 ^{ns}	23,46	9,92
63,00	12	54,25 ^{ns}	0,68 ^{ns}	5,88 ^{ns}	23,38	10,17
71,77	14	62,96 ^{ns}	0,22 ^{ns}	6,15 ^{ns}	24,09	10,48
82,45	16	92,56 ^{ns}	1,34 ^{ns}	11,90 ^{ns}	29,81	11,82
92,67	18	98,09 ^{ns}	1,78 ^{ns}	10,56 ^{ns}	30,41	12,02
103,04	20	125,64 ^{ns}	0,63 ^{ns}	9,50 ^{ns}	35,48	11,89
114,11	22	111,58 ^{ns}	0,13 ^{ns}	8,52 ^{ns}	33,06	11,73
126,41	24	103,99 ^{ns}	51,74 ^{ns}	7,54 ^{ns}	28,90	11,09
138,69	26	82,48 ^{ns}	56,71 ^{ns}	6,44 ^{ns}	28,28	11,44
145,89	28	77,05 ^{ns}	56,06 ^{ns}	6,27 ^{ns}	24,89	11,22
150,45	30	84,04 ^{ns}	56,03 ^{ns}	9,51 ^{ns}	22,66	9,10
158,97	32	73,77 ^{ns}	27,97 ^{ns}	5,55 ^{ns}	24,44	9,67
165,26	34	75,24 ^{ns}	24,48 ^{ns}	4,99 ^{ns}	24,24	9,55
174,59	36	69,39 ^{ns}	20,96 ^{ns}	4,86 ^{ns}	24,66	10,10
185,22	38	60,04 ^{ns}	44,62 ^{ns}	5,72 ^{ns}	23,72	10,35
192,70	40	54,98 ^{ns}	100,39 ^{ns}	4,17 ^{ns}	23,02	10,54
203,09	42	72,16 ^{ns}	37,54 ^{ns}	5,23 ^{ns}	52,80	10,35
210,54	44	49,74 ^{ns}	22,36 ^{ns}	1,99 ^{ns}	18,74	8,20
221,36	46	54,88 ^{ns}	13,36 ^{ns}	5,19 ^{ns}	22,64	9,81
231,17	48	48,78 ^{ns}	11,42 ^{ns}	7,75 ^{ns}	21,77	10,21
241,57	50	54,02 ^{ns}	164,12*	5,48 ^{ns}	26,77	11,59
250,36	52	49,02 ^{ns}	481,44*	4,98 ^{ns}	28,36	12,35
261,75	54	42,88 ^{ns}	868,87*	10,17 ^{ns}	31,30	13,65
266,76	55	37,05 ^{ns}	1447*	14,99 ^{ns}	32,85	14,18

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE C – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a perda diária de água no solo na camada de 0 - 0,1 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

ETo ac	DAS	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
2,86	0	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	54,72
13,00	2	1,04*	0,11 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,10	71,43
19,80	4	0,27*	0,12 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,05	36,62
27,90	6	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	0,00
39,60	8	0,07 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,19	78,81
50,29	10	0,22 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,09	56,86
63,00	12	0,24*	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01	25,92
71,77	14	0,03*	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00	99,80
82,45	16	0,24*	0,08 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,02	49,52
92,67	18	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,03	39,98
103,04	20	2,16*	0,39 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,38	68,67
114,11	22	0,29 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,18	50,40
126,41	24	0,21 ^{ns}	15,43*	0,12 ^{ns}	0,08	40,63
138,69	26	0,08 ^{ns}	3,11*	0,19 ^{ns}	0,27	36,90
145,89	28	0,09 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,10	35,44
150,45	30	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	0,00
158,97	32	0,08 ^{ns}	3,21*	0,47*	0,08	48,80
165,26	34	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	47,72
174,59	36	0,24 ^{ns}	2,52*	0,36 ^{ns}	0,21	48,42
185,22	38	0,53*	9,75*	0,16 ^{ns}	0,09	43,28
192,70	40	0,47 ^{ns}	14,35*	0,89 ^{ns}	0,39	42,39
203,09	42	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,05	42,07
210,54	44	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	0,00
221,36	46	0,07 ^{ns}	1,67*	0,20 ^{ns}	0,11	34,98
231,17	48	0,13 ^{ns}	0,36*	0,08 ^{ns}	0,06	26,42
241,57	50	0,47*	7,00*	0,12 ^{ns}	0,07	49,03
250,36	52	0,10 ^{ns}	5,86*	0,10 ^{ns}	0,03	40,06
261,75	54	0,44 ^{ns}	0,82*	0,64*	0,14	33,68
266,76	55	0,19*	12,58*	0,19*	0,04	32,75

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE D – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a perda diária de água no solo na camada de 0,1 - 0,25 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

ETo ac	DAS	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
2,86	0	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	54,72
13,00	2	0,05 ^{ns}	0,19*	0,03 ^{ns}	0,02	20,30
19,80	4	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01	21,91
27,90	6	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	303,57
39,60	8	0,30 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,99 ^{ns}	0,66	65,52
50,29	10	0,05 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,05	35,63
63,00	12	0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,04	35,25
71,77	14	0,04*	0,07*	0,00 ^{ns}	0,01	35,58
82,45	16	0,86 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,72	172,96
92,67	18	0,09*	0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01	61,80
103,04	20	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	0,00
114,11	22	0,31*	0,00 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,03	27,04
126,41	24	0,12 ^{ns}	10,51*	0,12 ^{ns}	0,13	63,10
138,69	26	0,02 ^{ns}	1,36*	0,43 ^{ns}	0,22	37,56
145,89	28	0,10 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,46	81,04
150,45	30	0,24 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,24	547,72
158,97	32	0,10 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,26	35,50
165,26	34	0,07 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,06	259,87
174,59	36	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,07	21,11
185,22	38	0,03 ^{ns}	4,52*	0,10 ^{ns}	0,08	27,98
192,70	40	0,06 ^{ns}	0,86*	0,06 ^{ns}	0,16	49,44
203,09	42	0,00 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,13	68,86
210,54	44	0,12 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,24	299,99
221,36	46	0,17*	0,00 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,05	11,69
231,17	48	0,06 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,05	16,33
241,57	50	0,01 ^{ns}	19,08*	0,01 ^{ns}	0,06	33,07
250,36	52	0,04 ^{ns}	14,46*	0,04 ^{ns}	0,05	32,24
261,75	54	0,11 ^{ns}	8,43*	0,11 ^{ns}	0,17	21,32
266,76	55	0,03 ^{ns}	37,47*	0,03 ^{ns}	0,10	28,14

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE E – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a perda acumulada de água no solo na camada de 0 - 0,1 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

ETo ac	DAS	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
2,86	0	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	54,72
13,00	2	0,32 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,18	70,40
19,80	4	8,25*	0,08 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,64	44,42
27,90	6	8,66*	0,04 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,59	42,22
39,60	8	14,14*	0,00 ^{ns}	2,17 ^{ns}	2,02	47,46
50,29	10	18,07*	0,10 ^{ns}	1,88 ^{ns}	3,80	47,36
63,00	12	23,38*	0,16 ^{ns}	2,32 ^{ns}	4,85	43,33
71,77	14	28,66*	0,10 ^{ns}	2,91 ^{ns}	4,89	40,72
82,45	16	34,11*	0,24 ^{ns}	2,97 ^{ns}	5,63	40,29
92,67	18	33,52*	0,27 ^{ns}	2,87 ^{ns}	6,03	37,89
103,04	20	20,44 [†]	1,29 ^{ns}	4,42 ^{ns}	6,68	37,94
114,11	22	35,27*	3,14 ^{ns}	14,44 ^{ns}	10,73	37,32
126,41	24	37,57 [†]	4,41 ^{ns}	19,96 ^{ns}	12,96	34,89
138,69	26	30,42 [†]	1,22 ^{ns}	33,97 ^{ns}	17,14	31,79
145,89	28	31,43*	0,10 ^{ns}	38,21 ^{ns}	20,12	28,80
150,45	30	31,43 ^{ns}	0,10 ^{ns}	38,21 ^{ns}	20,12	28,80
158,97	32	30,77 ^{ns}	4,15 ^{ns}	48,23 ^{ns}	19,68	27,25
165,26	34	32,11 ^{ns}	8,07 ^{ns}	52,36 ^{ns}	19,01	26,51
174,59	36	35,39 ^{ns}	23,44 ^{ns}	62,93 ^{ns}	21,86	26,33
185,22	38	26,50 ^{ns}	8,15 ^{ns}	67,28 ^{ns}	24,29	25,45
192,70	40	22,00 ^{ns}	10,20 ^{ns}	75,04 ^{ns}	29,97	25,23
203,09	42	22,62 ^{ns}	13,36 ^{ns}	80,25 ^{ns}	29,54	24,93
210,54	44	23,16 ^{ns}	15,17 ^{ns}	82,44 ^{ns}	29,23	24,75
221,36	46	21,47 ^{ns}	45,09 ^{ns}	91,92 ^{ns}	35,50	25,13
231,17	48	18,48 ^{ns}	63,91 ^{ns}	89,22 ^{ns}	40,88	24,89
241,57	50	13,90 ^{ns}	11,40 ^{ns}	94,04 ^{ns}	43,54	24,74
250,36	52	12,04 ^{ns}	19,42 ^{ns}	110,02 ^{ns}	52,17	24,82
261,75	54	15,22 ^{ns}	8,19 ^{ns}	136,85 ^{ns}	59,79	25,17
266,76	55	14,31 ^{ns}	0,46 ^{ns}	142,38 ^{ns}	60,06	24,70

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

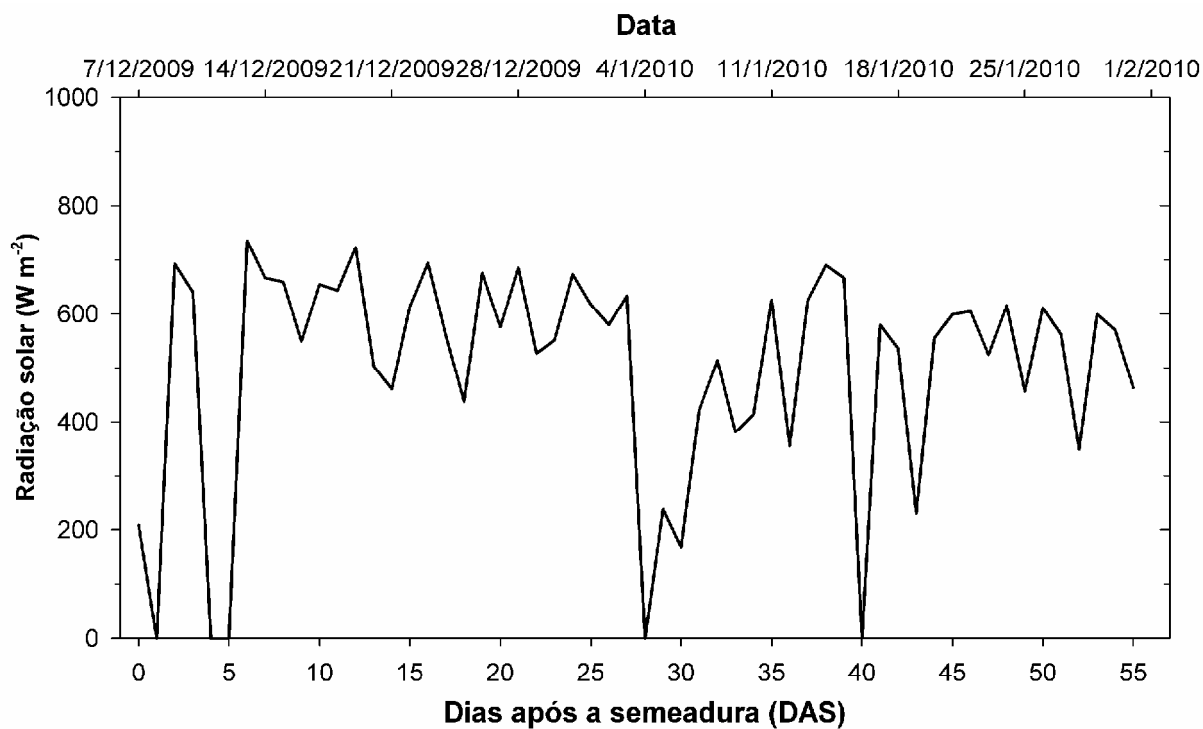
APÊNDICE F – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a perda acumulada de água no solo na camada de 0,1 - 0,25 m em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

ETo ac	DAS	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
2,86	0	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00	547,72
13,00	2	0,07 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,10	28,93
19,80	4	0,92*	0,85 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,25	20,78
27,90	6	0,98 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,29	21,93
39,60	8	1,93 ^{ns}	4,58 ^{ns}	4,67 ^{ns}	1,48	25,83
50,29	10	2,22 ^{ns}	5,60 ^{ns}	7,19 ^{ns}	2,69	26,24
63,00	12	3,75 ^{ns}	5,15 ^{ns}	7,20 ^{ns}	3,25	24,00
71,77	14	5,46 ^{ns}	3,45 ^{ns}	6,84 ^{ns}	3,84	23,75
82,45	16	11,38 ^{ns}	7,57 ^{ns}	13,56 ^{ns}	8,27	32,06
92,67	18	13,22 ^{ns}	9,40 ^{ns}	11,84 ^{ns}	8,53	31,31
103,04	20	13,22 ^{ns}	9,40 ^{ns}	11,84 ^{ns}	8,53	31,31
114,11	22	9,77 ^{ns}	10,45 ^{ns}	15,08 ^{ns}	9,49	29,56
126,41	24	11,55 ^{ns}	44,70*	17,20 ^{ns}	9,29	25,79
138,69	26	13,59 ^{ns}	63,36*	27,80 ^{ns}	8,87	21,38
145,89	28	15,77 ^{ns}	70,80*	41,93*	10,37	19,96
150,45	30	16,61 ^{ns}	79,64*	47,41*	11,81	21,18
158,97	32	20,36 ^{ns}	100,28*	69,59*	19,22	24,41
165,26	34	21,53 ^{ns}	102,30*	74,05*	21,30	25,51
174,59	36	19,16 ^{ns}	105,16 ^{ns}	85,47 ^{ns}	25,40	24,44
185,22	38	17,77 ^{ns}	153,18*	97,63*	28,38	23,33
192,70	40	17,05 ^{ns}	231,29*	101,22 ^{ns}	30,91	22,68
203,09	42	17,19 ^{ns}	208,82*	104,47 ^{ns}	33,19	23,00
210,54	44	19,46 ^{ns}	215,25*	109,86 ^{ns}	34,05	23,14
221,36	46	21,00 ^{ns}	246,24*	162,11*	42,97	22,16
231,17	48	19,14 ^{ns}	237,89*	178,48*	44,24	20,47
241,57	50	20,52 ^{ns}	522,75*	176,95*	44,65	19,64
250,36	52	19,42 ^{ns}	637,93*	181,43*	46,34	18,46
261,75	54	16,04 ^{ns}	981,43*	183,85*	48,54	17,63
266,76	55	16,79 ^{ns}	1402,61*	182,81*	49,93	17,39

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE G – Variação da radiação solar incidente no experimento. Santa Maria, 2010.



***OBS.:** Quando a radiação solar tem valor 0 o experimento permaneceu com a cobertura fechada durante todo o dia, em função da ocorrência de chuvas.

APÊNDICE H – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
10	17/12/2009	21,68*	0,29 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,65	4,80
12	19/12/2009	39,17*	1,24 ^{ns}	1,68 ^{ns}	2,33	5,30
14	21/12/2009	24,43*	0,81 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,63	4,42
16	23/12/2009	19,41*	1,11 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,76	4,64
18	25/12/2009	33,60*	1,38 ^{ns}	1,06 ^{ns}	2,83	5,82
20	27/12/2009	7,93 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,62 ^{ns}	2,66	5,66
22	29/12/2009	22,28*	1,22 ^{ns}	1,27 ^{ns}	2,75	5,69
24	31/12/2009	12,76 ^{ns}	9,81 ^{ns}	1,96 ^{ns}	4,52	7,32
26	02/01/2010	26,80*	5,40 ^{ns}	0,29 ^{ns}	2,73	6,03
28	04/01/2010	1,14 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,43	2,26
30	06/01/2010	0,06 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,18	1,58
32	08/01/2010	2,69 ^{ns}	2,14 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,82+	3,81
34	10/01/2010	0,51 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,25	1,96
36	12/01/2010	0,85 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,27	1,97
38	14/01/2010	2,46 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,09	4,20
40	16/01/2010	0,71 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,87 ^{ns}	0,57	3,04
42	18/01/2010	8,08*	1,01 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,32	2,34
44	20/01/2010	1,68*	0,27 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,43	2,72
46	22/01/2010	2,07*	0,53 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,38	2,58
48	24/01/2010	4,64*	0,44 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,26	2,08
50	26/01/2010	3,40*	0,87 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,35	2,34
52	28/01/2010	0,98*	1,51*	0,51*	0,14	1,52
54	30/01/2010	3,08*	2,21*	0,54 ^{ns}	0,17	1,65
55	31/01/2010	2,68*	1,98*	0,45 ^{ns}	0,14	1,49

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE I – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
10	17/12/2009	9,70*	1,91 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,91	5,29
12	19/12/2009	13,62*	1,15 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2,58	5,77
14	21/12/2009	8,63*	0,67 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,68	4,60
16	23/12/2009	11,55*	2,26 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,12	5,16
18	25/12/2009	15,99*	4,85 ^{ns}	0,00 ^{ns}	3,39	6,52
20	27/12/2009	3,70 ^{ns}	3,92 ^{ns}	0,07 ^{ns}	3,33	6,47
22	29/12/2009	11,72*	4,72 ^{ns}	0,03 ^{ns}	3,29	6,37
24	31/12/2009	13,91 ^{ns}	2,15 ^{ns}	0,65 ^{ns}	6,02	8,58
26	02/01/2010	18,62*	1,70 ^{ns}	0,83 ^{ns}	3,25	6,75
28	04/01/2010	3,76*	0,17 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,39	2,14
30	06/01/2010	0,25 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,13	1,35
32	08/01/2010	1,23 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,71	3,63
34	10/01/2010	0,44 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,20	1,78
36	12/01/2010	1,26*	0,00 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,26	1,94
38	14/01/2010	2,16 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,20	4,46
40	16/01/2010	0,43 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,40	2,54
42	18/01/2010	3,52*	0,07 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,23	2,02
44	20/01/2010	1,14 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,40	2,63
46	22/01/2010	1,47*	0,20 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,40	2,68
48	24/01/2010	1,47*	0,25 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,31	2,28
50	26/01/2010	0,72 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,31	2,23
52	28/01/2010	0,52*	0,00 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,11	1,37
54	30/01/2010	1,28*	0,00 ^{ns}	0,43*	0,10	1,28
55	31/01/2010	1,22*	0,02 ^{ns}	0,39*	0,08	1,16

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE J – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura máxima do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
10	17/12/2009	71,14*	32,90 ^{ns}	6,17 ^{ns}	11,82	9,48
12	19/12/2009	99,67*	17,80 ^{ns}	6,17 ^{ns}	10,40	9,00
14	21/12/2009	21,23*	3,96 ^{ns}	1,36 ^{ns}	5,18	6,39
16	23/12/2009	29,96*	2,66 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,59	2,21
18	25/12/2009	15,01*	0,72 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,20	1,34
20	27/12/2009	2,11*	0,17 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,24	1,48
22	29/12/2009	10,43*	0,50 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,19	1,37
24	31/12/2009	14,55*	1,22 ^{ns}	5,69*	0,76	2,70
26	02/01/2010	16,75*	1,38 ^{ns}	1,21*	0,33	1,79
28	04/01/2010	8,04*	0,26 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,44	2,11
30	06/01/2010	0,35 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,27	1,85
32	08/01/2010	1,30*	0,30 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,24	1,85
34	10/01/2010	0,36 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,20	1,67
36	12/01/2010	0,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,23	1,70
38	14/01/2010	0,39 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,55	2,59
40	16/01/2010	1,16 ^{ns}	0,13 ^{ns}	3,21*	0,59	3,02
42	18/01/2010	2,91*	0,00 ^{ns}	0,82*	0,16	1,44
44	20/01/2010	15,37*	0,37 ^{ns}	4,16 ^{ns}	0,79	3,37
46	22/01/2010	12,34*	0,00 ^{ns}	2,15 ^{ns}	0,87	3,61
48	24/01/2010	19,18*	0,02 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,67	3,01
50	26/01/2010	13,29*	0,00 ^{ns}	5,02*	1,30	4,13
52	28/01/2010	10,41*	1,01 ^{ns}	3,34*	0,28	1,99
54	30/01/2010	13,02*	0,93 ^{ns}	4,68*	0,36	2,19
55	31/01/2010	16,09*	4,35*	5,26*	0,44	2,39

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE K – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura máxima do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
10	17/12/2009	20,68 ^{ns}	10,29 ^{ns}	11,56 ^{ns}	10,78	9,82
12	19/12/2009	51,27*	0,35 ^{ns}	1,72 ^{ns}	4,54	6,42
14	21/12/2009	4,61 ^{ns}	0,59 ^{ns}	2,00 ^{ns}	3,24	5,25
16	23/12/2009	44,33*	2,01*	0,39 ^{ns}	0,42	1,89
18	25/12/2009	23,39*	0,92 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,25	1,48
20	27/12/2009	8,56*	0,19 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,17	1,26
22	29/12/2009	12,42*	0,40 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,26+	1,57
24	31/12/2009	9,48*	0,05 ^{ns}	1,39 ^{ns}	0,82	2,72
26	02/01/2010	26,61*	0,03 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,43	2,01
28	04/01/2010	12,81*	0,09 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,60	2,39
30	06/01/2010	0,66 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,33	2,00
32	08/01/2010	1,77*	0,23 ^{ns}	1,16*	0,27	1,92
34	10/01/2010	0,80*	0,00 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,23	1,77
36	12/01/2010	1,41*	0,02 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,29	1,90
38	14/01/2010	2,26*	0,01 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,62	2,67
40	16/01/2010	2,74*	0,45 ^{ns}	2,65*	0,63	3,02
42	18/01/2010	5,34*	0,00 ^{ns}	0,68*	0,15	1,40
44	20/01/2010	5,23*	0,38 ^{ns}	2,11*	0,42	2,57
46	22/01/2010	6,61*	0,09 ^{ns}	1,33*	0,32	2,26
48	24/01/2010	9,79*	0,34 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,31	2,14
50	26/01/2010	5,60*	0,07 ^{ns}	1,65*	0,30	2,09
52	28/01/2010	4,05*	0,06 ^{ns}	1,70*	0,18	1,66
54	30/01/2010	6,28*	0,01 ^{ns}	1,66*	0,27	1,96
55	31/01/2010	4,91*	0,00 ^{ns}	1,33*	0,21	1,74

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE L – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura mínima do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
10	17/12/2009	7,73*	4,01 ^{ns}	7,52*	2,09	6,31
12	19/12/2009	13,33*	11,86 ^{ns}	22,50*	4,12	8,78
14	21/12/2009	10,06*	3,72 ^{ns}	11,34*	2,25	6,05
16	23/12/2009	18,52 ^{ns}	30,08 ^{ns}	26,27 ^{ns}	18,75	21,41
18	25/12/2009	32,14 ^{ns}	4,90 ^{ns}	42,42 ^{ns}	16,73	17,86
20	27/12/2009	19,03 ^{ns}	3,54 ^{ns}	42,89 ^{ns}	18,92	18,37
22	29/12/2009	40,43 ^{ns}	5,64 ^{ns}	50,89 ^{ns}	24,30	21,37
24	31/12/2009	8,35 ^{ns}	12,54 ^{ns}	24,77 ^{ns}	23,09	20,86
26	02/01/2010	37,24 ^{ns}	16,50 ^{ns}	23,87 ^{ns}	17,44	20,56
28	04/01/2010	0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,37	2,20
30	06/01/2010	0,25 ^{ns}	0,93*	0,38 ^{ns}	0,20	1,87
32	08/01/2010	5,91 ^{ns}	5,41 ^{ns}	2,00 ^{ns}	3,89	11,13
34	10/01/2010	5,78 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,89	6,62
36	12/01/2010	8,69*	1,18 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,72	3,83
38	14/01/2010	12,32 ^{ns}	3,43 ^{ns}	6,02 ^{ns}	5,28	12,80
40	16/01/2010	0,91 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,44	2,75
42	18/01/2010	49,96*	5,03 ^{ns}	2,35 ^{ns}	3,72	10,60
44	20/01/2010	0,15 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,98	4,34
46	22/01/2010	0,03 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,83	4,09
48	24/01/2010	0,51 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,40	2,74
50	26/01/2010	0,43 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,32	2,37
52	28/01/2010	0,96*	1,13*	0,47 ^{ns}	0,16	1,63
54	30/01/2010	0,11 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,26	2,17
55	31/01/2010	0,02 ^{ns}	1,02*	0,15 ^{ns}	0,21	1,88

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE M – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura mínima do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
10	17/12/2009	2,85 ^{ns}	2,04 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,45	5,11
12	19/12/2009	5,01*	1,14 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,84	3,87
14	21/12/2009	1,00 ^{ns}	3,21 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,95	3,88
16	23/12/2009	5,24 ^{ns}	7,63 ^{ns}	5,55 ^{ns}	8,75	14,27
18	25/12/2009	4,94 ^{ns}	6,12 ^{ns}	2,46 ^{ns}	3,53	7,98
20	27/12/2009	3,94 ^{ns}	5,10 ^{ns}	2,03 ^{ns}	4,13	8,36
22	29/12/2009	12,61 ^{ns}	5,04 ^{ns}	3,43 ^{ns}	5,53	9,98
24	31/12/2009	10,75 ^{ns}	17,64 ^{ns}	8,00 ^{ns}	6,46	10,30
26	02/01/2010	16,15*	13,01 ^{ns}	4,95 ^{ns}	4,13	9,87
28	04/01/2010	1,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,42	2,31
30	06/01/2010	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,19	1,85
32	08/01/2010	1,69 ^{ns}	2,41 ^{ns}	0,85 ^{ns}	2,68	9,80
34	10/01/2010	1,15 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,26	5,58
36	12/01/2010	2,86*	0,11 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,48	3,22
38	14/01/2010	2,94 ^{ns}	6,85 ^{ns}	0,37 ^{ns}	5,57	13,26
40	16/01/2010	0,26 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,52	3,00
42	18/01/2010	7,02 ^{ns}	0,10 ^{ns}	1,74 ^{ns}	5,84	14,32
44	20/01/2010	4,18 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1,75	5,73
46	22/01/2010	3,42 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,60	5,58
48	24/01/2010	1,58 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,58	3,24
50	26/01/2010	1,70 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,59	3,19
52	28/01/2010	0,67*	0,15 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,17	1,66
54	30/01/2010	0,85 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,47	2,83
55	31/01/2010	0,90 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,28	2,16

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE N – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a amplitude de temperatura do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
10	17/12/2009	53,51*	9,45 ^{ns}	5,67 ^{ns}	9,22	23,18
12	19/12/2009	63,70*	10,84 ^{ns}	20,01 ^{ns}	8,08	22,78
14	21/12/2009	5,84 ^{ns}	2,61 ^{ns}	10,58 ^{ns}	3,35	17,03
16	23/12/2009	5,20 ^{ns}	30,68 ^{ns}	15,22 ^{ns}	15,92	27,73
18	25/12/2009	3,66 ^{ns}	5,40 ^{ns}	34,23 ^{ns}	16,23	37,20
20	27/12/2009	8,68 ^{ns}	3,18 ^{ns}	35,08 ^{ns}	19,63	46,81
22	29/12/2009	8,64 ^{ns}	6,56 ^{ns}	44,42 ^{ns}	23,65	51,01
24	31/12/2009	0,26 ^{ns}	5,18 ^{ns}	38,68 ^{ns}	21,09	48,39
26	02/01/2010	5,14 ^{ns}	7,62 ^{ns}	31,93 ^{ns}	17,72	34,98
28	04/01/2010	6,55*	0,63 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,35	14,46
30	06/01/2010	1,09*	0,46 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,31	13,24
32	08/01/2010	2,61 ^{ns}	3,08 ^{ns}	5,24 ^{ns}	3,72	20,78
34	10/01/2010	3,88 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,59	20,03
36	12/01/2010	7,06*	0,31 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,48	11,36
38	14/01/2010	16,77*	3,38 ^{ns}	11,03 ^{ns}	3,66	17,74
40	16/01/2010	0,35 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,39	38,24
42	18/01/2010	22,72*	1,63 ^{ns}	1,41 ^{ns}	3,02	17,95
44	20/01/2010	16,32*	1,09 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,74	25,00
46	22/01/2010	16,19*	0,74 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,08	29,91
48	24/01/2010	19,57*	0,32 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,58	20,07
50	26/01/2010	16,31*	0,35 ^{ns}	2,15 ^{ns}	1,94	38,97
52	28/01/2010	6,58*	1,50 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,39	32,62
54	30/01/2010	20,89*	2,43*	0,29 ^{ns}	0,36	16,43
55	31/01/2010	18,18*	5,47*	1,27 ^{ns}	0,49	20,28

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE O – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a amplitude de temperatura do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
10	17/12/2009	5,15 ^{ns}	18,04 ^{ns}	0,31 ^{ns}	10,18	33,35
12	19/12/2009	29,60*	9,61 ^{ns}	0,58 ^{ns}	3,92	21,52
14	21/12/2009	2,66 ^{ns}	9,83 ^{ns}	0,42 ^{ns}	2,36	17,35
16	23/12/2009	13,38 ^{ns}	16,08 ^{ns}	6,04 ^{ns}	9,64	22,15
18	25/12/2009	5,25 ^{ns}	9,40 ^{ns}	3,82 ^{ns}	3,72	17,87
20	27/12/2009	0,33 ^{ns}	7,04 ^{ns}	1,31 ^{ns}	4,51	22,65
22	29/12/2009	0,66 ^{ns}	8,28 ^{ns}	3,74 ^{ns}	5,57	25,48
24	31/12/2009	5,95 ^{ns}	19,39 ^{ns}	4,64 ^{ns}	5,29	27,89
26	02/01/2010	1,07 ^{ns}	11,56 ^{ns}	2,34 ^{ns}	3,56	15,41
28	04/01/2010	7,12*	0,23 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,60	17,99
30	06/01/2010	0,17 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,54	15,90
32	08/01/2010	1,09 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,26 ^{ns}	2,49	15,32
34	10/01/2010	0,82 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,99	14,07
36	12/01/2010	0,53 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,51	10,17
38	14/01/2010	6,54 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1,36 ^{ns}	7,10	22,74
40	16/01/2010	1,20 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,58	40,90
42	18/01/2010	3,08 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,77 ^{ns}	10,82	28,60
44	20/01/2010	7,63 ^{ns}	2,75 ^{ns}	3,88	2,61	62,43
46	22/01/2010	5,76 ^{ns}	2,98 ^{ns}	3,04 ^{ns}	2,30	54,88
48	24/01/2010	3,40 ^{ns}	2,52 ^{ns}	4,41 ^{ns}	2,69	56,10
50	26/01/2010	5,20 ^{ns}	2,31 ^{ns}	3,41 ^{ns}	3,91	74,11
52	28/01/2010	1,92 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,97	55,52
54	30/01/2010	0,99 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,39	25,50
55	31/01/2010	0,64 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,32	25,87

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE P – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a variação da temperatura do solo na profundidade de 3 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia/Hora	Palha	QM Erro	CV (%)
11	18/12/2009 00:00	2,46*	0,42	2,68
11	18/12/2009 02:00	1,26 ^{ns}	0,43	2,77
11	18/12/2009 04:00	0,68 ^{ns}	0,43	2,80
11	18/12/2009 06:00	0,50 ^{ns}	0,43	2,86
11	18/12/2009 08:00	3,43 ^{ns}	8,24	11,14
11	18/12/2009 10:00	11,75 ^{ns}	10,11	10,55
11	18/12/2009 12:00	66,23*	18,04	13,83
11	18/12/2009 14:00	106,0*	19,09	15,21
11	18/12/2009 16:00	111,48*	12,75	12,70
11	18/12/2009 18:00	67,88*	6,02	9,02
11	18/12/2009 20:00	24,58*	0,68	2,95
11	18/12/2009 22:00	8,64*	0,50	2,62
12	19/12/2009 00:00	18,67*	2,67	6,13
12	19/12/2009 02:00	2,13*	0,43	2,59
12	19/12/2009 04:00	0,92 ^{ns}	0,43	2,65
12	19/12/2009 06:00	0,81 ^{ns}	0,44	2,75
12	19/12/2009 08:00	2,49 ^{ns}	3,26	6,44
12	19/12/2009 10:00	15,23 ^{ns}	12,56	11,07
12	19/12/2009 12:00	62,40*	18,42	12,80
12	19/12/2009 14:00	111,04*	23,88	15,11
12	19/12/2009 16:00	134,59*	19,59	14,24
12	19/12/2009 18:00	47,40*	0,52	2,40
12	19/12/2009 20:00	23,47*	0,41	2,16
12	19/12/2009 22:00	13,15*	0,36	2,12
13	20/12/2009 00:00	8,38*	0,33	2,07

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE Q – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a variação da temperatura do solo na profundidade de 8 cm em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia/Hora	Palha	QM Erro	CV (%)
11	18/12/2009 00:00	4,94*	0,44	2,69
11	18/12/2009 02:00	2,98*	0,47	2,83
11	18/12/2009 04:00	2,13*	0,50	2,92
11	18/12/2009 06:00	1,39 ^{ns}	0,50	3,01
11	18/12/2009 08:00	4,16 ^{ns}	8,70	11,44
11	18/12/2009 10:00	1,60 ^{ns}	10,39	11,34
11	18/12/2009 12:00	7,39 ^{ns}	18,35	15,75
11	18/12/2009 14:00	25,61 ^{ns}	19,20	17,50
11	18/12/2009 16:00	47,56*	12,28	13,84
11	18/12/2009 18:00	50,19*	6,21	9,53
11	18/12/2009 20:00	39,46*	0,43	2,33
11	18/12/2009 22:00	20,27*	0,38	2,23
12	19/12/2009 00:00	10,76	2,56	6,17
12	19/12/2009 02:00	7,99*	0,39	2,40
12	19/12/2009 04:00	0,90*	0,19	1,76
12	19/12/2009 06:00	0,23 ^{ns}	0,19	1,79
12	19/12/2009 08:00	2,71 ^{ns}	2,94	6,12
12	19/12/2009 10:00	2,70 ^{ns}	12,20	11,57
12	19/12/2009 12:00	9,33 ^{ns}	18,75	14,33
12	19/12/2009 14:00	26,06 ^{ns}	24,18	17,37
12	19/12/2009 16:00	52,28 ^{ns}	19,70	16,19
12	19/12/2009 18:00	49,80*	0,29	1,83
12	19/12/2009 20:00	26,40*	0,13	1,24
12	19/12/2009 22:00	14,82*	0,17	1,46
13	20/12/2009 00:00	9,53*	0,13	1,30

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE R – Resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar das plantas de milho em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
17	24/12/2009	2982,64*	1135,46*	854,74 ^{ns}	644,28	10,48
21	28/12/2009	13300,53 ^{ns}	46629,13*	12925,86 ^{ns}	9972,20	14,63
24	31/12/2009	13786,32 ^{ns}	284607,67*	12260,32 ^{ns}	17893,43	12,01
29	05/01/2010	30376,00 ^{ns}	464207,30*	69492,73 ^{ns}	66291,46	11,50
35	11/01/2010	2719,06 ^{ns}	842359,30*	217804,43 ^{ns}	149836,90	10,43
38	14/01/2010	9358,82 ^{ns}	329386,40 ^{ns}	189276,80 ^{ns}	232125,39	10,71
43	19/01/2010	76946,05 ^{ns}	658033,47 ^{ns}	163697,76 ^{ns}	296001,36	9,79
47	23/01/2010	95979,11 ^{ns}	258992,20 ^{ns}	77563,03 ^{ns}	190914,29	6,86
52	28/01/2010	93406,92 ^{ns}	3481,29 ^{ns}	10158,67 ^{ns}	293548,19	7,47

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

APÊNDICE S – Resultados do quadrado médio da análise da variância para o comprimento acumulado das folhas das plantas de milho em função das diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo e sem e com irrigação. Santa Maria, 2010.

DAS	Dia	Palha	Irrigação	Interação	QM Erro	CV (%)
17	24/12/2009	95,16 ^{ns}	1664,61*	88,73 ^{ns}	58,12	7,63
21	28/12/2009	793,22 ^{ns}	4085,66 ^{ns}	915,75 ^{ns}	1828,52	20,64
24	31/12/2009	617,50 ^{ns}	9784,90*	624,01 ^{ns}	678,26	9,13
29	05/01/2010	1163,54 ^{ns}	6440,14 ^{ns}	248,15 ^{ns}	3565,42	13,76
35	11/01/2010	636,66 ^{ns}	1262,95 ^{ns}	6803,91 ^{ns}	3445,06	10,16
38	14/01/2010	648,90 ^{ns}	5031,07 ^{ns}	1791,10 ^{ns}	2646,40	7,73
43	19/01/2010	2695,35 ^{ns}	17241,62 ^{ns}	6994,49 ^{ns}	6049,72	9,87
47	23/01/2010	8834,00 ^{ns}	20423,25 ^{ns}	1687,13 ^{ns}	10862,96	11,63
52	28/01/2010	4112,07 ^{ns}	4500,65 ^{ns}	312,80 ^{ns}	9501,44	10,00

* Significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} Não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.