

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DA CONDIÇÃO HÍDRICA EM MILHO SOB
DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA, EM SEMEADURA DIRETA E
CONVENCIONAL**

Cleusa Adriane Menegassi Bianchi
Engenheira Agrônoma (UFSM)

Dissertação apresentada como um dos
requisitos à obtenção do Grau de
Mestre em Fitotecnia
Área de Concentração Agrometeorologia

Porto Alegre (RS), Brasil
Março de 2004

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Aldino e Miria pelo amor, dedicação e apoio incondicional em todos os momentos de minha vida. Ao meu irmão Luis agradeço simplesmente por compartilhar o sentimento de amor à agricultura.

Agradeço ao Fábio por todo o amor, compreensão, dedicação, afeto...

A CAPES pelo suporte financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela a oportunidade de realização do curso.

Ao professor João Ito Bergonci, que mostrou que orientar não é apenas ensinar a pesquisar, mas sim compartilhar conhecimentos para aprimorar o saber.

Ao professor Homero Bergamaschi, que me acolheu com muito carinho, agradeço a orientação e todos os ensinamentos transmitidos.

Aos professores Moacir Berlato e Denise Fontana pelo carinho recebido e por mostrarem que é possível conviver com outras pessoas em um ambiente descontraído de trabalho.

Ao colega Genei, quem eu considero um exemplo de pesquisador em sua essência e que sempre se mostrou disposto a ajudar durante toda a execução do trabalho.

As minhas queridas bolsistas de graduação Bruna e Flávia, pela disponibilidade em ajudar sempre que possível, na coleta e formatação dos dados.

Aos colegas e amigos Mandelli, Carlão, Gilberto, Júlio, Bernadete, Solange, Lucieta, Janice, Tatiane, Régis, Fabíola, Tatiana, Kátia e Caroline pelo sempre agradável e feliz convívio.

As minhas grandes amigas Tatiana, Nara, Ionara e Fabiane por também compartilharem comigo os obstáculos durante a realização deste curso.

Aos funcionários Celso e Carlos da Estação Experimental Agronômica pela ajuda prestada na realização do experimento.

A todos meus familiares e amigos que de uma forma ou outra estiveram presente nesta etapa da minha vida, obrigada.

E por fim, agradeço a Deus simplesmente pela minha existência.

AVALIAÇÃO DE INDICADORES DA CONDIÇÃO HÍDRICA EM MILHO SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA, EM SEMEADURA DIRETA E CONVENCIONAL¹

Autor: Cleusa Adriane Menegassi Bianchi

Orientador: Dr. João Ito Bergonci

Co-orientador: Dr. Homero Bergamaschi

SINOPSE

O déficit hídrico atinge freqüentemente a cultura de milho cultivada no período de primavera-verão. A utilização do sistema de semeadura direta pode ser uma tecnologia importante para minimizar os efeitos do déficit hídrico, por disponibilizar mais água às plantas. O trabalho teve como objetivo estudar indicadores da condição hídrica das plantas de milho cultivadas sob sistema de semeadura direta (SD) e convencional (SC). Desenvolveu-se um experimento numa área de aproximadamente 0,5 ha, metade cultivada em SD e metade em SC. Na divisão entre os sistemas foi posta a linha dos aspersores que possibilitou a disposição de níveis de água: máxima irrigação (I2), 41% da capacidade de campo (I1) e sem irrigação (I0). Mediu-se o potencial matricial da água no solo e os indicadores da condição hídrica da planta: potencial mínimo da água na folha, potencial de pressão, potencial osmótico hidratado e não hidratado, ajuste osmótico e condutância foliar máxima e mínima. Observou-se maiores valores de potencial mínimo de água na folha em plantas cultivadas sob SD, em razão do maior potencial matricial da água no solo neste sistema. O potencial de pressão e o osmótico hidratado diminuíram em razão do déficit hídrico, o que determinou a ocorrência de ajuste osmótico em ambos os sistemas, sendo este mais intenso em SC. A condutância foliar relacionou-se exponencialmente com o potencial mínimo da água na folha. Tanto o potencial mínimo da água na folha quanto a condutância foliar apresentaram sensibilidade ao déficit hídrico, podendo ser utilizados como indicadores da condição hídrica das plantas de milho em ambos os sistemas de manejo.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (95 p) Março, 2004.

EVALUATION OF WATER STATUS INDICATORS IN MAIZE UNDER DIFFERENT LEVELS OF WATER SUPPLY, IN NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE.¹

Author: Cleusa Adriane Menegassi Bianchi

Advisor: Dr. João Ito Bergonci

Co-Advisor: Dr. Homero Bergamaschi

ABSTRACT

Water deficit affects frequently the maize crop cultivated during the spring-summer period. The use of the no till cropping system could be an important technology to minimize the effects of the water deficit, by good water supply to the plants. The objectives of this study were to identify indicators of plant water status grown on no till (SD) or conventional tilled systems (SC). An experiment was carried out on an area of 0.5 ha, approximately, using the no till system in one half of the area and the conventional (tilled) system on the other half. Dividing the two systems, an irrigation line was installed to provide the different levels of water: Field capacity (I2), 41% of Field capacity (I1), and no irrigation (I0). Measurements of soil water potential and the indicators of plant water status: minimum leaf water potential, pressure potential, osmotic potential, and full turgor osmotic potential and maximal and minimal leaf conductance were measured. Higher values of minimum leaf water potential were found on plants under SD, as a response to the higher soil potential on this cropping system. The pressure potential and the full turgor osmotic potential were reduced as a response to the water deficit, resulting on an osmotic adjustment on both systems, however with higher intensity on the SC system. Leaf conductance was exponentially related to minimum leaf water. Both minimum leaf water potential and leaf conductance showed sensitivity to water deficit, which makes them good indicators of plant water status on maize under both cropping system.

¹ Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (95 p) Março, 2004

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Estresse.....	4
2.2. Estresse por déficit hídrico.....	6
2.3. Indicadores da condição hídrica das plantas.....	9
2.3.1. Potencial da água na folha.....	9
2.3.2. Condutância foliar.....	12
2.3.3. Ajuste osmótico.....	14
2.4. Potencial matricial da água no solo.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Caracterização climática do local.....	19
3.2. Solo.....	20
3.3. Manejo da área experimental e da cultura.....	20
3.4. Controle de insetos e plantas daninhas.....	21
3.5. Delineamento experimental.....	21
3.6. Sistema de irrigação.....	22
3.7. Determinações.....	23
3.7.1. Crescimento, desenvolvimento e rendimento	23
3.7.2. Potencial matricial da água no solo.....	24
3.7.3. Indicadores da condição hídrica das plantas.....	25
3.7.3.1. Potencial mínimo da água na folha, potencial osmótico e potencial de pressão.....	25
3.7.3.2. Condutância foliar.....	27
3.7.4. Balanço hídrico.....	27
3.7.5. Dados meteorológicos.....	28
3.7.6. Análise dos dados.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1. Condições meteorológicas do período experimental.....	29
4.2. Balanço hídrico da cultura.....	33
4.3. Potencial matricial da água no solo.....	36
4.4. Indicadores da condição hídrica das plantas.....	42

	Página
4.4.1. Potencial mínimo da água na folha.....	42
4.4.2. Potencial de pressão.....	48
4.4.3. Potencial osmótico.....	51
4.4.4. Ajuste osmótico.....	53
4.4.5. Condutância foliar.....	55
4.4.5.1. Condutância foliar máxima.....	55
4.4.5.2. Condutância foliar mínima.....	60
4.5. Relações entre indicadores	62
5. CONCLUSÕES.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
7. APÊNDICE.....	76

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Coeficientes a , b e x_0 , para cada sistema e nível de água, utilizados na obtenção do IAF.....	23

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Representação do Delineamento experimental, com distribuição dos tratamentos e posição dos aspersores. Eldorado do Sul, RS, 2002/03. Os símbolos SD e SC indicam os sistemas de manejo (semeadura direta e convencional) e I2, I1 e I0 os níveis de água.....	22
2. Precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (ET _o) em relação a dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	31
3. Balanço hídrico diário (excessos e déficits) e razão entre a evapotranspiração real/evapotranspiração máxima (ETR/ET _m) diárias na cultura do milho em semeadura direta (SD) e convencional (SC), sob diferentes níveis de água (I0, I1 e I2), em função de dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	35
4. Potencial matricial da água no solo (ψ_s) a 45 e 60 cm de profundidade em semeadura direta (SD) e convencional (SC), sem irrigação (I0), no período dos 15 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	36
5. Potencial matricial da água no solo (ψ_s) a 45 e 60 cm de profundidade em semeadura direta (SD) e convencional (SC), com irrigação intermediária (I1), no período dos 15 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	38
6. Potencial matricial da água no solo (ψ_s) a 45 e 60 cm de profundidade em semeadura direta (SD) e convencional (SC), com máxima irrigação (I2), no período dos 15 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	40

7. Potencial mínimo da água na folha (ψ_{\min}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC), sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	44
8. Potencial mínimo da água na folha (ψ_{\min}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC), com irrigação intermediária (I1), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	45
9. Potencial mínimo da água na folha (ψ_{\min}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com máxima irrigação (I2), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	47
10. Potencial de pressão (ψ_p) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	49
11. Potencial de pressão (ψ_p) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com máxima irrigação (I2), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	50
12. Potencial osmótico hidratado (ψ_{oh}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	51
13. Potencial osmótico hidratado (ψ_{oh}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com máxima irrigação (I2), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	52
14. Ajuste osmótico (AO) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC), no período dos 44 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	54
15. Condutância foliar máxima (g_{\max}) de milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com irrigação (I2), irrigação em nível intermediário (I1) e sem irrigação (I0), no período de 42 a 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	55

	Página
16. Condutância foliar mínima (g_{\min}) de milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com irrigação (I2), irrigação em nível intermediário (I1) e sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	61
17. Relação entre o potencial mínimo da água na folha (ψ_{\min}) e a condutância foliar mínima (g_{\min}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com irrigação (I2), irrigação no nível intermediário (I1) e sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). Eldorado do Sul, RS.....	63
18. Relação entre o potencial mínimo da água na folha (ψ_{\min}) e a condutância foliar máxima (g_{\max}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com irrigação (I2), irrigação no nível intermediário (I1) e sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). Eldorado do Sul, RS.....	65

APÊNDICES

	Página
1. Laudo da análise de solo EEA/UFRGS, em dois sistemas de manejo semeadura direta (SD) e semeadura convencional (SC) em três profundidades de amostragem (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20cm). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, outubro de 2002.....	77
2. Datas das irrigações realizadas e quantidade de água aplicada no tratamento com máxima irrigação (I2), de janeiro a fevereiro de 2003. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	78
3. Estádios fenológicos da cultura do milho, adaptado de Hanways (1963), data de amostragem e dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/2003.....	79
4. Rendimento de grãos de milho, híbrido Pioneer 32R21, em função dos sistemas de manejo de semeadura direta (SD) e convencional (SC) e dos níveis de água: sem irrigação (I0), 41 % da capacidade de campo (I1) e próximo a capacidade de campo (I2). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/2003.....	80
5. Médias diárias de temperatura do ar, precipitação pluvial, umidade relativa (UR), evapotranspiração de referência (ET _o), velocidade do vento, radiação solar global (R _g) e déficit de saturação do ar (DSA), observadas nos dias de medições dos indicadores da condição hídrica das plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	81
6. Temperatura do ar, precipitação pluvial, radiação solar global (R _g) e evapotranspiração de referência (ET _o) decenal observadas no período experimental e médias climatológicas do período de 1970 a 2000. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	82

	Página
7. Radiação solar global e umidade relativa e temperatura do ar observadas a 42 (a), 44 (b), 46 (c), 58 (d), 64 (e), 78 (f) e 88 (g) dias após emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002,03...	83
8. Velocidade do vento observada a 42 (a), 44 (b), 46 (c), 58 (d), 64 (e), 78 (f) e 88 (g) dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.....	85
9. Análise da variância para potencial mínimo da água na folha de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	86
10. Potencial mínimo da água na folha de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	87
11. Potencial mínimo da água na folha de milho, em diferentes níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	87
12. Análise da variância para potencial de pressão de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	88
13. Potencial de pressão de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	89
14. Análise da variância para potencial osmótico hidratado de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	90
15. Potencial osmótico hidratado de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	91
16. Análise da variância para condutância foliar máxima da folha de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	92
17. Condutância foliar máxima de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	93

	Página
18. Análise da variância para condutância foliar mínima de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	94
19. Condutância foliar mínima de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.....	95

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura de grande importância sócio-econômica para o Estado do Rio Grande do Sul, principalmente por ser produzido em pequenas e médias propriedades, proporcionando a principal fonte de renda a esse segmento de produtores rurais. Mas seu rendimento é extremamente dependente da condição hídrica durante o desenvolvimento, principalmente no período de pendoamento-espigamento.

O estresse abiótico provocado pela falta de água afeta seriamente o desenvolvimento e o rendimento das culturas de primavera-verão no Estado. Portanto, condições limitantes, como o déficit hídrico, interferem nos processos fisiológicos das plantas, afetando o acúmulo de matéria seca e o rendimento final da cultura.

Com o intuito de se evitar perdas de solo e insumos agrícolas, como a água por exemplo, o setor agrícola passou a adotar o sistema de manejo de semeadura direta. Esta prática, além de outras vantagens, permite a reestruturação do solo e a redução do escoamento superficial, facilitando a taxa

de infiltração de água, ocasionando, assim, maior disponibilidade de água às plantas.

Para o caso do milho, que tem um período crítico para falta de água bem estabelecido (pendoamento-espigamento), um aporte na quantidade de água armazenada no solo pode-se tornar o fator determinante do rendimento da cultura.

A ação do déficit hídrico, juntamente com os sistemas de manejo utilizados, podem alterar o comportamento de vários parâmetros fisiológicos, destacando-se o potencial da água na folha e seus componentes e a condutância foliar.

A caracterização das mudanças provocadas nos parâmetros fisiológicos das plantas, quando cultivada em diferentes sistemas de manejo e níveis de água, é de extrema importância para a otimização da produção final. Sendo que a caracterização destas mudanças podem trazer conhecimentos importantes para a determinação da ocorrência do déficit hídrico, bem como a sua prevenção.

As hipóteses deste trabalho foram:

As plantas de milho apresentam condições hídricas diferentes nos sistemas de manejo de semeadura direta e convencional.

Durante períodos de estiagens não prolongados, a condutância foliar e o potencial mínimo da água na folha apresentam valores mais elevados no sistema de semeadura direta do que em convencional.

Quando submetido a déficit hídrico, o milho apresenta ajuste osmótico através do acúmulo de solutos.

O objetivo geral do trabalho foi, então, avaliar diferenças nos indicadores da condição hídrica em milho, cultivado em semeadura direta e convencional sob diferentes níveis de suprimento de água.

Os objetivos específicos foram:

Estabelecer relações entre indicadores da condição hídrica (potencial mínimo da água na folha e condutância foliar) em plantas de milho cultivadas em dois sistemas de manejo e diferentes níveis de água.

Identificar quais indicadores representam melhor o estado hídrico do milho cultivado em sistemas de semeadura direta e convencional.

Verificar a ocorrência da acomodação osmótica em milho submetido a déficit hídrico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Estresse

O aumento da exposição das plantas a condições de estresse levou a uma pressão de seleção que determinou a sobrevivência ou a extinção de algumas espécies em determinados locais, sendo o estresse ambiental, portanto, principal fator determinante de distribuição das plantas na superfície terrestre (Kramer & Boyer, 1995).

Dentre os fatores que podem determinar estresses, a água é o fator predominante na determinação da distribuição geográfica da vegetação em escala global (Jones, 1992). Na agricultura, a ocorrência de déficit hídrico também parece ser o fator mais importante para o rendimento das espécies. Cultivos que possuem sensibilidade a estresse por falta de água como, por exemplo, o milho, tem seu rendimento diminuído na presença do déficit hídrico, principalmente se o mesmo ocorrer no período crítico da cultura (Matzenauer et al., 1995; Bergonci et al., 2001).

Na maioria dos conceitos, o estresse é considerado como um desvio significativo das condições ótimas para a vida. Induz a mudanças nas respostas

do organismo em todos os níveis funcionais, as quais são reversíveis, a princípio, mas podem se tornar permanentes (Larcher, 2000). Levitt (1980) define o estresse como sendo qualquer fator ambiental potencialmente desfavorável para os organismos vivos, enquanto, Lichtenthaler (1996) conceitua o estresse de forma mais específica, definindo-o como sendo qualquer condição desfavorável ou substância que afeta ou bloqueia o metabolismo da planta, seu crescimento ou desenvolvimento.

O estresse pode ser causado por fatores de origem biótica (plantas, microorganismos, animais e ações antropogênicas) e abiótica, ocasionado principalmente por condições meteorológicas como radiação solar, temperatura, água e gases ou minerais e efeitos mecânicos (Larcher, 2000). A ocorrência do estresse pode ser devido ao excesso ou à falta de determinado fator que atua no desenvolvimento das plantas.

As plantas respondem ao estresse de duas formas, resistindo ou tolerando o mesmo. A resistência se dá de forma ilimitada em relação ao fator de estresse, enquanto que a tolerância se mostra presente até determinados níveis do fator de estresse. Fora desses limites, a planta passa a ser suscetível ao mesmo (Jones, 1992).

Para o caso do estresse por déficit hídrico, o mecanismo de tolerância pode ser classificado dentro de duas categorias. O de evitamento ao déficit hídrico, mecanismo que minimiza a ocorrência do dano por déficit hídrico, sendo as plantas divididas em três grupos o de escape, conservadoras de água e eficientes na absorção. A tolerância ao déficit hídrico ocorre quando as plantas apresentam adaptações fisiológicas e mantém suas funções, apesar da condição de déficit hídrico, sendo divididas em dois grupos: as que toleram a dessecação e

aquelas que mantêm a turgidez dos tecidos. Tolerância à dessecação ocorre nas plantas que têm habilidade de sobreviver quando o conteúdo de água dos seus tecidos causa a morte de 50% das células. As plantas que mantêm a turgidez o fazem através do ajuste osmótico e da elasticidade da parede celular (Jones, 1992).

De uma forma geral, o estresse induz a mudanças nos processos fisiológicos provocadas por uma combinação de fatores biológicos, com potencialidades para produzir danos no metabolismo das plantas. Estes podem ser expressos pela redução no crescimento e no rendimento ou na morte das plantas ou parte das mesmas (Hale & Orcutt, 1987). Com isso, o rendimento potencial das plantas, ou dos cultivos, pode ser afetado pelo estresse, levando a disparidade entre o rendimento potencial e o real (Montheit & Elston, 1993; Kramer & Boyer, 1995).

2.2. Estresse por déficit hídrico

Entre os estresses de origem abiótica, aquele por falta de água (déficit hídrico), freqüentemente atinge os cultivos de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. Em vista disso, procura-se, cada vez mais, prever com a maior antecedência possível a ocorrência desta condição, via monitoramento das condições meteorológicas, hídricas do solo e da planta, a fim de buscar práticas que minimizem seus efeitos no rendimento das culturas.

A condição hídrica das plantas representa a integração da demanda evaporativa atmosférica, do potencial da água no solo, da densidade e distribuição radicular, bem como de outras características da planta associadas às suas relações com o meio (Bergonci, 1997). Com isso, mudanças nestes pontos

de integração poderão modificar os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera.

Termodinamicamente, a água tende a se mover de locais de maior para os de menor potencial. Portanto, o potencial da água no solo deve ser maior do que o da planta, e este maior que o da atmosfera para que o fluxo de água seja mantido neste sistema.

Quando a transpiração excede a absorção de água pelas raízes a planta demonstra um balanço hídrico negativo. Esta situação ocorre diariamente, sendo caracterizada como déficit hídrico de curto prazo. O mesmo pode ser revertido via controle da abertura estomática (diminuição da transpiração) e manutenção da absorção de água pelas raízes ao longo de um período noturno. Já o déficit hídrico de longo prazo ocorre quando o conteúdo de água na planta não é recuperado após um período noturno de baixa transpiração. Isso ocorre devido à escassez de água no solo, ocasionada pela falta de precipitação pluvial ou irrigação, aliada à elevada demanda evaporativa ao longo de vários dias, o que aumenta a resistência na interface solo-raiz (Larcher, 2000).

O déficit hídrico pode levar as células a perderem sua turgidez, dependendo da intensidade em que ele ocorre. Provoca, assim, alterações nos processos de crescimento e expansão celular, na fotossíntese e nas trocas gasosas com o ambiente (Kramer & Boyer, 1995). Segundo Bergamaschi (1992), o déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas: reduz a área foliar (por diminuir o crescimento ou pela morte das folhas); diminui a fotossíntese (devido à diminuição da área foliar, murchamento e enrolamento de folhas e fechamento dos estômatos) e afeta

vários outros processos, tais como brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos.

O efeito mais comum da deficiência de água nas plantas é a diminuição de seu crescimento com o conseqüente decréscimo da área foliar, reduzindo amplamente a fotossíntese da planta como um todo. Para Jones (1992) o efeito imediato do déficit hídrico é a redução no crescimento, pois, a expansão celular é sensível ao mesmo. A taxa de extensão celular, em várias espécies, é diminuída pela redução do potencial da água abaixo de $-0,2$ MPa, e é completamente inibida entre $-0,4$ a $-1,2$ MPa. Por outro lado, a divisão celular, embora afetada pelo déficit hídrico, é menos sensível do que a expansão celular.

Quando o potencial da água foliar diminui, ocorre, de imediato, retardamento na expansão celular, levando a uma diminuição do crescimento da folha. Além da redução do tamanho das folhas, o estresse por falta de água causa o fechamento estomático, o qual ocasiona decréscimo na absorção de CO_2 . Para níveis de déficit hídrico em que o potencial da água na folha se encontra em torno de $-1,0$ a $-2,0$ MPa, dependendo da espécie, a respiração, a translocação de produtos de assimilação metabólica e assimilação de CO_2 caem a níveis próximos de zero (Salisbury & Ross, 1994). Plantas estressadas hidricamente produzem menos biomassa e, com isso, o rendimento é, em grande parte, afetado pela redução da área fotossintetizante (Hsiao, 1973; Nonami et al., 1997). Para o caso do milho cultivado no Rio Grande do Sul, a ocorrência do déficit hídrico no período reprodutivo da cultura diminui o rendimento final, principalmente, por reduzir o número de grãos por espiga (Matzenauer 1994, Bergonci et al., 2001).

O déficit hídrico reduz a área foliar específica, além de efeitos significativos na matéria seca total (Craufurd et al., 1999). Quando combinado

com condições atmosféricas secas e quentes, o déficit hídrico do solo causa redução no comprimento e largura da folha, devido ao declínio do número de células na folha (Jones, 1985). Períodos de déficit hídrico que levam ao fechamento estomático promovem limitações na fotossíntese (Sala & Tenhunen, 1996). Com aumento do déficit hídrico há diminuição no potencial da água na folha, no potencial osmótico e na condutância estomática (Premachandra et al., 1992).

Em síntese, a resposta da planta ao déficit hídrico vai depender da quantidade de água perdida, da taxa de perda e da duração da condição de estresse (Bray, 1997).

2.3. Indicadores da condição hídrica das plantas

2.3.1. Potencial da água na folha

O potencial da água na folha descreve o estado energético da água, cujos gradientes explicam os fluxos de água no sistema solo-planta-atmosfera (Hsiao, 1973; Westgate, 1994). O valor do potencial da água indica a diferença entre o estado energético da mesma no sistema considerado e no estado de referência. No estado de referência o potencial da água é considerado zero.

O potencial da água é definido em termos de seu potencial químico (μ) em relação ao potencial químico da água pura (μ°) (energia por mol). O potencial da água é definido pela equação:

$$\psi = (\mu - \mu^\circ) V^{-1} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

sendo ψ o potencial da água e \bar{V} o volume molal parcial da água (volume por mol). Sabendo-se que energia por volume tem dimensão igual à pressão, o potencial da água pode ser expresso em unidades de pressão (MPa).

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

$$\psi = \psi_p + \psi_o + \psi_m + \psi_g \quad (2)$$

sendo ψ o potencial da água no tecido, ψ_p o potencial de pressão, ψ_o o potencial osmótico, ψ_m o potencial matricial e ψ_g o potencial gravitacional. Na prática, o potencial matricial no citoplasma pode ser decomposto em potencial de pressão e potencial osmótico, enquanto o potencial gravitacional é desprezível para plantas de baixo porte. Assim o potencial da água nos tecidos vegetais reduz-se aos dois primeiros termos da equação 2 (Passioura, 1980).

A pressão hidrostática positiva no interior das células pode ser referida como potencial de pressão, pressão de turgescência, ou turgor. O valor do potencial de pressão pode ser negativo, por exemplo, no xilema ou entre as paredes das células, onde se desenvolvem forças de tensão ou pressão hidrostática negativa (Taiz & Zeiger, 1998). Contudo, em geral, o potencial de pressão varia de um valor positivo máximo, quando a célula está na turgidez máxima, a zero quando a célula perde a turgescência, tornando-se flácida por perda de água (Angelocci, 2002).

O termo potencial osmótico representa o efeito da presença de solutos sobre o potencial da água do sistema em consideração. O potencial osmótico da água na solução é sempre menor do que o da água pura e, portanto, assume sempre valores negativos (Taiz & Zeiger, 1998).

O potencial da água é uma medida importante e sensível do estado hídrico da planta, variando de zero a próximo de zero nas plantas não estressadas, a valores bem abaixo de zero ou igual ao potencial osmótico em plantas severamente estressadas (Kramer & Boyer, 1995). Mesmo havendo variações ao longo do dia (estresse de curto prazo) em plantas irrigadas, o

potencial da água na folha tem sido utilizado em estudos das relações hídricas dos vegetais (Hsiao, 1973), sendo considerado padrão.

Trabalhos realizados entre 1970-1980 consideravam o potencial da água foliar o melhor indicador da condição hídrica da planta (Hsiao, 1973). Posteriormente, alguns autores, como Sinclair & Ludlow (1985), consideravam o conteúdo relativo de água mais apropriado para determinar o estado hídrico da planta, pois ele poderia ser melhor correlacionado com a fotossíntese, síntese de proteína e senescência foliar, do que com o potencial da água. Kramer (1988) concordava, em parte, com a utilização do conteúdo relativo de água para expressar o estado hídrico, pois este não poderia ser correlacionado com o potencial da água no solo, e somente o potencial da água baseava-se na termodinâmica, podendo, então, ser aplicado igualmente para a planta e para o solo.

Diversos autores procuraram estabelecer relações entre o potencial da água e determinados parâmetros da planta. Assim, Meyer & Boyer (1981) e Kramer (1988) relatam que, para o crescimento da planta, é necessário um potencial de pressão mínimo. De acordo com Acevedo et al. (1971), o crescimento das plantas de milho diminuía com potenciais da água na folha menores do que $-0,28$ MPa, cessando o crescimento a $-0,7$ MPa.

Da mesma forma, Boyer (1970) determinou que potenciais da água na planta de milho menores do que $-0,4$ MPa afetavam significativamente a expansão foliar, embora a fotossíntese máxima ocorresse com potenciais foliares entre $-0,6$ a $-0,8$ MPa. Bergonci (1997) observou que acima de um potencial mínimo da água na folha de $-1,5$ MPa as plantas de milho recuperavam sua condição hídrica após o fechamento estomático, sendo esse valor possível de

ser utilizado como critério indicador de déficit hídrico. No entanto, o potencial da água na folha depende do potencial da água no solo, da resistência ao fluxo de água em todo o sistema e da taxa de transpiração (Katerji & Hallaire, 1984).

2.3.2. Condutância foliar

Conforme Salisbury & Ross (1994), pode-se considerar a condutância foliar como uma medida da permeabilidade com que a água e o CO₂ difundem-se através da folha, sendo o fluxo difusivo proporcional à força impulsora e inversamente proporcional à resistência (inverso da condutância). A condutância foliar ao vapor d' água é constituída pelas condutâncias estomática, cuticular e dos espaços intercelulares. Dentre estas, a condutância estomática assume maior importância por ser a principal via por onde ocorrem as trocas gasosas entre a planta e o meio externo e que pode ser regulada via abertura do ostíolo.

A condutância (g) é dada pela equação:

$$g = D l^{-1} \text{ (m s}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

sendo D o coeficiente de difusão da substância (m² s⁻¹) e l a distância percorrida pela mesma (m) (Kramer & Boyer, 1995).

O controle estomático da condutância foliar à água é um importante mecanismo através do qual o vegetal limita a perda de água. Frequentemente, a condutância é utilizada como indicador do déficit hídrico e como um importante parâmetro em estudos fisiológicos (Mc Dermitt, 1990).

Mc Cree & Richardson (1987) citaram que a resposta mais comum ao estresse hídrico é o fechamento estomático, que reduz os fluxos de CO₂ e vapor d'água. Uma alternativa para a permanência da abertura dos estômatos é a manutenção do turgor através do ajuste osmótico.

Conforme Jones (1985), o fechamento estomático pode ocorrer dentro de uma larga faixa de potencial da água na folha, dependendo da espécie. Os estômatos de milho se fecham com potenciais da água na folha em torno de $-1,7$ MPa (Turner, 1974). Bono et al. (2001) verificaram que houve uma diminuição na condutância estomática do milho quando o potencial da água na folha chegou ao valor de $-1,5$ MPa.

A condutância foliar máxima apresenta correlação com o potencial mínimo da água na folha de milho, sendo que, à medida em que diminui o potencial da água na folha, diminui a condutância foliar (Bergonci et al., 2000 a). Também na cultura do milho, Bono (1997) observou, em condições de campo e casa-de-vegetação, que os estômatos apresentam fechamento gradual acompanhando a queda do potencial da água na folha, indicando que a condutância estomática é dependente do estado hídrico da planta.

Diversos experimentos, discutidos por Shulze (1986) e Turner (1986), indicam que a condutância estomática e a fotossíntese se correlacionam melhor com o potencial da água no solo e raízes do que com o potencial da água na folha. A mesma resposta foi observada por Rosa et al. (1991), estudando a resposta heliotrópica de folhas de soja submetida à condição de déficit hídrico. Conforme Shalhevet (1993), a queda na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água na folha, diminuindo a turgidez celular e a condutância estomática.

Diversos trabalhos relatam que o ácido abscísico (ABA), produzido na raiz, pode desempenhar um papel importante no controle da condutância foliar. Para Schurr et al. (1992), a condutância estomática diminui com a redução do conteúdo de água no solo, mesmo quando a parte aérea permanece túrgida,

através de um período de déficit de água. O aumento da concentração de ABA no xilema, devido à maior síntese do mesmo nas raízes estressadas, promove diminuição da condutância estomática. Tardieu et al. (1993) observaram que o mecanismo de controle estomático pelo ABA produzido na raiz tem sua sensibilidade dependente mais do estado hídrico da folha do que do déficit de pressão de vapor.

Para Bray (1997), o maior sinal de ocorrência de estresse por deficiência hídrica na planta é a produção de ácido abscísico, embora não seja apenas o déficit hídrico que leva à produção de ABA.

Radin & Ackerson (1982) consideraram o rápido fechamento estomático como um processo passivo, no qual as células-guarda perdem a turgidez por meios não metabólicos. Sabe-se também, que, uma pequena imposição de déficit hídrico, como ocorre normalmente no campo, resulta num parcial fechamento estomático, acréscimo no conteúdo de ácido abscísico (ABA) e declínio nos processos de fotossíntese. Conforme Ward & Schroeder (1994), o ABA é sintetizado em resposta ao déficit hídrico e pode se difundir para as células-guarda adjacentes, onde atua sobre os canais de cálcio e potássio, reduzindo a abertura estomática.

2.3.3. Ajuste osmótico

O ajuste osmótico é a diminuição do potencial osmótico pelo aumento de solutos intracelulares em resposta ao déficit hídrico. Esse processo é reconhecido como um dos mais importantes mecanismos adaptativos ao déficit hídrico. Em muitas culturas é considerado o maior componente do mecanismo de

tolerância à seca (Hsiao, 1973; Morgan, 1984; Premachandra, et al., 1992) e ao estresse salino (Carvajal et al., 1998; Ghoulam et al., 2002).

Mudanças significativas no potencial da água do ambiente podem levar as plantas a condições de estresse osmótico, que perturbam as atividades normais das células, ou, até mesmo, causam a morte da planta. Em condições naturais, a salinidade e o déficit hídrico são as maiores causas do estresse osmótico nas plantas (Xiong & Zhu, 2002).

A diminuição do potencial osmótico em resposta ao déficit hídrico pode resultar de uma concentração passiva de solutos, resultante da desidratação da célula ou da acumulação ativa de solutos, mas só esta última pode ser considerada como ajuste osmótico (Patakas et al., 2002).

Plantas sob diferentes condições de estresse, como o hídrico e o salino, acumulam solutos orgânicos de baixo peso molecular, sendo genericamente denominados de solutos compatíveis. Os mesmos incluem aminoácidos, aminas (prolina, alanina, glutamina, asparagina), bases quaternárias de amônio (betaína), açúcares, polióis (como manitol e sorbitol) e alguns solutos inorgânicos (Bajji et al., 2001; Larcher, 2000). A consequência da acumulação ativa de solutos é a diminuição do potencial osmótico da célula, que, por sua vez, atrai a água para dentro desta e tende a manter a pressão de turgor. O turgor permite o crescimento foliar, a atividade estomática e a manutenção da fotossíntese (Turner et al. 1978; Ludlow, 1980; Babu et al. 1999).

Premachandra, et al. (1992), ao estudarem cinco cultivares de milho submetidas ao déficit hídrico, observaram que o potencial osmótico diminuiu em todas as cultivares estudadas, em resposta ao decréscimo de umidade de água no solo. De acordo com os mesmos autores, alto ajuste osmótico foi observado,

com valores entre 0,08 a 0,43 MPa. Para o arroz, Jongdee et al. (2002) observaram ajuste osmótico, com valores de 0,8 MPa, dependendo da severidade do déficit.

Conforme Tanguilig et al. (1987), o milho tem habilidade de manter a turgidez com pequeno declínio no potencial da água causado por baixa taxa de transpiração. Além disso, pode-se ajustar osmoticamente ou alterar a relação hídrica de suas células para manterem-se túrgidas, mantendo, assim, as atividades fisiológicas das plantas.

Apesar de ser considerado um importante mecanismo de tolerância ao déficit hídrico, o ajuste osmótico não aumenta o rendimento das culturas, mas possibilita a continuação do seu crescimento e desenvolvimento em condições de estresse (Serraj & Sinclair, 2002).

2.4. Potencial matricial da água no solo

O solo é o armazenador e fornecedor de água e nutrientes para as plantas. Por fenômenos de adsorção e capilaridade ele retém, entre uma chuva e outra, a umidade de que as plantas utilizam. A retenção da água no solo depende principalmente da textura, do conteúdo de matéria orgânica e do estado de agregação (Bergamaschi, 1992). A retenção da água no solo é afetada pelo sistema de manejo utilizado, pois ele pode alterar a infiltração por modificações introduzidas quanto à rugosidade superficial, porosidade e cobertura do solo (Salton & Mielniczuk, 1995).

Bragagnolo & Mielniczuk (1990), ao estudarem a influência da cobertura de palha sobre a umidade do solo, observaram que há uma contribuição significativa no aumento da armazenagem de água no solo em

sistema de semeadura direta, em torno de 10 unidades percentuais a mais do que em semeadura convencional. Com o aumento da densidade do solo nas camadas superficiais em sistema de semeadura direta, há redução na macroporosidade e aumento da microporosidade, que elevam a capacidade de armazenamento do solo neste sistema, em relação ao sistema convencional (Salton & Mielniczuk, 1995). Também Singh et al. (1996), comparando diferentes sistemas de manejo quanto ao conteúdo de água no solo, verificaram que o sistema de semeadura direta armazena mais água do que o sistema de manejo reduzido e este mais que o sistema de manejo convencional. Em vista disso, modificações no sistema de manejo podem levar a mudanças na quantidade de água armazenada no solo e, conseqüentemente, modificar o suprimento hídrico às plantas cultivadas sob este sistema. Uma forma para quantificar essas mudanças é o monitoramento da quantidade de água presente no solo via determinação do potencial matricial da água no solo.

O potencial matricial da água no solo é, freqüentemente, usado como um indicador de estresse hídrico da planta e pode ser um critério para o momento de irrigação. O decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda da turgidez e à redução da condutância estomática (Bergamaschi et al., 1991). Bono et al. (2001), estudando alterações na condutância estomática de milho submetido a déficit hídrico, observaram que a resposta dos estômatos ao potencial da água no solo foi mais consistente do que a resposta ao potencial da água na folha. Pereira et al. (2003) observaram que uma limitação na disponibilidade de água no solo provoca redução na condutância foliar, resultando na diminuição das trocas gasosas.

Davies & Zhang (1991), observaram que, sob certas condições de secagem do solo, houve uma redução na taxa de expansão foliar, mesmo não havendo mudanças no potencial da água da folha. Essa observação levantou a hipótese de que as raízes são capazes de perceber sinais de secagem do solo. Outros autores observaram que a expansão foliar, a taxa de crescimento e a condutância estomática apresentam uma boa relação com o potencial da água no solo, indicando que o mesmo pode ser usado como indicador de estresse de água (Kramer & Boyer, 1995).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização climática do local

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2002/2003, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (latitude 30° 05' S, longitude 51° 40' W e altitude aproximadamente de 40 m).

O clima da região é do tipo fundamental Cfa, conforme a classificação climática de Köppen, ou seja, subtropical úmido com verão quente. A radiação solar global é mais elevada no mês de dezembro, com média diária próxima de 20,9 MJ m⁻² dia⁻¹, enquanto que junho tem a menor média diária, com cerca de 8,3 MJ m⁻² dia⁻¹. Janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, com temperaturas médias do ar próximas a 25°C, enquanto que junho e julho são os mais frios cujas médias da temperatura do ar se aproximam de 9°C, enquanto a temperatura média anual é de 19,2°C. A precipitação pluvial média anual é de 1446 mm, apresentando, com freqüência, deficiência hídrica nos meses de novembro a março, período de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho. A

evapotranspiração potencial média anual calculada pelo método de Penman é de 1209 mm (Bergamaschi et al., 2003 a).

3.2. Solo

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento Arroio dos Ratos (Mello et al., 1976), classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico, de acordo com a classificação da Embrapa (1999).

No Apêndice 1 encontra-se o laudo dos resultados de análise química a partir de amostragem de solo, realizada pelo Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, no ano de 2002.

3.3. Manejo da área experimental e da cultura

A área experimental com aproximadamente 0,5 ha, vem sendo cultivada desde 1995 parte em sistema de semeadura direta e parte em sistema convencional. Ambas apresentam como cobertura vegetal de inverno o consórcio aveia (*Avena strigosa*)+ervilhaca (*Vicia sativa*) e no verão o cultivo de milho.

No preparo do solo, feito em outubro de 2002, a área sob semeadura direta teve a cobertura vegetal dessecada e posteriormente acamada com o auxílio de um rolo-faca. No mesmo período, em semeadura convencional, fez-se a incorporação ao solo da biomassa verde de aveia+ervilhaca através de uma aração com arado de disco, seguida de duas gradagens com grade niveladora.

A semeadura foi efetuada no dia 25 de novembro de 2002, utilizando-se sementes do milho híbrido precoce Pioneer 32R21. A semeadura seguiu a disposição em linhas orientadas leste-oeste, com densidade de 5 plantas por metro linear e um espaçamento de 0,75 m entre linhas, proporcionando uma

população de aproximadamente 65.000 plantas ha⁻¹. Após a semeadura, foram aplicados 6 l ha⁻¹ da mistura de atrazine+metalachlor em pré emergência. A emergência das plantas (50%) ocorreu no dia 02 de dezembro de 2002.

A adubação de base foi feita em linha, na semeadura. Foram utilizados 800 kg ha⁻¹ da formulação NPK 5-20-20, resultando em 40 kg ha⁻¹ de N, 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 160 kg ha⁻¹ de K₂O. Posteriormente, foram aplicados 108 kg ha⁻¹ de N em cobertura, na forma de uréia, aos 15 e 36 DAE, quando as plantas de milho apresentavam 4 e 10 folhas expandidas, respectivamente.

3.4. Controle de insetos e plantas daninhas

O controle de insetos, principalmente lagarta do cartucho, foi feito através da aplicação de permethrin na dose de 0,065% do produto comercial.

O controle de plantas daninhas, principalmente *Cyperus rotundus* e *Brachiaria plantaginea* foi feito através de aplicações de herbicidas à base de, nicosulfuron na dose de 1,25 l ha⁻¹, aos 24 DAE; paraquat na dose de 1,5 l ha⁻¹ aos 34 DAE e aos 45 DAE.

3.5. Delineamento experimental

O delineamento foi em faixas com quatro repetições, considerando que o sistema de aspersão em linhas utilizado não permite casualização para o fator água (Hanks et al., 1980). Os tratamentos foram dois sistemas de manejo e três níveis de água. Os dois sistemas de manejo: semeadura direta (SD) e semeadura convencional (SC) constituíram as parcelas principais e os níveis de água: próximo a capacidade de campo (I2), 41% da capacidade de campo (I1) e sem irrigação (I0) as sub-parcelas. Os níveis de água foram dispostos na direção

paralela à linha de aspersão. Nas fileiras iniciais da cultura o solo foi mantido próximo à capacidade de campo e, a partir desta parcela, foram aplicados os outros dois tratamentos.

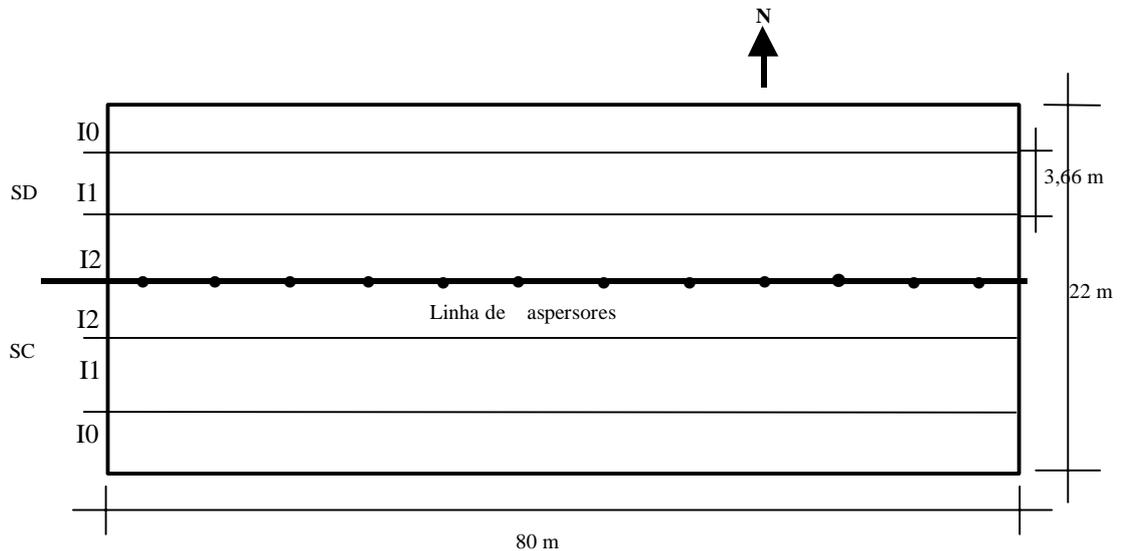


FIGURA 1. Representação do Delineamento experimental, com distribuição dos tratamentos e posição dos aspersores. Eldorado do Sul, RS, 2002/03. Os símbolos SD e SC indicam os sistemas de manejo (semeadura direta e convencional) e I2, I1 e I0 os níveis de água.

3.6. Sistema de irrigação

Utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão em linhas constituído por uma fileira de 12 aspersores na direção leste-oeste, espaçados 6 m entre si. A tubulação principal da linha foi de PVC de 100 mm de diâmetro, com tubos de saída para os aspersores de 50 mm de diâmetro.

Quando o tensiômetro instalado no tratamento I2 a 45 cm de profundidade registrava potencial matricial da água no solo de $-0,03$ MPa, efetuava-se a irrigação. Através de um lisímetro de pesagem, instalado próximo ao experimento, determinava-se a quantidade de água a ser irrigada. As irrigações foram efetuadas nas primeiras horas do dia com objetivo de evitar

deriva. No Apêndice 2 encontram-se os dias e quantidades de água aplicada, durante o ciclo da cultura, correspondentes ao tratamento em capacidade de campo.

3.7. Determinações

3.7.1. Crescimento, desenvolvimento e rendimento

O IAF foi estimado a partir de modelo elaborado no ano anterior (2001/02), para o mesmo híbrido, densidade de plantas e local de cultivo. As equações foram geradas independentemente para os dois sistemas de semeadura (SD e SC) em níveis de água (I0 e I2); para o nível I1 foi utilizada uma equação elaborada a partir das médias dos níveis de água máximo e mínimo para cada sistema.

A modelo obtido foi:

$$IAF = a / \{1 + \exp [-(x - x_0) / b]\} \quad (4)$$

em que a, b e x_0 são coeficientes do modelo e x os graus dia. Os coeficientes e o r^2 , para cada sistema e nível de água estão representados na Tabela 1.

TABELA 1: Coeficientes a, b e x_0 , para cada sistema e nível de água, utilizados na obtenção do IAF.

Sistema	Nível de água	Coeficientes			r^2
		A	b	c	
SD	I0	4,16	399,96	73,84	0,99
SD	I2	4,94	432,10	85,08	0,99
SC	I0	4,23	407,74	74,57	0,98
SC	I2	4,68	422,88	79,35	0,98
SD	I1	4,54	417,40	82,05	0,99
SC	I1	4,43	413,83	73,60	0,99

As datas médias de ocorrência dos estádios fenológicos, segundo escala adaptada de Hanway (1963), encontram-se no Apêndice 3. No final do experimento foi determinado o rendimento de grãos do milho, nos dois sistemas de manejo, sendo as avaliações feitas em quatro repetições por tratamento. Os resultados foram apresentados por Bergamaschi et al. (2003 b) e estão representados no Apêndice 4.

3.7.2. Potencial matricial da água no solo

Para medições do potencial matricial da água no solo foram utilizados tensiômetros de coluna de mercúrio instalados a 7,5, 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 cm de profundidade, nos dois sistemas de manejo e nos diferentes níveis de água. Para a apresentação e discussão dos resultados foram utilizados valores de potencial matricial da água no solo das profundidades de 45 e 60 cm, visto que, conforme Rossi (1979), nestas profundidades em média, se concentra a maior quantidade de raízes de milho ao longo de seu ciclo de desenvolvimento.

Para o cálculo do potencial matricial da água no solo, utilizou-se a equação conforme Libardi (1995):

$$\psi_m = (-12,6 H + hc + z) 0,0001 \quad (5)$$

em que ψ_m é o potencial matricial da água no solo (MPa), 12,6 é a constante que resulta da diferença entre a densidade do mercúrio ($13,6 \text{ g cm}^{-3}$) e da água (1 g cm^{-3}), H a altura da coluna de mercúrio acima da cuba (cm), hc a altura média do mercúrio (na cuba) em relação à superfície do solo (cm), z a profundidade de instalação do tensiômetro (cm) e 0,0001 a constante para transformação dos valores da coluna de água expressa em centímetros para MPa.

As leituras dos tensiômetros foram feitas no mínimo, três vezes por semana. Após as leituras, os tensiômetros foram fluxados com água destilada.

3.7.3. Indicadores da condição hídrica das plantas

A medição dos indicadores da condição hídrica das plantas, como o potencial mínimo da água na folha e condutância foliar, foram realizadas em dias sem a presença de nuvens. Tomou-se quatro repetições por tratamento, utilizando-se folhas completamente expandidas, durante o período vegetativo, e a folha logo abaixo da espiga, após o aparecimento desta. As datas das medições dos indicadores da condição hídrica, juntamente com registro das variáveis meteorológicas constam no Apêndice 5.

3.7.3.1. Potencial mínimo da água na folha, potencial osmótico e potencial de pressão

O potencial da água na folha mínimo foi medido às 13h (Bergonci, 1997) com câmara de pressão (modelo 3000, Soil Moisture Co., EUA), conforme descrito por Scholander et al.(1965) e Boyer (1967).

Cortava-se cerca de 30 a 40 cm da extremidade foliar, de folhas totalmente desenvolvidas e expostas ao sol, as quais eram colocadas em sacos plásticos e estes em caixa de isopor. De imediato, dividia-se a folha transversalmente, sendo que a extremidade era utilizada para medir o potencial da água. Para tanto, retirava-se em torno de 5 cm da lâmina foliar, de forma a deixar a nervura central formando um pseudo-pecíolo.

Após a leitura do potencial da água, parte da folha (em torno de 3 a 5 g) era colocada dentro de seringas de 3 ml, as quais foram imediatamente

colocadas em caixa de isopor com gelo, constituindo a amostra não hidratada para determinação do potencial osmótico. A outra metade da folha foi colocada em recipientes com água (frascos de vidro) para hidratação, por um período de 12 horas, a fim de atingirem a saturação. Após esse período, coletava-se parte da folha (3 a 5 g) que era acondicionada em seringa de 3 ml e congelada em nitrogênio líquido, constituindo a amostra hidratada para determinação do potencial osmótico.

O potencial osmótico (hidratado e não hidratado) foi determinado em um microosmômetro Wescor, modelo 5520. Os segmentos das folhas congelados dentro das seringas foram pressionados com o êmbolo para extração da seiva. As leituras, efetuadas no microosmômetro (mmol.l^{-1}), foram convertidas em unidades de pressão através da relação de van't Hoff:

$$\psi_{\text{odet}} = -n R T \quad (6)$$

em que ψ_{odet} é o potencial osmótico (MPa) determinado pelo microosmômetro, n é a concentração de solutos (mmol), R a constante universal dos gases ($0,083 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ mmol}^{-1}$) e T a temperatura do ar ($^\circ\text{K}$).

Os valores de potencial osmótico obtidos foram corrigidos de acordo com a equação:

$$\psi_o = \psi_{\text{odet}} * 1,15 \quad (7)$$

em que 1,15 é o coeficiente para corrigir a água apoplástica, que, de acordo com Wenkert (1980), corresponde a 15 % da água total da célula em média.

O ajuste osmótico foi calculado de acordo com a equação proposta por Bajji et al. (2001):

$$AO = \psi_o (100)^i - \psi_o (100)^{ni} \quad (8)$$

em que $\psi_o(100)^i$, é o potencial osmótico hidratado das folhas das plantas irrigadas próximo à capacidade de campo e $\psi_o(100)^{ni}$ é o potencial osmótico hidratado das folhas das plantas não irrigadas.

Pela diferença entre o potencial da água mínimo total (osmótico+pressão) e o osmótico determinado em folhas não hidratadas obteve-se o potencial de pressão.

3.7.3.2. Condutância foliar

A condutância foliar foi medida com um porômetro de equilíbrio dinâmico estado estacionário da marca LICOR (modelo 1600M). Media-se a condutância foliar em ambas as faces, sendo a condutância total obtida pelo somatório das condutâncias das faces abaxial e adaxial da folha, uma vez que as mesmas se encontram em paralelo. Para tal, utilizou-se folhas ensolaradas e totalmente expandidas. As medições foram realizadas às 10 horas e às 13 horas, em razão dos resultados obtidos por Bergonci (1997), que observou valores máximos de condutância foliar às 10 horas e os mínimos às 13 horas.

3.7.4. Balanço hídrico

O balanço hídrico diário da cultura do milho foi calculado para todos os tratamentos, utilizando-se a metodologia proposta por Thornthwaite & Mather (1955), utilizando-se uma CAD de 75 mm. Os dados de entrada foram: a precipitação pluvial (acrescida da irrigação), a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada segundo a equação de Penman (1948), o coeficiente de cultura (K_c) utilizando equação definida por Radin et al. (1999) e a evapotranspiração máxima do milho (ET_m) obtida pela multiplicação da ET_o pelo K_c.

3.7.5. Dados meteorológicos

Dados de radiação solar global, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluvial foram registrados e disponibilizados em intervalos de 15 minutos, por uma estação automática modelo W2000 (Campbell Scientific), localizada próxima ao experimento. A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Penman (1948).

3.7.6. Análise dos dados

O efeito dos tratamentos (sistemas de manejo e níveis de água) sobre os diferentes indicadores do estado hídrico da planta foi testado através de análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey (t), adotando-se como critério de significância valores de $P \leq 0,05$. As tabelas da análise da variância encontram-se nos Apêndices 9 a 19.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições meteorológicas do período experimental

A condição meteorológica do período experimental, quando comparada às médias climatológicas do local (Apêndice 6), apresentou diferenças, principalmente em relação à precipitação pluvial e à evapotranspiração de referência (ET_o). A precipitação pluvial foi acima da média, nos meses de novembro, dezembro e fevereiro, enquanto, no mês de janeiro, a precipitação pluvial inferior à média, ocasionou déficit hídrico às plantas. A ET_o foi maior do que a média no mês de janeiro, em razão da maior radiação solar global (R_g) observada neste mês. Já nos meses de novembro, dezembro e fevereiro a ET_o foi menor do que a média local. A temperatura média do ar durante todos os meses de condução do experimento foi semelhante à média local (Bergamaschi et al., 2003 a). Durante o mês de novembro a ET_o foi 17,6 mm inferior à média local em razão da menor R_g e maior precipitação pluvial observadas durante o mês.

No período inicial do desenvolvimento da cultura (dezembro), a precipitação pluvial foi o dobro da média climatológica, que é de 109,6 mm. A ET_o

foi 23,5 mm menor do que a média climatológica, em vista da menor Rg observada durante o mês. As condições ocorridas propiciaram um adequado desenvolvimento inicial da cultura, pois não houve limitação hídrica, em função das precipitações pluviais acima da média e da baixa evapotranspiração da cultura durante o período inicial de crescimento do milho.

No primeiro decêndio de janeiro a ETo, a Rg e a temperatura média do ar foram menores do que a média do período. Nos segundo e terceiro decêndios a ETo e a Rg foram superiores às médias do local e houve um déficit hídrico curto, porém intenso que afetou as plantas no período crítico, ou seja, no pendramento-espigamento, período este, observado a partir de 22 de janeiro (Apêndice 3). O déficit hídrico foi causado pela baixa precipitação pluvial, abaixo da normal, aliada aos valores mais elevados de Rg e ETo no final do mês.

Em fevereiro, ETo e Rg foram maiores do que a média nos primeiro e terceiro decêndios, e a precipitação pluvial foi superior à média durante todo o mês.

A precipitação pluvial e a variação diária da ETo, durante o período experimental, está representada na Figura 2. Observa-se que no período inicial de desenvolvimento da cultura, as precipitações pluviais estiveram acima da média (Apêndice 6), possibilitando um adequado suprimento hídrico às plantas. No final de dezembro e início de janeiro, ocorreu de um pequeno déficit hídrico, caracterizado pela ausência de precipitações pluviais. Como as plantas estavam no período vegetativo, com oito folhas emitidas (Apêndice 3) a demanda por água era pequena, não acarretando déficit hídrico para a cultura.

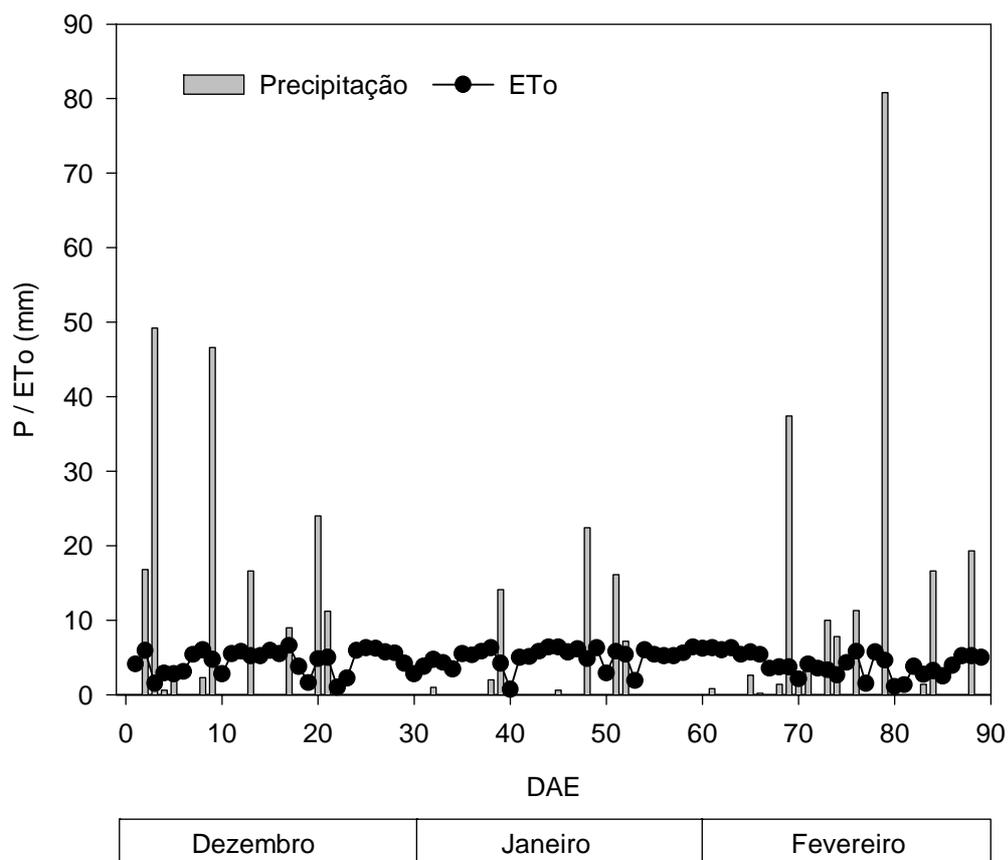


FIGURA 2. Precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ETo) em relação a dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03. Fonte: Boletim Agrometeorológico-UFRGS (Bergamaschi et al.,2003 a).

A partir dos 54 DAE (25 de janeiro), observou-se uma situação de déficit hídrico, caracterizada pela ausência de precipitação pluvial e Rg elevada (Apêndice 6), determinando um aumento na ETo. Neste período, a cultura de milho encontrava-se com elevado índice de área foliar e no período crítico, (pendoamento-espigamento) em que a falta d'água intensifica o efeito do déficit hídrico (\pm 55 DAE) no rendimento final de grãos. Após a ocorrência do déficit hídrico, no início de fevereiro, ocorreram precipitações pluviais que totalizaram

196 mm, acima da média histórica (110,9 mm). Esta situação possibilitou a recuperação hídrica da cultura.

Como pode ser observado (Apêndice 6), precipitações pluviais acima da média climatológica, ocorreram principalmente no mês de dezembro. Conforme Berlato & Fontana (2003), chuvas acima da média no mês de novembro é uma característica da presença do fenômeno El Niño. Quando esse fenômeno ocorre, favorece a produção das culturas de milho e soja devido ao fato de que o aumento da precipitação pluvial no final de primavera e durante o verão pode atender às necessidades hídricas destas culturas (Berlato & Fontana, 1999). Porém, conforme Bergamaschi et al. (2003 b), para o caso do milho o rendimento depende da condição hídrica no período crítico da cultura, independentemente da condição meteorológica de macro escala (El Niño, La Niña ou neutra). Mesmo com precipitações pluviais acima da média durante a maior parte do ciclo da cultura, o rendimento será afetado se ocorrer um curto déficit hídrico no período crítico. Da mesma forma, estudando a influência de variáveis hídricas, como precipitação pluvial, evapotranspiração de referência e consumo relativo de água no rendimento de milho, Matzenauer et al. (1995) constataram que o período da floração ao início do enchimento de grãos é o mais crítico para a deficiência hídrica. Portanto, nem sempre a ocorrência do fenômeno El Niño determinará maiores rendimentos para a cultura do milho (Bergamaschi et al., 2003 b).

No Apêndice 7 estão representados valores de radiação solar global, temperatura média e umidade relativa do ar dos 42 aos 88 DAE, período em que foram realizadas as medições dos indicadores fisiológicos. Pode-se observar que as variações das condições meteorológicas diárias foram semelhantes. Da mesma forma, no momento das leituras dos indicadores, ou seja, entre as 9 e 14

horas, a variação da radiação solar global, temperatura média do ar, e umidade relativa foi praticante igual em todos os dias de medições. Somente a velocidade do vento apresentou algumas variações, mas com tendência de menor velocidade em torno das 9 horas, com progressivo aumento ao longo do dia.

4.2. Balanço hídrico da cultura

O balanço hídrico da cultura está representado na Figura 3, onde se observa a ocorrência de déficit hídrico, em intensidade maior, nas parcelas sem irrigação (I0) tanto em semeadura direta (SD) quanto em semeadura convencional (SC). O déficit hídrico ocorreu no período de 26 a 70 DAE, sendo mais intenso de 50 a 70 DAE, tendo valores de 64 mm em SD e 65 mm em SC.

Através da mesma Figura, pode-se também observar que as plantas de milho cultivadas nas parcelas com irrigação (I1 e I2) estiveram sujeitas a déficit hídrico, sendo este menor do que o das parcelas sem irrigação. Para as plantas cultivadas no nível intermediário de irrigação, o déficit no período de 50 a 70 DAE foi de 39 mm tanto em SD quanto em SC, enquanto que nas parcelas irrigadas houve um pequeno déficit de aproximadamente 15 mm em ambos sistemas.

A intensidade do déficit hídrico ocorrido nas parcelas irrigadas, principalmente naquelas com máxima irrigação, pode ter sido realçada por problemas no sistema de irrigação entre os 60 e 63 DAE, que impediram uma irrigação adequada nesses dias (Apêndice 2).

Porém, analisando-se, o consumo relativo de água (ET_r/ET_m), que informa o quanto de água a planta consome em relação à quantidade máxima que ela consumiria sem restrição hídrica, é possível observar que a intensidade do déficit hídrico nas parcelas com máxima irrigação (I2), no período dos 50 aos 70

DAE, não foi elevada, pois manteve-se um valor médio de ET_r/ET_m de 0,92. Conforme Matzenauer et al. (2002) este valor é considerado como de baixo risco por deficiência hídrica para o rendimento potencial do milho. Já nas parcelas com irrigação intermediária (I1), dos 50 aos 70 DAE o índice médio de ET_r/ET_m foi de 0,72, o qual é considerado de baixo risco (Matzenauer et al. 2002). Nas parcelas sem irrigação o consumo relativo de água (ET_r/ET_m) teve média de 0,5 (50 aos 70 DAE), ou seja, de alto risco por deficiência hídrica. Isto mostra que, apesar dos resultados do balanço hídrico diário terem evidenciado déficit nas parcelas irrigadas, este não foi considerado de risco para o rendimento final da cultura. Conforme Bergamaschi et al. (2003 b), esta tendência de baixo risco por deficiência hídrica nas parcelas irrigadas foi confirmada pelos altos rendimentos obtidos (Apêndice 4).

A intensidade do déficit hídrico demonstrada pelo balanço hídrico, pode se alterar para cada estágio de desenvolvimento da cultura em função da variação da CAD. A CAD é a diferença entre a água disponível na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente multiplicada pela profundidade do sistema radicular. Em razão disso, a utilização de uma CAD variável durante todo o período de crescimento e desenvolvimento da cultura pode, muitas vezes, diminuir o déficit hídrico no período crítico (Müller, 2001). Conforme Dalmago et al. (2003 a), ocorrem diferenças na movimentação de água no solo entre os sistemas de semeadura direta e convencional de milho, demonstrando que a absorção de água pelas plantas pode variar em função do sistema de manejo. Com isso, a utilização da mesma CAD no balanço hídrico para ambos sistemas de manejo pode influenciar na intensidade do déficit hídrico calculado.

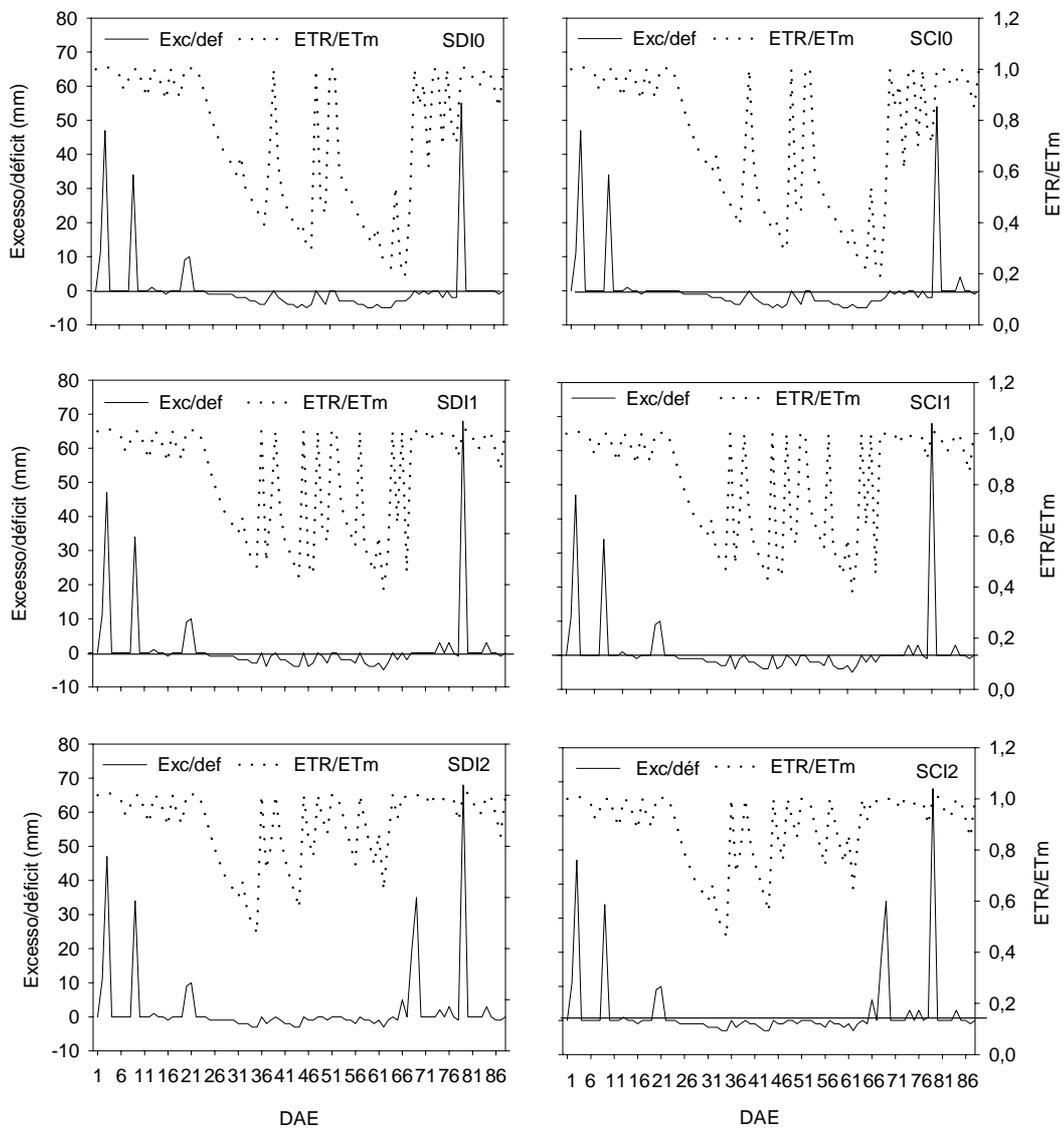


FIGURA 3. Balanço hídrico diário (excessos e déficits) e razão entre a evapotranspiração real/evapotranspiração máxima (ETR/ETm) diárias na cultura do milho em semeadura direta (SD) e convencional (SC), sob diferentes níveis de água (I0, I1 e I2), em função de dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03. Fonte: Boletim Agrometeorológico-UFRGS (Bergamaschi et al., 2003 a).

4.3. Potencial matricial da água no solo

O potencial matricial da água no solo (ψ_s), representado nas Figuras 4, 5 e 6, diminuiu durante o desenvolvimento da cultura em razão de baixas precipitações pluviárias (Figura 2).

Analisando-se a Figura 4 observa-se a diminuição progressiva do ψ_s a 45 e 60 cm de profundidade, à medida em que ocorreu o esgotamento da água no mesmo, tanto em SD quanto em SC, fato ocasionado principalmente pela absorção de água pelas raízes.

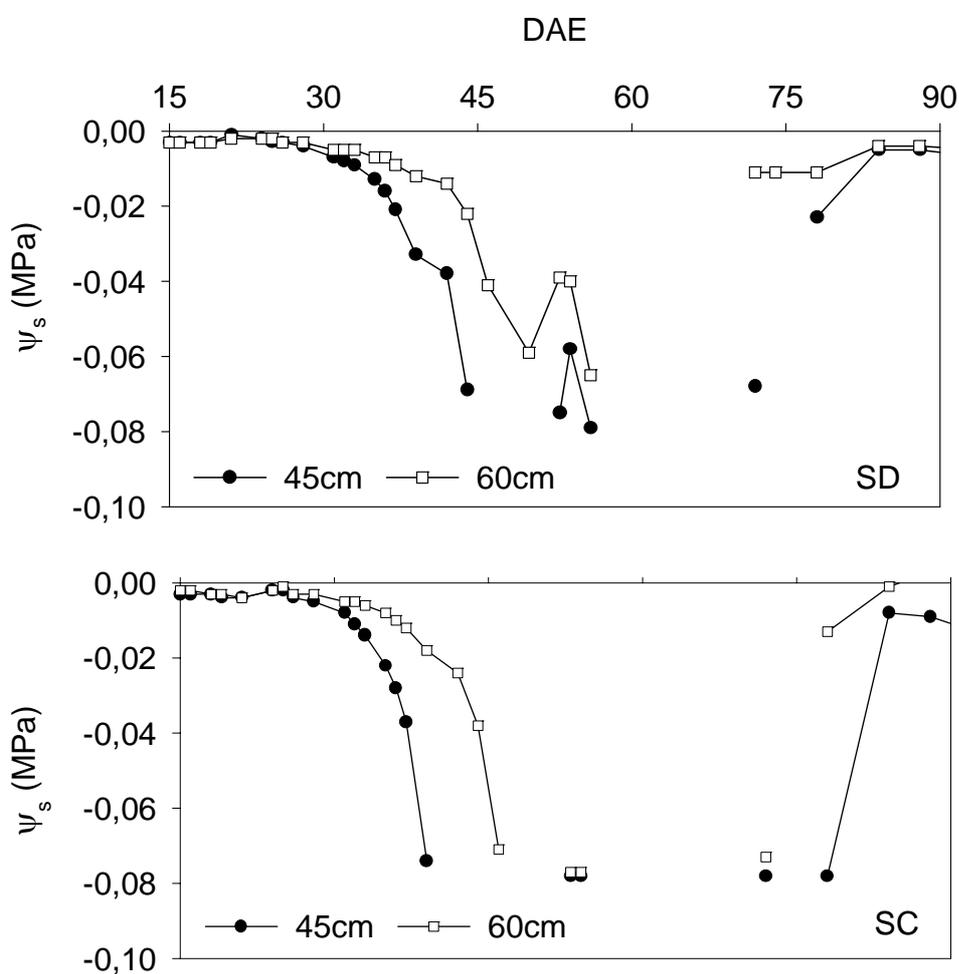


FIGURA 4. Potencial matricial da água no solo (ψ_s) a 45 e 60 cm de profundidade em semeadura direta (SD) e convencional (SC), sem irrigação (I0), no período dos 15 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

O ψ_s aumentou levemente na parcela sob SD, devido à ocorrência de precipitações em torno dos 50 DAE, o que não se observou em SC. A estabilidade em SC, neste dia, pode ser devido à presença de uma camada compactada em torno de 20-30 cm, aproximadamente, que dificultaria a infiltração de água além destas profundidades (Canalli & Roloff, 1997). Devido à compactação, ocorreria também uma maior concentração de raízes entre as profundidades de 15 a 30 cm, que determinaria uma maior absorção de água pelas plantas nesta camada (Ball-Coelho et al., 1998), evitando assim o aumento do ψ_s em SC, abaixo desta profundidade.

Após esse período, dos 50 aos 70 DAE, houve déficit hídrico que levou a uma diminuição da água no solo em ambos os sistemas, visto que os tensiômetros haviam sido desativados, por terem atingido o seu limite de funcionamento. Neste limite teórico (-0,08 MPa) de ψ_s , em torno de 60 a 70% da água disponível já teria sido absorvida pelas plantas (Dalmago, 2004). Portanto, tanto em SD quanto em SC, a água prontamente disponível às plantas foi fortemente reduzida durante o período do déficit hídrico. Após esse período o ψ_s aumentou em ambos sistemas, mas com um leve atraso em SC quando comparado ao sistemas de SD, em razão da ocorrência de algumas precipitações pluviais, assim, disponibilizando água às plantas.

Nas parcelas com irrigação intermediária (Figura 5) houve diferenças contrastantes entre os sistemas, sendo que o sistema SD apresentou valores de ψ_s maiores do que o sistema de SC. No início do ciclo do milho (15 a 30 DAE), o ψ_s manteve-se praticamente constante em ambos sistemas, a partir dos 30 DAE houve uma queda no ψ_s , sendo esta mais intensa em SC.

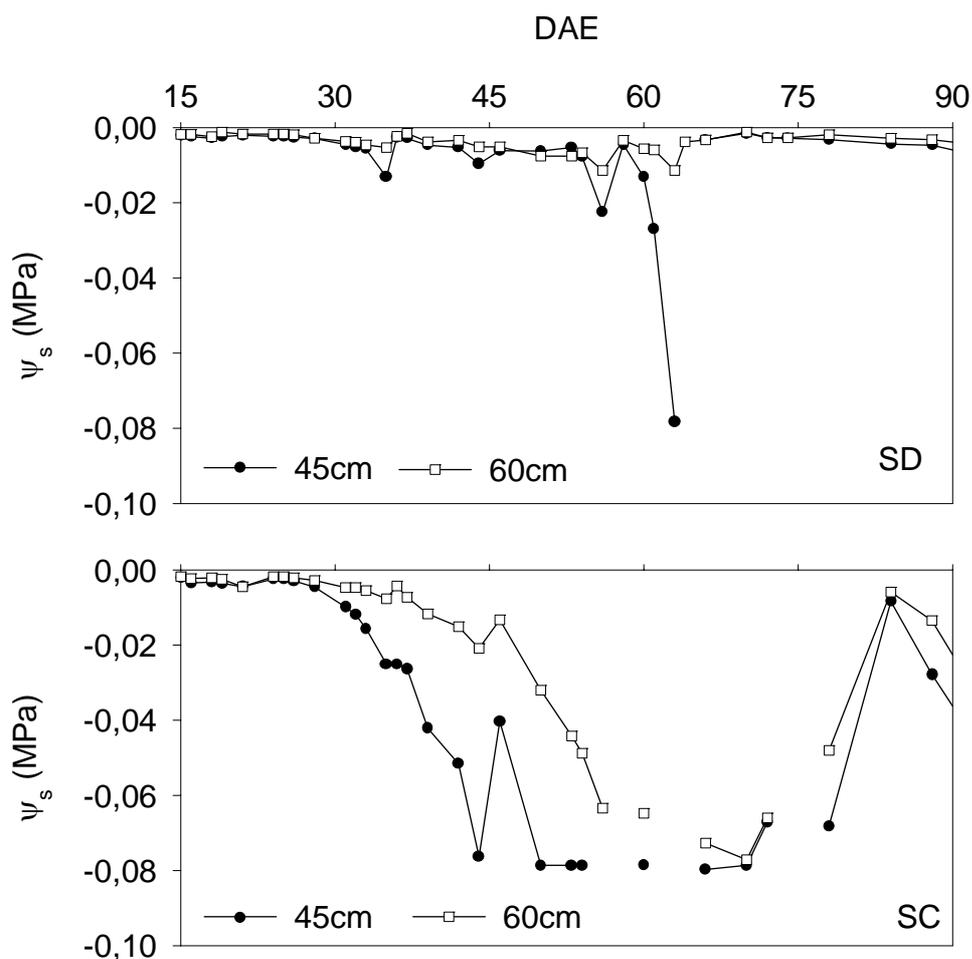


FIGURA 5. Potencial matricial da água no solo (ψ_s) a 45 e 60 cm de profundidade em semeadura direta (SD) e convencional (SC), com irrigação intermediária (I1), no período dos 15 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Aos 46 DAE o ψ_s aumentou em SD, em razão da ocorrência de uma precipitação pluvial, mas tornou a diminuir aos 58 DAE. Durante o período do déficit hídrico (50 aos 70 DAE), em SC os tensiômetros permaneceram desativados nas duas profundidades ao longo de seis dias, enquanto que em SD isso só ocorreu a 45 cm de profundidade, e este esteve desativado por apenas três dias. A 60cm de profundidade havia água disponível às plantas no sistema de SD, o que não foi observado no sistema de SC. Após os 72 DAE, em razão das

precipitações ocorridas, o ψ_s aumentou em ambos sistemas. Mas aos 74 DAE em SC os tensiômetros foram desativados novamente, o que não se observou em SD, que manteve constante o ψ_s até o final do período das medições. Isto evidencia que as plantas cultivadas sob SD, no período do déficit hídrico estiveram por mais tempo com água disponível do que as plantas cultivadas em SC.

Esta tendência de maior disponibilidade de água em SD também foi observada por Zai et al.(1990), que verificaram maior conteúdo de água em SD, quando comparado a SC, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho. Maior conteúdo de água no solo em SD, quando comparado a SC, pode-se refletir em maior rendimento na cultura do milho (Van Doren & Triplett, 1973), devido à presença da palha que contribui para o maior conteúdo de água no solo, em razão da menor evaporação. Entretanto, conforme Dalmago et al. (2003 b) a maior evaporação de água ocorre sob SD. Ainda em relação ao rendimento, Ball-Coelho et al. (1998), não encontraram diferenças entre sistemas, ao estudarem a distribuição radicular de plantas cultivadas em sistema de SD e SC, apesar de terem observado maior conteúdo de água no solo em SD. Com isso, percebe-se que existem outros fatores que determinam o rendimento, como a ocorrência ou não de déficit hídrico no período crítico da cultura, o qual conforme Bergamaschi et al. (2003 b), é fator determinante do rendimento final do milho.

O fato do ψ_s ter sido maior no nível intermediário de irrigação do que no nível de máxima irrigação em SD pode ser atribuído ao local onde os tensiômetros foram instalados. Eles foram instalados em uma área de sobreposição dos jatos de água dos aspersores, resultando assim em valores de ψ_s maiores do que aqueles instalados nas parcelas irrigadas.

Nas parcelas irrigadas (Figura 6), tanto em SD quanto em SC houve diminuição do ψ_s , com maior intensidade em SC, em razão da ocorrência do déficit hídrico. Em SD observou-se uma leve diminuição do ψ_s a 45 cm de profundidade, a partir dos 30 DAE, voltando a aumentar aos 42 e 45 DAE, em resposta a uma precipitação pluvial ocorrida aos 39 DAE e de uma irrigação realizada aos 45 DAE (Apêndice 2).

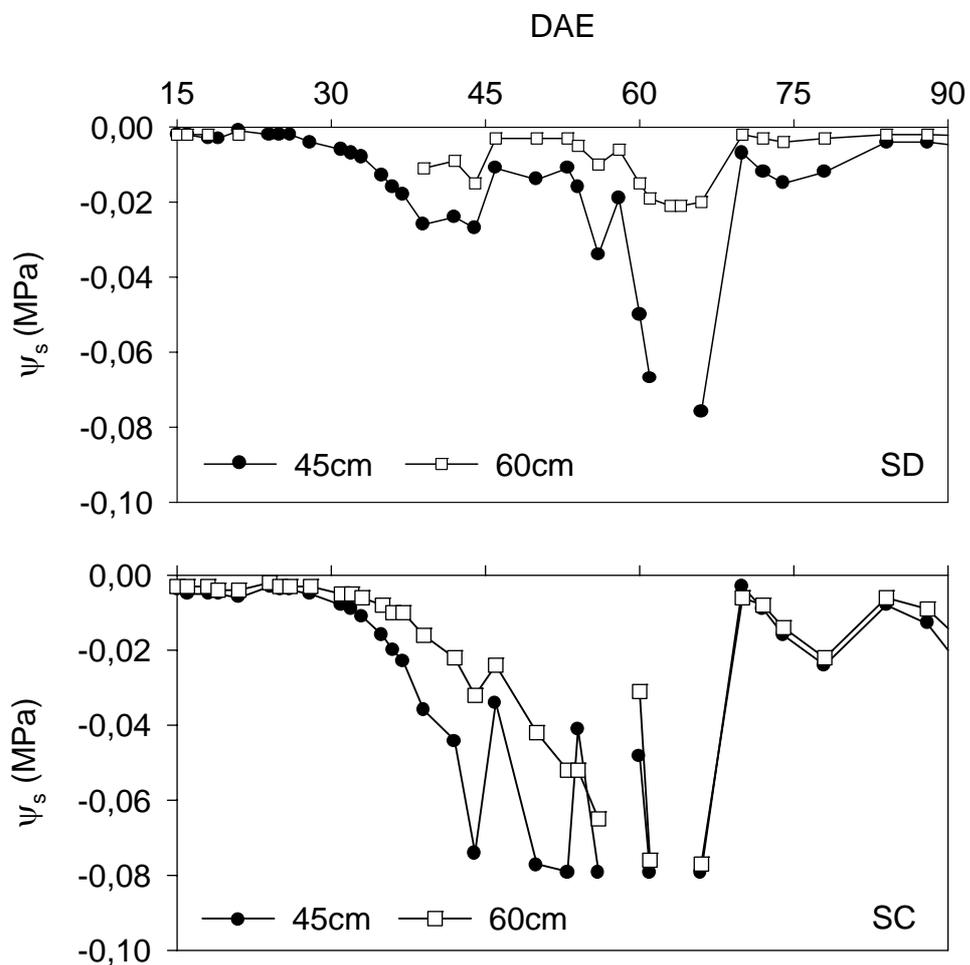


FIGURA 6. Potencial matricial da água no solo (ψ_s) a 45 e 60 cm de profundidade em semeadura direta (SD) e convencional (SC), com máxima irrigação (I2), no período dos 15 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Aos 63 DAE, observou-se o valor mais baixo de ψ_s a 45 cm de profundidade em SD, -0,07 MPa. Em SC a diminuição do ψ_s no período inicial das medições foi mais acentuada do que no SD. Posteriormente, em função da precipitação/irrigação (39, 40, 45 e 48 DAE) o ψ_s aumentou, principalmente na profundidade de 45 cm. Mas, logo diminuiu em resposta à redução da quantidade de água no solo, o que se observou em menor intensidade em SD e apenas a 45 cm de profundidade. Durante o déficit hídrico (50 a 70 DAE), em dois períodos estudados (58 DAE e 63-64 DAE) não havia água disponível às plantas em SC, em nenhuma das profundidades, o que não ocorreu em SD, visto que a 60 cm de profundidade os tensiômetros estavam em funcionamento.

Estas diferenças entre sistemas de manejo, com relação à disponibilidade de água no solo, estão relacionadas aos atributos físicos do solo que são modificados pelo manejo do mesmo. Sabe-se que a condição física de um solo influencia a quantidade de água disponível para as plantas (Canalli & Roloff, 1997). Com relação ao sistema de SD, diversos trabalhos citam modificações na física do solo, principalmente em relação à macro e microporosidade (Singh et al., 1996).

Devido à compactação do solo na camada superficial em SD, ocorre um aumento na densidade do solo, uma redução na macroporosidade e aumento da microporosidade (Canalli & Roloff, 1997), devido principalmente ao uso intensivo da área. O aumento da densidade do solo nas camadas superficiais no sistema de SD aumenta a quantidade de microporos, elevando a capacidade de armazenagem de água do mesmo nesse sistema, em relação ao sistema de SC disponibilizando, assim, mais água para as plantas, refletindo-se em maior potencial matricial da água no solo em SD.

A tendência de maior armazenamento de água no solo cultivado em sistema de SD, quando comparado ao SC, vem sendo constatada por alguns pesquisadores (Sidiras et al., 1983; Wagger & Denton, 1992; Dalmago et al., 2003 a). Sidiras et al. (1983) descreveram a influência de diferentes sistemas de manejo do solo sobre a umidade e observaram maior disponibilidade de água para a cultura de soja em SD e maiores rendimentos neste sistema, quando comparado com o SC. Da mesma forma, Wagger & Denton (1992) constataram maior conteúdo de água no solo sob SD, quando comparado ao SC, em um experimento com milho, o que determinou maiores rendimentos sob SD. De maneira geral, os autores atribuem a maior disponibilidade de água em SD às modificações físicas ocasionadas por este sistema de manejo e à redução da evaporação. Porém, Dalmago et al. (2003 b) constataram que a evaporação da água no solo é maior em SD, provavelmente pela própria presença da palha que mantém a evaporação mais estável ao longo do tempo. Estes autores, atribuem então, a maior disponibilidade de água em SD à maior retenção de água que ocorre neste sistema e não as menores taxas de evaporação.

Tudo isto mostra que o ψ_s pode fornecer dados para a diferenciação de sistemas de manejo quanto à disponibilidade de água às plantas, podendo ser utilizado como um indicador da condição hídrica das mesmas.

4.4. Indicadores da condição hídrica das plantas

4.4.1. Potencial mínimo da água na folha

Nas Figuras 7, 8 e 9 está representado o potencial mínimo da água na folha (ψ_{\min}) de milho, medido em alguns dias durante a condução do experimento. De maneira geral, o ψ_{\min} mostrou-se maior em SD do que em SC,

independentemente do nível de irrigação, embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas (Apêndices 9 a 11).

Nas parcelas sem irrigação ocorreram valores mais negativos de ψ_{\min} , quando comparados com as parcelas irrigadas. Entre as parcelas irrigadas, aquelas com máxima irrigação (I2) apresentaram ψ_{\min} maior do que no nível intermediário de irrigação (I1), decorrente da maior quantidade de água disponível às plantas. Essa diferenciação indica que o ψ_{\min} pode ser um bom indicador da condição hídrica de plantas de milho, quando estabelecidas condições contrastantes de umidade de água no solo, conforme já observado por Bergonci et al. (2000 b) e Pereira (2001). Assim, o ψ_{\min} pode ser utilizado para identificar uma condição de estresse já estabelecida.

Nas parcelas sem irrigação (Figura 7) podem ser observados três pontos importantes. O primeiro representa o ψ_{\min} com valores altos no primeiro dia de medição (42 DAE), sendo este maior em SD, porém em SC o valor do ψ_{\min} foi igual aos 42, 44 e 46 DAE. Isso ocorreu devido ao fato de que no solo sob SD havia mais água disponível às plantas do que no SC (Figura 4), determinando maior ψ_{\min} às plantas sob SD, tendo estas então uma melhor condição hídrica.

O segundo ponto é aquele em que o ψ_{\min} é semelhante entre os sistemas de manejo, aos 44 e 46 DAE. Nestes dias o ψ_{\min} foi igual a -1,5 MPa em ambos sistemas demonstrando que as plantas apresentaram uma adequada condição hídrica. Conforme Bergonci et al. (2000 b), o potencial mínimo da água na folha de -1,5 MPa indica a não ocorrência de déficit hídrico em milho, sendo que há uma recuperação do ψ_{\min} ao final do dia, com o fechamento estomático. Tal diminuição do potencial da água na folha resulta de um déficit de curto prazo,

causado pela alta demanda evaporativa da atmosfera, quando a transpiração supera a absorção (Kramer & Boyer, 1995).

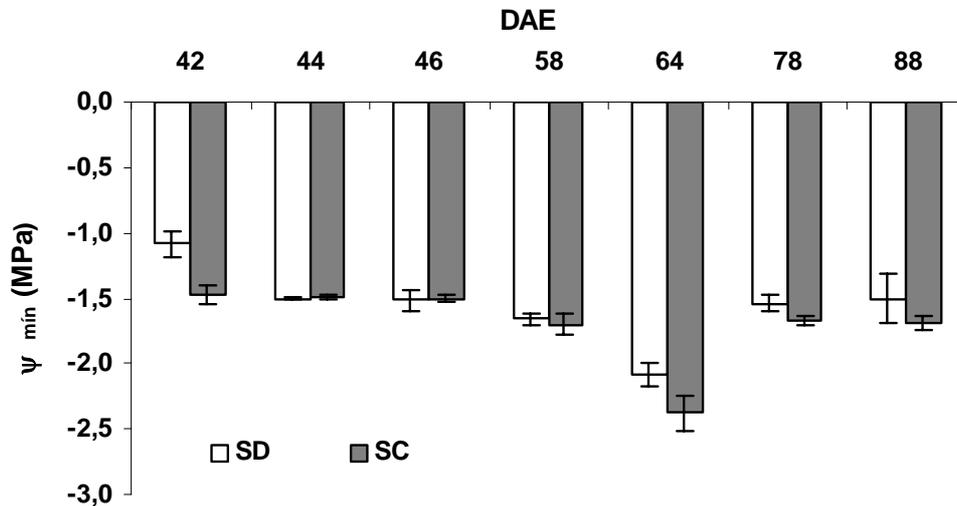


FIGURA 7. Potencial mínimo da água na folha (ψ_{\min}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC), sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

O último ponto representa os quatro últimos dias de medições, em que o ψ_{\min} foi maior em SD, quando comparado ao sistema de SC. Aos 58 e 64 DAE o ψ_{\min} diminuiu quando comparado aos dias anteriores de leitura. Em SD o ψ_{\min} variou de -1,66 MPa aos 58 DAE a -2,08 MPa aos 64 DAE, um pouco maior do que em SC, que apresentou valores de -1,70 MPa a -2,38 MPa, respectivamente. A diminuição do ψ_{\min} foi ocasionada pela intensificação do déficit hídrico durante estes dias, que causou a diminuição do ψ_s em ambos sistemas (Figura 4) e, conseqüentemente, do ψ_{\min} .

Nos dois últimos dias de leitura (78 e 88 DAE) o ψ_{\min} foi igual em cada sistema, apresentando valores de -1,5 MPa em SD e -1,7 MPa em SC. Este

aumento no $\psi_{\text{mín}}$, em relação aos dias anteriores, foi resultado de precipitações pluviais ocorridas a partir dos 69 DAE, que possibilitaram o aumento do conteúdo de água no solo e recuperação hídrica das plantas. Como o $\psi_{\text{mín}}$ foi maior em SD neste período as plantas cultivadas sob este sistema apresentaram uma melhor condição hídrica do que aquelas sobre SC.

Nas parcelas com irrigação intermediária (Figura 8) ocorreram diferenças pequenas entre os sistemas de semeadura. Na maioria dos dias em que foram realizadas as medições o $\psi_{\text{mín}}$ foi maior em SD do que em SC, seguindo a mesma tendência da parcela sem irrigação.

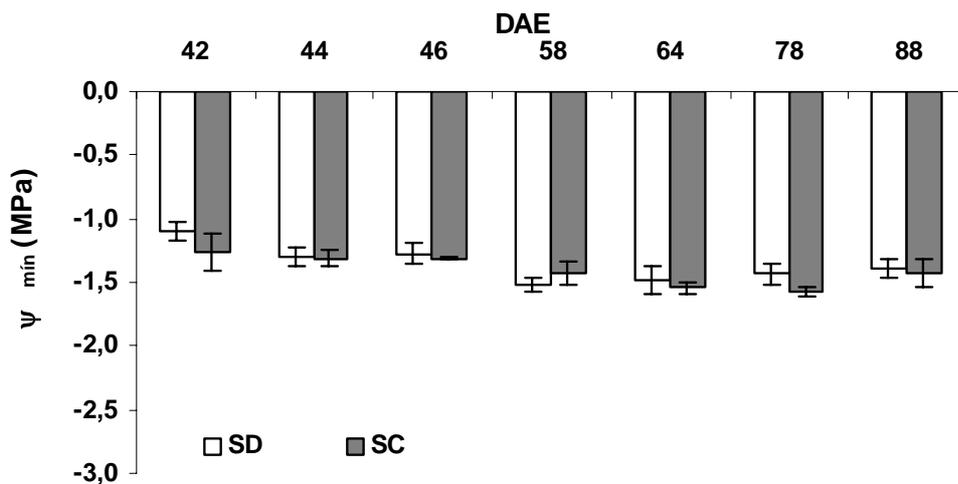


FIGURA 8. Potencial mínimo da água na folha ($\psi_{\text{mín}}$) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC), com irrigação intermediária (I1), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Aos 42 DAE o $\psi_{\text{mín}}$ foi maior em SD, principalmente devido à maior disponibilidade de água no solo, conforme já citado. Aos 44 e 88 DAE o mesmo foi praticamente igual para os dois sistemas, sendo de -1,30 MPa em SD e -1,31

MPa em SC e de -1,39 MPa e -1,42 MPa em SD e SC, respectivamente. Nestes dias, o ψ_{\min} foi ligeiramente maior em SD, devido à maior disponibilidade de água no solo sob este sistema, conforme visto anteriormente (Figura 5).

Aos 46, 64 e 78 DAE novamente o ψ_{\min} foi maior em SD. Esta condição ocorreu, principalmente, devido à maior disponibilidade de água no solo observada neste sistema (Figura 5). A diferença mais elevada no ψ_{\min} entre os sistemas ocorreu aos 78 DAE, conseqüência da menor disponibilidade de água no solo em SC, que dificulta a absorção de água devido a maior resistência ao fluxo tanto por parte do solo quanto por parte da raiz (Tardieu et al., 1993). Isso determinou a diminuição do ψ_{\min} , em razão do elevado fluxo de água entre a planta e a atmosfera. O ψ_{\min} apresentado pelas plantas neste dia foi de -1,44 MPa em SD e -1,58 MPa em SC.

Após o período de déficit hídrico, aos 88 DAE, as plantas apresentaram valores de ψ_{\min} semelhantes entre sistemas, mostrando a pronta recuperação da sua condição hídrica, visto que o ψ_{\min} se manteve com valores maiores de -1,50 MPa. Esta recuperação ocorreu devido a uma intensa precipitação pluvial ocorrida aos 80 DAE (Figura 2).

Nas parcelas com máxima irrigação (Figura 9) o ψ_{\min} também apresentou diferenças entre os sistemas de manejo durante os dias analisados, principalmente aos 64 DAE. Dos 42 aos 58 DAE a diferença entre os sistemas foi pequena, sendo que o maior ψ_{\min} foi em SD durante quase todos os dias analisados. Os valores do ψ_{\min} nestes dias não foram inferiores a -1,39 MPa, demonstrando a adequada condição hídrica das plantas irrigadas tanto em SD quanto em SC (Figura 6).

Aos 64 DAE o ψ_{\min} (Figura 9) foi maior em SD, quando comparado ao sistema SC. Em SC o ψ_{\min} foi de -1,59 MPa, menor valor observado entre os sistemas no máximo nível de irrigação, fato que pode ser atribuído ao menor ψ_s observado nesse dia em ambos os sistemas e à maior demanda evaporativa da atmosfera, também determinada pelo alto déficit de saturação do ar (Apêndice 5).

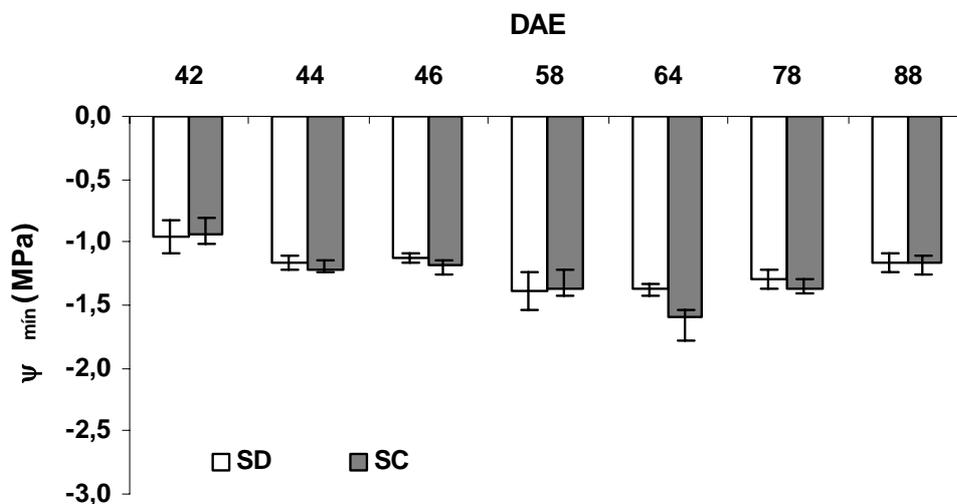


FIGURA 9. Potencial mínimo da água na folha (ψ_{\min}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com máxima irrigação (I2), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Comparando os valores do ψ_{\min} aos 64 com aqueles dos 78 DAE observa-se um aumento do ψ_{\min} tanto em SD quanto em SC. Esse aumento pode ser atribuído às precipitações pluviais ocorridas (Figura 2) e às irrigações efetuadas (Apêndice 2) neste período, as quais, determinaram um aumento na quantidade de água no solo, possibilitando uma maior absorção de água pelas plantas cultivadas em ambos sistemas. Aos 88 DAE não houve diferenças no ψ_{\min} entre os sistemas de semeadura.

Observando-se os dados de $\psi_{\text{mín}}$, percebe-se claramente que este acompanhou os resultados de ψ_s . Quando o ψ_s foi alto o $\psi_{\text{mín}}$ também foi elevado, sendo este maior em SD na maioria dos dias de leitura. Portanto o $\psi_{\text{mín}}$ mostrou-se um indicador adequado da condição hídrica das plantas, pois ressaltou diferenças em relação ao conteúdo de água no solo e, conseqüentemente, entre os sistemas de manejo.

Embora a literatura pertinente ao assunto não apresente estudos demonstrando diferenças significativas de comportamento do potencial da água na planta em SD e SC, a mesma é rica em estabelecer relações entre o potencial da água na folha e a quantidade de água disponível no solo (Kramer & Boyer, 1995; Jones & Tardieu, 1998; Bergonci et al., 2000 b; Hsiao & Xu, 2000; Li et al, 2002).

4.4.2. Potencial de pressão

O potencial de pressão (ψ_p) das parcelas sem irrigação está representado na Figura 10. Observa-se que, durante quase todo o período de medidas, o ψ_p se manteve com valores abaixo de 0,4 MPa, em razão dos baixos $\psi_{\text{mín}}$ observados nessas parcelas (Figura 7). Apenas aos 42 DAE o ψ_p foi superior a 0,4 MPa, em razão do elevado $\psi_{\text{mín}}$ em SD. Dos 44 aos 78 DAE o ψ_p foi baixo ou até nulo em ambos os sistemas, em razão da situação de déficit hídrico que se estabeleceu (Figura 2). Somente aos 88 DAE houve uma semelhança nos valores do ψ_p , em razão da recuperação hídrica das plantas já citada anteriormente.

Quando o ψ_p foi nulo aos 46, 64 e 78 DAE pode ter ocorrido uma intensa desidratação a nível celular. Como essa desidratação esteve acompanhada por um processo ativo de produção de solutos (ajuste osmótico) apenas aos 46 e 64 DAE, pode-se inferir que aos 78 DAE as células das plantas

cultivadas sob SD entraram em um processo de desidratação celular, e nenhum acúmulo de solutos foi observado neste dia. Com o aumento do ψ_p aos 88 DAE, em razão do aumento do $\psi_{\text{mín}}$, as plantas recuperaram sua condição hídrica.

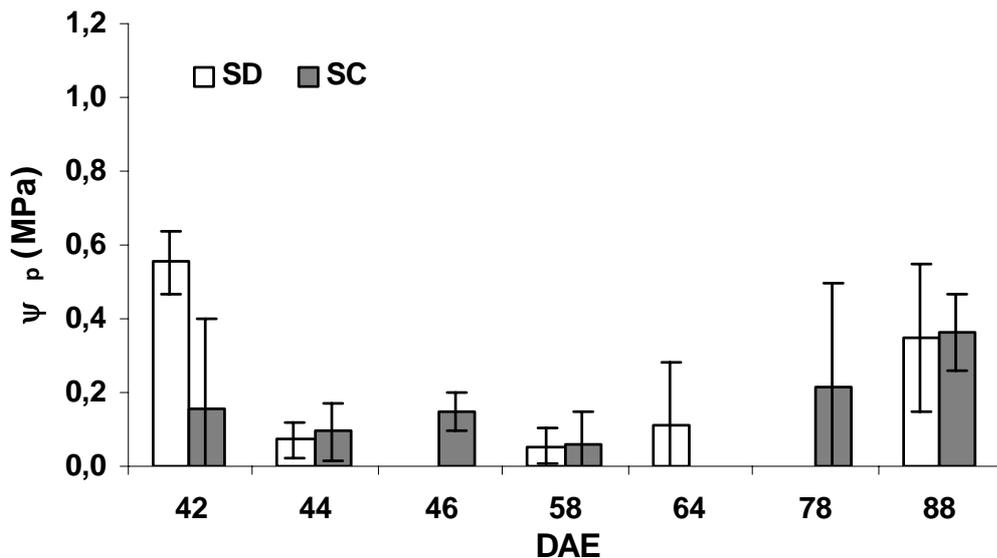


FIGURA 10. Potencial de pressão (ψ_p) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Nas parcelas com máxima irrigação (Figura 11) o ψ_p apresentou valores mais elevados do que as parcelas sem irrigação, em razão do maior $\psi_{\text{mín}}$ (Figura 9), ocasionado pela maior disponibilidade de água no solo (Figura 6). O ψ_p nestas parcelas ora foi maior em SD, ora maior em SC. Estas diferenças, embora não significativas (Apêndices 12 e 13), podem ser devido à heterogeneidade das plantas avaliadas.

A diminuição do ψ_p observada tanto nas parcelas com máxima irrigação, quanto nas sem irrigação pode ter influenciado o crescimento celular,

visto que este depende do ψ_p para que ocorra a expansão celular (Boyer, 1970). Diminuição da taxa de crescimento de *Cistus albidus*, durante um período de déficit hídrico, foi observada quando o ψ_p destas plantas foi relativamente baixo (0,1 MPa), em razão de déficit hídrico imposto a elas. Após o estresse, houve recuperação do crescimento, em razão do aumento do ψ_p , indicando que a limitação do crescimento é mais dependente do ψ_p do que da fotossíntese, pois a taxa de assimilação não demonstrou nenhuma mudança durante o período do déficit hídrico (Sánchez-Blanco et al., 2002).

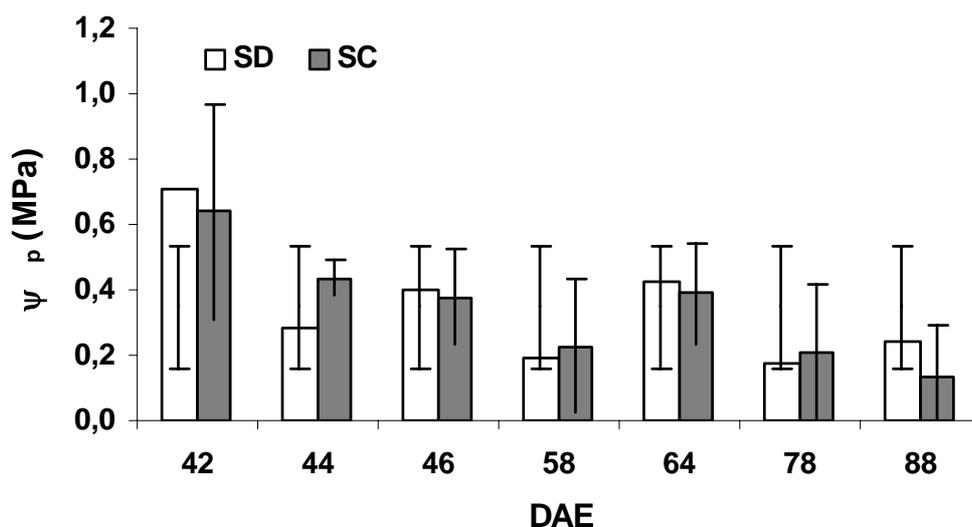


FIGURA 11. Potencial de pressão (ψ_p) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com máxima irrigação (I2), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Diminuição do ψ_p também foi observada em milho (Premachandra et al., 1992) e em trigo (Bajji et al., 2001), em razão de déficit hídrico, que causou diminuição do conteúdo de água no solo e, conseqüentemente, do ψ_{\min} e do ψ_p .

Isso demonstra que a resposta geral das plantas de milho em situação de déficit hídrico é a diminuição do $\psi_{\text{mín}}$, em razão do menor conteúdo de água no solo, que leva também à diminuição do ψ_p celular. Essa queda do ψ_p pode ou não afetar o crescimento da planta, dependendo da intensidade do déficit hídrico. Sendo o déficit hídrico intenso, a planta pode desenvolver mecanismo de ajuste osmótico (Morgan, 1994), que mantém as atividades fisiológicas das mesmas, mesmo em baixos potenciais da água.

4.4.3. Potencial osmótico

O potencial osmótico hidratado (ψ_{oh}) nas parcelas sem irrigação (Figura 12) apresentou valores menores do que nas parcelas irrigadas (Figura 13), na maioria dos dias.

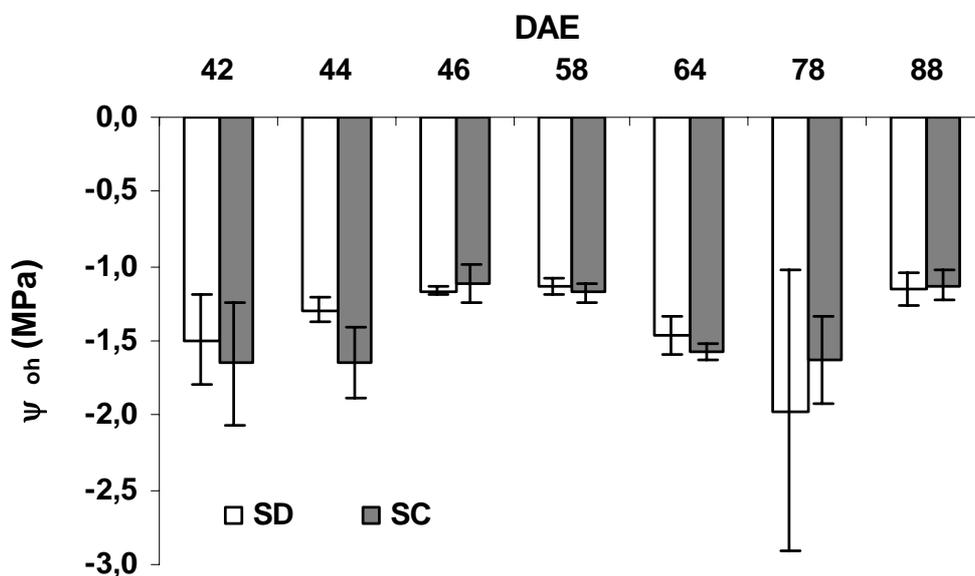


FIGURA 12. Potencial osmótico hidratado (ψ_{oh}) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) sem irrigação (I0), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Houve pequenas diferenças entre os sistemas, sendo que em 2 dos 7 dias analisados o ψ_{oh} foi maior em SD. A maior diferença observada foi aos 78 DAE, sendo o ψ_{oh} em SD de $-1,97$ MPa, bem menor do que em SC, que foi de $-1,63$ MPa.

Nas parcelas irrigadas (Figura 13) o ψ_{oh} apresentou pequenas variações entre sistemas, sendo na maioria dos dias maior em SD, caracterizando, novamente, uma melhor condição hídrica das plantas sob SD.

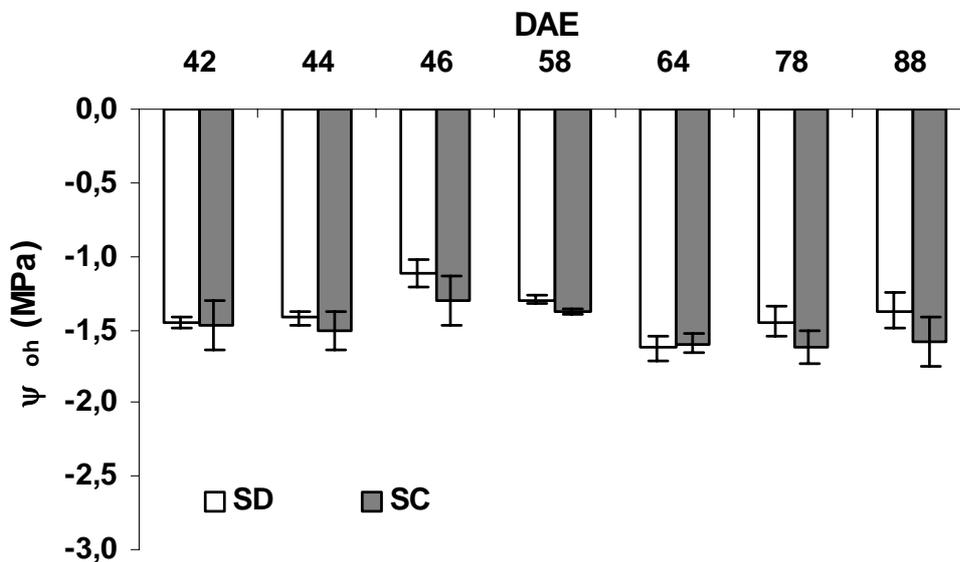


FIGURA 13. Potencial osmótico hidratado (ψ_{oh}) em milho cultivado em sementeira direta (SD) e convencional (SC) com máxima irrigação (I2), no período dos 42 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

A diminuição do ψ_{oh} nas parcelas não irrigadas indica que houve produção de solutos e, como consequência, a ocorrência do ajuste osmótico.

Diminuição no ψ_{oh} também foi observada por Jensen et al. (2000), ao estudarem relações hídricas de *Chenopodium quinoa* durante um déficit hídrico

no solo. Em um estudo com diferentes cultivares de trigo, Bajji et al. (2001) também observaram queda no ψ_{oh} em razão do déficit hídrico, sendo esta queda mais acentuada em folhas que ainda estavam em crescimento. Também em trevo houve diminuição do ψ_{oh} , indicando a ocorrência de acúmulo de solutos em plantas sob déficit hídrico (Iannucci et al., 2002).

Em todos estes estudos a diminuição do ψ_{oh} foi em resposta a uma situação de déficit hídrico, que ocasionou uma produção ativa de solutos, caracterizando a ocorrência de ajuste osmótico.

4.4.4. Ajuste osmótico

O ajuste osmótico (AO) está representado na Figura 14. Observa-se que houve AO em ambos sistemas, com frequência maior em SD, porém mais intenso em SC.

Em ambos sistemas de manejo o AO ocorreu em resposta ao déficit hídrico, que ocasionou queda no $\psi_{mín}$. Em resposta a essa diminuição, as plantas produziram solutos que ocasionaram diminuição do ψ_{oh} que, por sua vez, atraíram água para dentro da célula, mantendo assim a turgidez celular.

Através do ajuste osmótico a turgidez e o crescimento celular podem ser mantidos, mesmo em condições de deficiência hídrica no solo. O ajuste osmótico foi detectado em grande número de plantas cultivadas, e desenvolve-se, preferencialmente, em plantas que sofrem uma secagem lenta, não persistindo mais do que alguns dias (Angellocci, 2002).

O ajuste osmótico não ocorreu em todos os dias de medições. Isto pode ter sido causado pela condição de estresse anterior a estes períodos (42 e

78 DAE), pois se o déficit hídrico não for muito intenso o decréscimo no potencial osmótico não é suficiente para causar ajuste (Morgan, 1984).

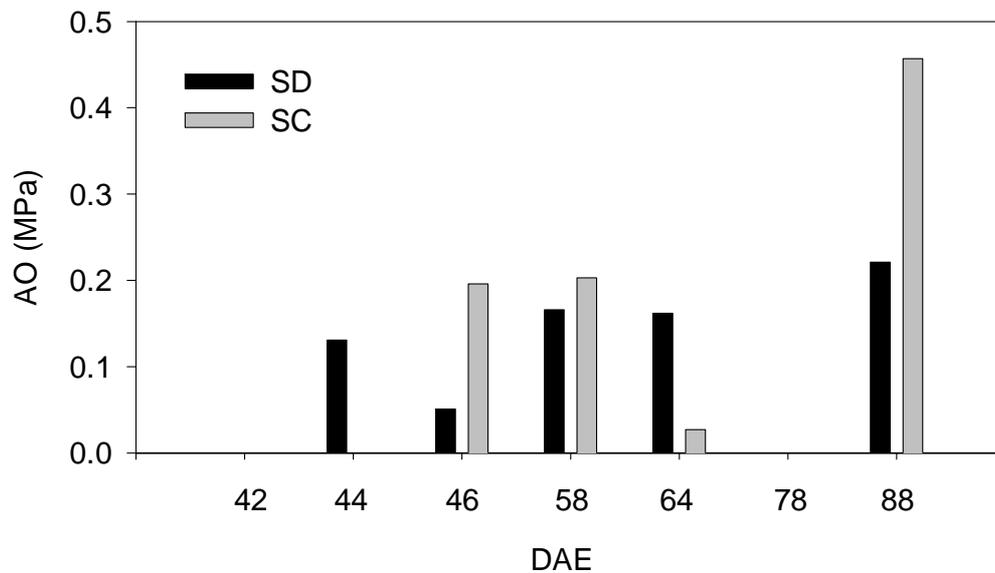


FIGURA 14. Ajuste osmótico (AO) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC), no período dos 44 aos 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Com a ocorrência de AO as plantas de milho demonstraram que possuem mecanismo de tolerância ao déficit hídrico, podendo sobreviver sob situação de estresse. Nayyar (2003) também observou ajuste osmótico em milho, quando este foi submetido a estresse, observando valores de 0,4 MPa semelhantes aos encontrados neste trabalho.

O ajuste osmótico mostrou-se um adequado indicador da condição hídrica das plantas, demonstrando que estas estiveram em situação de déficit hídrico por um período relativamente longo, como fora observado através do balanço hídrico da cultura (Figura 3).

4.4.5. Condutância foliar

4.4.5.1. Condutância foliar máxima

A condutância foliar máxima ($g_{\text{máx}}$), medida nos mesmos dias dos potenciais, está representada na Figura 15. Os maiores valores de $g_{\text{máx}}$ ocorreram nas parcelas irrigadas e os menores nas não irrigadas.

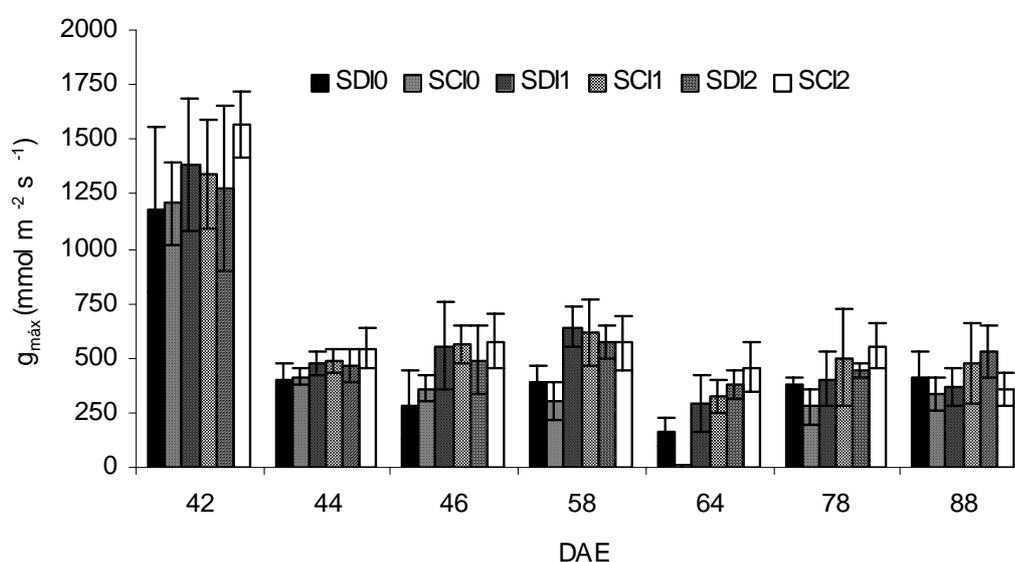


Figura 15. Condutância foliar máxima ($g_{\text{máx}}$) de milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com irrigação (I2), irrigação em nível intermediário (I1) e sem irrigação (I0), no período de 42 a 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Analisando-se as parcelas sem irrigação, observa-se que $g_{\text{máx}}$ foi maior aos 42 DAE quando comparada aos demais dias de medições, independentemente do sistema de manejo, seguindo a mesma tendência do $\psi_{\text{mín}}$ (Figuras 4, 5 e 6). O valor elevado de $g_{\text{máx}}$ no primeiro dia pode ser devido ao conteúdo de água no solo (Figura 4), que neste dia foi elevado, o que determinou

maior ψ_{\min} (Figura 7), desencadeando maior abertura estomática. Segundo Bergonci et al. (2000 a) os estômatos são sensíveis ao estado hídrico da folha, tendendo a abrir com o aumento do potencial da água na folha.

Aos 44 e 46 DAE g_{\max} diminuiu em 10, quando comparada ao primeiro dia, tanto em SD quanto em SC. Isso ocorreu em resposta à diminuição da água no solo (Figura 4), ocasionando menor ψ_{\min} (Figura 7) e, conseqüentemente, menor abertura estomática, mesmo nas primeiras horas da manhã. A g_{\max} aos 44 e 46 DAE nas parcelas sem irrigação foi maior em SC.

A diminuição da g_{\max} ocorreu em resposta à situação de estresse que se estabeleceu. Com isso, as plantas regularam a sua transpiração pelo decréscimo da condutância foliar, a fim de evitarem a perda de água para o ambiente (Sperry, 2000).

A partir dos 58 DAE, até o último dia de medição (88 DAE), ocorre uma inversão, ou seja, a g_{\max} passou a ser maior nas plantas sobre SD (em 10). Observa-se, também, uma diminuição da g_{\max} aos 64 DAE, em razão do aumento da demanda evaporativa atmosférica, sendo a g_{\max} maior em SD. Provavelmente, isso ocorreu em resposta ao elevado déficit de saturação do ar (Apêndice 5), que levou a uma diminuição da abertura estomática, principalmente nas plantas sob SC, diminuindo assim a g_{\max} .

Com um déficit de saturação do ar elevado há um acentuado gradiente de vapor entre a folha e o ar, que é a força motriz da transpiração, o que intensifica o fluxo de água através da planta em condições de adequado suprimento hídrico. Mas, quando o solo se encontra com baixo potencial da água o déficit hídrico ocorre, em razão do elevado fluxo de água através dos estômatos, com isso, estes tendem a se fechar a fim de evitar maiores perdas de

água o que, de certa forma, pode limitar a condutância foliar (Bergamaschi et al., 1989).

Após os 64 DAE a $g_{m\acute{a}x}$ aumentou em I0, em ambos sistemas, principalmente devido à diminuição do déficit de saturação do ar (Apêndice 5). Contudo, as plantas cultivadas sob SD apresentaram maior $g_{m\acute{a}x}$ mostrando assim, uma melhor condição hídrica, pois estas estiveram por mais tempo com os estômatos abertos, reduzindo a limitação estomática, possibilitando trocas gasosas com o ambiente, mantendo assim a atividade fotossintética.

Observou-se, também, que parece haver um valor de $\psi_{m\acute{i}n}$ em torno de $-1,5$ MPa (observado a partir dos 44 DAE; Figura 7) a partir do qual a $g_{m\acute{a}x}$ diminui, tanto em sistema SD quanto em sistema SC. Esta tendência também foi observada por Bergonci et al. (2000 b), ao estudarem o comportamento da condutância foliar de milho cultivado em semeadura convencional, em parcelas irrigadas.

Aos 64 DAE, a condutância foliar máxima foi de $6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em SC nas parcelas sem irrigação. Nesta condição, o fechamento estomático já ocorre nas primeiras horas do dia em SC, o que não foi observado em SD, pois a condutância foi de $165 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Novamente, esta constatação mostra a melhor condição hídrica das plantas cultivadas sob SD, visto que estas mantiveram os estômatos abertos, mesmo em uma condição de elevada demanda evaporativa (Figura 15).

A redução da abertura estomática pode estar relacionada à menor disponibilidade de água no solo, que causa maior resistência tanto do solo quanto das raízes em transportar água (Tardieu et al., 1993). A redução do fluxo de água no sistema, devido aos baixos potenciais da água no solo, reduz a condutividade

hidráulica dos tecidos condutores, que, por sua vez, diminuem os fluxos de água para as folhas, com conseqüente queda na turgidez das células estomáticas causando assim o fechamento dos estômatos (Sperry, 2000). Esta é uma resposta direta, também em função da diferença dos níveis de vapor d'água entre a folha e o ar, que elevada a transpiração, fazendo com que as células ao redor do estômatos percam água para as células vizinhas, desencadeando perda de água das células-guarda para as células epidérmicas diminuindo assim o potencial hídrico, que é mensagem para o fechamento estomático, quando o turgor atinge potencial zero (Schulze, 1986).

Nas parcelas com irrigação intermediária (Figura 15) a $g_{máx}$ foi menor nas plantas cultivadas sobre SD na maioria dos dias de medições. Apenas aos 42 e 58 DAE a $g_{máx}$ foi maior em SD.

Nas parcelas com máxima irrigação (Figura 15) a $g_{máx}$ foi menor em SD na maioria dos dias de medições, sendo maior em SD apenas aos 58 e 88 DAE.

Diferenças na $g_{máx}$ em relação a sistemas de manejo podem ser devidas à transpiração das plantas. Ao estudarem as trocas gasosas de duas variedades de trigo Sasaki & Machado (1999) observaram uma relação semelhante entre a transpiração e a condutância foliar, em relação ao potencial mínimo da água na folha, sendo que estas diminuíram em razão da diminuição do potencial mínimo. Diminuição da condutância e da transpiração também foram observadas em noqueiras submetidas a déficit hídrico. Os menores valores de condutância e transpiração observados foram atribuídos ao secamento do solo, que aumentou as resistências do mesmo e das raízes em conduzir água (Cochard et al., 2002)

Quando a $g_{\text{máx}}$ é alta a transpiração das plantas é maior, resultado da melhor condição hídrica do solo e da planta, que propícia a continuação do fluxo de água ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. Conforme um trabalho realizado durante a condução deste experimento, em parcelas irrigadas, em dois anos, percebeu-se maiores taxas de transpiração em SC, no período inicial do crescimento das plantas mas esta passou a ser maior em SD no período do pendoamento-espigamento (Dalmago et al., 2003 c). Isso vem ao encontro dos maiores valores de $g_{\text{máx}}$ em SC, observados no período inicial do crescimento do milho, ou seja, até os 46DAE, e no pendoamento-espigamento, quando a $g_{\text{máx}}$ foi maior em SD (58 e 88 DAE). Conforme Dalmago et al. (2003) os maiores valores de transpiração em SC no período inicial do crescimento das plantas, ocorreram devido a maior capacidade de exploração do solo pelas raízes destas plantas, uma vez que os nutrientes não estão concentrados na camada superficial do solo como ocorre em SD, facilitando o aprofundamento do sistema radicular. Durante o pendoamento-espigamento, a transpiração foi maior em SD, apesar da ocorrência de um pequeno déficit hídrico. Sob SD observou-se, então, uma melhor condição hídrica das plantas, proporcionada por uma maior disponibilidade de água no solo, principalmente na camada mais superficial, devido a maior quantidade de matéria orgânica.

Quando se compara a $g_{\text{máx}}$ nos níveis extremos de água, ou seja, sem e com irrigação, observa-se que a maior $g_{\text{máx}}$ ocorreu nas parcelas com máxima irrigação. Isto é resultado da maior disponibilidade de água às plantas nessas parcelas, que permitiu maior transpiração e, conseqüentemente, maiores valores de $g_{\text{máx}}$.

Observa-se, também, que durante cinco dos sete dias de medições a $g_{m\acute{a}x}$, apresentou a mesma tend\ecncia, em rela\c\cdo aos sistemas de manejo, ou seja, inicialmente maior em SC e ap\os maior em SD, para os tratamentos I0 e I2. J\c, aos 64 e 78 DAE, observou-se que a $g_{m\acute{a}x}$ tendeu a ser maior em SD nas parcelas sem irriga\c\cdo e menor nas parcelas com m\cxima irriga\c\cdo.

4.4.5.2. Condut\ncncia foliar m\ncnima

Na Figura 16 est\c representada a condut\ncncia foliar m\ncnima ($g_{m\acute{i}n}$) observada em todos os tratamentos. Nas parcelas sem irriga\c\cdo a $g_{m\acute{i}n}$ foi igual nos dois sistemas de manejo, no primeiro dia de medi\c\cdo. Aos 44 e 46 DAE a $g_{m\acute{i}n}$ foi maior em SC e, ap\os este per\cdodo, at\c os 88 DAE, a $g_{m\acute{i}n}$ foi sempre maior em SD, seguindo a mesma tend\ecncia dos valores da ($g_{m\acute{a}x}$), ou seja, maior em SC no in\cdio e, ap\os, em SD. Somente a amplitude dos valores foi menor, pois as medi\c\c\es foram realizadas nas horas de maior demanda evaporativa, e, portanto, a amplitude foi menor do que a de $g_{m\acute{a}x}$.

Observam-se diferen\c\cas entre os sistemas de manejo nas parcelas com irriga\c\cdo intermedi\c\c\ria, em que ora a $g_{m\acute{i}n}$ foi maior em SD ora em SC. N\c se observou tend\ecncia de maiores valores em SD, como ocorreu na $g_{m\acute{a}x}$ (Figura 16).

A $g_{m\acute{i}n}$ das parcelas com m\cxima irriga\c\cdo mostrou-se menor em SD em seis dos sete dias analisados. A $g_{m\acute{i}n}$ s\o foi maior em SD aos 78 DAE.

O fato da condut\ncncia foliar tanto m\ncnima quanto m\cxima ter sido menor em SD, na maioria dos dias, reflete que, em uma situa\c\cdo de elevada demanda, ou seja, de estresse acentuado, as plantas sobre SD apresentaram caracter\xcdsticas conservadoras de \cgua. Houve uma diminui\c\cdo da condut\ncncia

foliar, de forma a manter a turgidez das folhas, mesmo estando essas plantas com ψ_{\min} elevado, em relação às plantas sob SC, durante estes dias, sem cessar o fluxo transpiratório. Esta tendência foi observada por Turner (1974), ao estudar a condutância de milho em plantas irrigadas e não irrigadas, sendo que as plantas irrigadas apresentaram diminuição da condutância foliar, quando comparada com as não irrigadas. Torrecillas et al. (1995), estudando relações hídricas em duas espécies de tomate submetidas a déficit hídrico, também observaram menor condutância em uma das espécies estudadas, mesmo após a rehidratação, e concluiu que esta espécie apresentou um mecanismo de proteção ao déficit, pois manteve sua condutância baixa, a fim de recuperar seu turgor mais rapidamente.

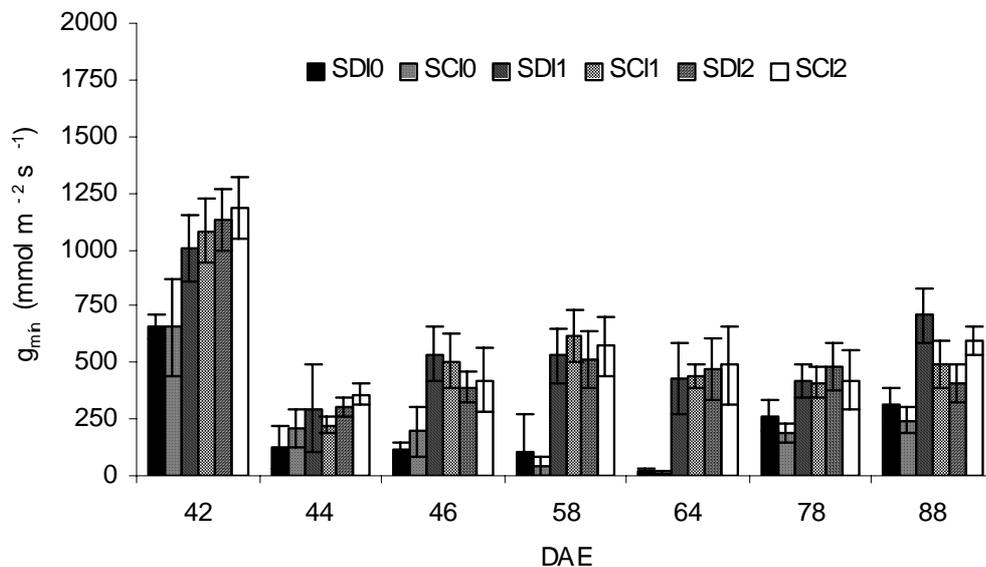


Figura 16. Condutância foliar mínima (g_{\min}) de milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com irrigação (I2), irrigação em nível intermediário (I1) e sem irrigação (I0), no período de 42 a 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Isto também vem ao encontro da ocorrência observada de menor ajuste osmótico nas plantas sob SD, quando comparado ao sistema de SC. Como estas estiveram com maior suprimento hídrico o grau de ocorrência de ajuste osmótico não foi muito elevado, quando comparado ao sistema de SC.

Quando se compara a g_{\min} nas parcelas sem e com máxima irrigação, observa-se a mesma tendência da g_{\max} nos três primeiros dias de medições. De 58 a 88 DAE, na ausência de irrigação a g_{\min} foi maior em SD, enquanto que nas plantas irrigadas a g_{\max} foi maior em SD apenas a 78 DAE.

4.6. Relação entre indicadores

A condutância foliar mínima, relacionada ao potencial mínimo da água na folha, está representada na Figura 17. A g_{\min} diminuiu com a queda do ψ_{\min} em todos os tratamentos, comprovando uma relação direta entre as duas variáveis. Estudos da relação entre ψ_{\min} e g_{\min} são relatados na literatura, em trabalhos realizados por Bono (1997), Pereira (2001) e França (2003), ao estudarem a cultura do milho.

Jensen et al. (2000) observaram a mesma tendência de diminuição da condutância foliar, em razão da queda do potencial mínimo em *Quinoa*, durante três estádios de crescimento. Da mesma forma, Sasaki & Machado (1999) observaram diminuição da condutância em trigo, em razão da diminuição do potencial mínimo. Porém, Ansley et al. (1992) não encontraram uma clara relação entre o potencial da água foliar médio ao longo do dia e a condutância estomática.

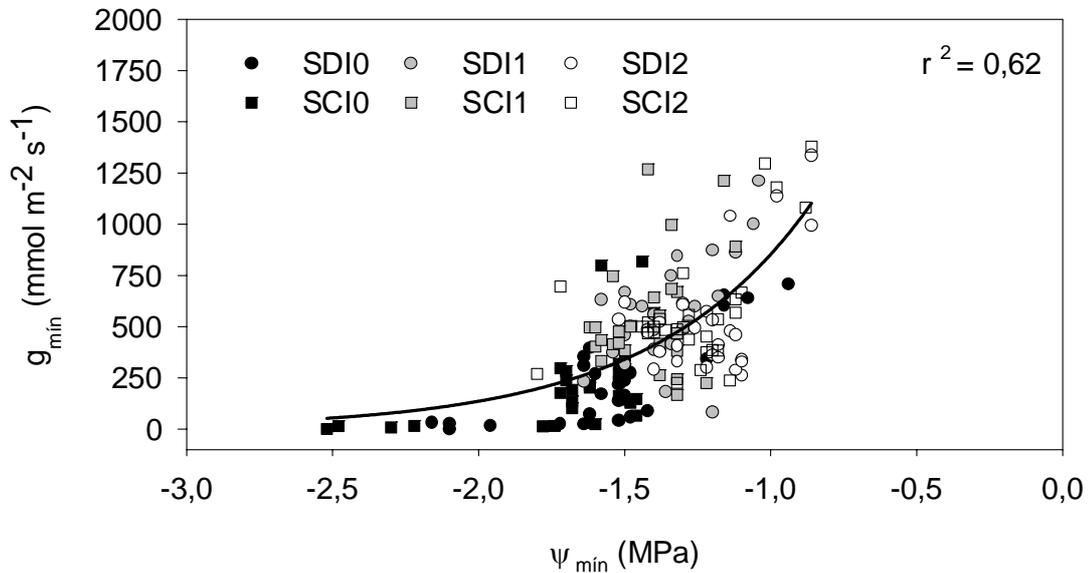


Figura 17. Relação entre potencial mínimo da água na folha ($\psi_{\text{mín}}$) e condutância foliar mínima ($g_{\text{mín}}$) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com irrigação (I2), irrigação em nível intermediário (I1) e sem irrigação (I0), no período de 42 a 88 dias após a emergência (DAE). Eldorado do Sul, RS.

Na mesma Figura 17 observa-se que, abaixo de um $\psi_{\text{mín}}$ de $-1,0$ MPa até $-1,5$ MPa, ocorreu uma diminuição acentuada da condutância foliar, principalmente nas parcelas sem irrigação, ocorrendo fechamento estomático, principalmente em SCI0, a partir de um potencial de $-2,0$ MPa. Resultados semelhantes foram encontrados por Bergonci (1997) e Pereira (2001), para os quais a condutância foliar do milho cultivado sob SC tendeu a zero quando o potencial mínimo da água na folha foi de $-2,2$ e $-2,5$ MPa, respectivamente. Entre $\psi_{\text{mín}}$ de $-1,0$ e $-1,5$ MPa, faixa em que foi obtida a maior quantidade de pontos, principalmente das parcelas irrigadas, a condutância apresenta grande variabilidade. Isto pode ser atribuído às interações com as condições micrometeorológicas, sobretudo radiação solar, temperatura do ar, déficit de

saturação e vento, que atuam sobre os estômatos. Acima de um potencial mínimo da água na folha $-1,0$ MPa a condutância foliar foi alta, em função principalmente da disponibilidade hídrica no solo, que evitou limitação no suprimento de água às plantas.

A condutância foliar máxima, relacionada ao potencial mínimo da água, está representada na Figura 18. Observa-se que $g_{\text{máx}}$ também esteve relacionada de forma exponencial com o $\psi_{\text{mín}}$, demonstrando a mesma tendência da $g_{\text{mín}}$ já descrita anteriormente (Figura 17). Porém, os valores $g_{\text{máx}}$ foram maiores para o mesmo $\psi_{\text{mín}}$, em razão das medições de $g_{\text{máx}}$ terem sido realizadas nas primeiras horas da manhã, quando a demanda evaporativa não era elevada, em função da baixa radiação solar e a limitação de água às folhas ainda não ter ocorrido.

Observa-se a presença de uma nuvem de pontos com $g_{\text{máx}}$ entre 1000 e 1750 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valores estes maiores daqueles da $g_{\text{mín}}$. Estes dados referem-se aos do primeiro dia de leitura, que demonstraram pouca relação com o $\psi_{\text{mín}}$. Também, observa-se que entre $\psi_{\text{mín}}$ de $-1,0$ e $-1,5$ MPa, a concentração dos pontos é maior do que na $g_{\text{mín}}$, oriundos, principalmente, das parcelas irrigadas. Entretanto a partir do $\psi_{\text{mín}}$ de $-2,0$ MPa os valores de condutância foliar máxima tenderam a zero da mesma forma que os da condutância mínima, onde concentrou-se os pontos das parcelas sem irrigação, sendo que os menores valores de $g_{\text{máx}}$ são os das parcelas sob o sistema de SC.

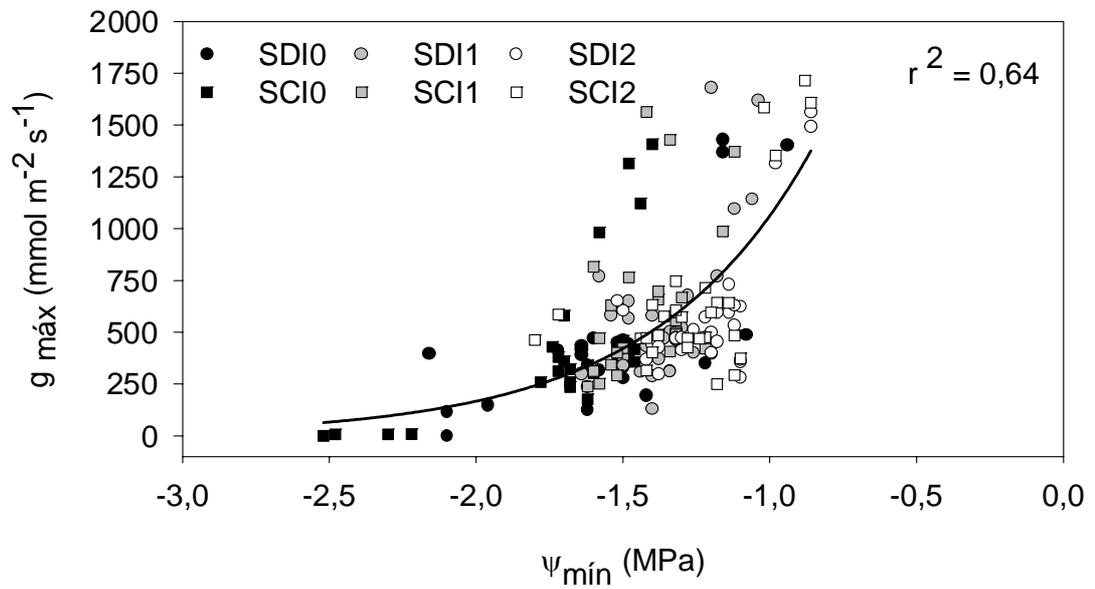


Figura 18. Relação entre potencial mínimo da água na folha ($\psi_{\text{mín}}$) e condutância foliar máxima ($g_{\text{máx}}$) em milho cultivado em semeadura direta (SD) e convencional (SC) com irrigação (I2), irrigação em nível intermediário (I1) e sem irrigação (I0), no período de 42 a 88 dias após a emergência (DAE). Eldorado do Sul, RS.

5. CONCLUSÕES

O potencial matricial da água no solo, nas condições do experimento, apresenta-se maior em semeadura direta do que em semeadura convencional, em todos os níveis de irrigação.

O potencial mínimo da água na folha é maior no sistema de semeadura direta e a condutância foliar apresenta relação exponencial com este parâmetro.

A cultura do milho apresenta mecanismo de tolerância ao déficit hídrico através de ajuste osmótico, o qual ocorre em ambos os sistemas de manejo, porém é mais intenso em semeadura convencional.

Tanto o potencial mínimo da água na folha quanto a condutância foliar apresentam sensibilidade ao déficit hídrico, podendo ser utilizados como indicadores do estado hídrico em milho em ambos os sistemas de manejo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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

BABU, R. C. et al. Comparison of measurement methods of osmotic adjustment in rice cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 150-158, 1999.

BAJJI, M.; LUTTS, S.; KINET, J-M. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science**, Amsterdam, v. 160, p. 669-681, 2001.

BALL-COELHO, B. R.; ROY, R. C.; SWANTON, C. J. Tillage alters corn distribution in coarse-textured soil. **Soil and Tillage Research**, Oxford, v. 45, p. 237-249, 1998.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1992. p.25-32.

BERGAMASCHI H. et al. Importância da água no período crítico do milho para a formação do rendimento de grãos. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 48.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 31., Porto Alegre. **Anais....**Porto Alegre: EMATER/RS: FEPAGRO, 2003 b. 1 CD-ROM.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2003 a. 77p.

BERGAMASCHI H. et al. Efeito de variáveis micrometeorológicas e disponibilidade hídrica no solo sobre resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro. **Turrialba**, San Jose, v. 41, n. 4, p. 445-451, 1991.

BERGAMASCHI H. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. IV Alterações micrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 7, p. 769-777, 1989.

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

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

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

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

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.

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

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

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

BOYER, J. S. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. **Plant Physiology**, Rockville, v. 42, n. 7, p. 1056-10662, 1967.

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

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

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

CANALLI, L. B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 99-104, 1997.

CARVAJAL, M. et al. Time course of solute accumulation and water relations in muskmelon plants exposed to salt during different growth stages. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, p. 103-112, 1998.

COCHARD, H. et al. Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal closure during water stress in Walnut. **Plant Physiology**, Rockville, v. 128, p. 282-290, 2002.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistema de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.

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

DALMAGO, G. A. et al. Diferenças na disponibilidade de água no solo entre sistemas de semeadura direta e convencional de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003 a. v. 1, p.293-294.

DALMAGO, G. A. et al. Evaporação da água na superfície do solo em sistema de semeadura direta e convencional de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003 b. v. 1, p.295-296.

DALMAGO, G. A. et al. Transpiração do milho cultivado em sistema de semeadura direta e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UNIFRA: SBA: UFSM, 2003 c. v. 1, p.297-298.

DALMAGO, G. A. **O “plantio direto na palha” na sucessão cultura de verão/cobertura de inverno como meio de aumentar a armazenagem de água no solo, reduzir o impacto das estiagens e preservar a sustentabilidade do sistema.** 2004. Tese (Doutorado-Agrometeorologia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. (em elaboração).

DAVIES W. J.;ZHANG, J. Root signals and regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 88-76, 1991.

DWYER, L. M.; STEWART, D. W. Water extraction patterns and development of plant water deficits in corn. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 65, p.921-933, 1985.

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

FRANÇA, S. **Efeitos da disponibilidade de nitrogênio e água na fotossíntese, crescimento e produção do milho, em diferentes sistemas de cultura**. 2003. 170f. Tese (Doutorado-Agrometeorologia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GHOULAM, C.; FOURSY, A.; FARES, K. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar bet cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 47, p. 39-50, 2002.

HALE, G.; ORCUTT, D. M. **The physiology of plants under stress**. New York: J. Wiley, 1987. 206 p. Cap 2: Drough stress.

HANKS, R. J. et al. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 886-888, 1980.

HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.) **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, n. 5, p. 487-491, 1963.

HSIAO, T. C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

HSIAO, T. C.; XU, L-K. Sensitivity of growthof root versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal Experimental of Botany**, Oxford, v.51, p. 1595-1616, 2000.

IANNUCCI, A. et al. Water deficit effects on osmotic adjustment and solute accumulation in leaves of annual clovers. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 16, p. 111-122, 2002.

JENSEN, C. R. et al. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, p.11-25, 2000.

JONES, C. A. **C4 Grasses and Cereals: Growth, Development and Stress Response**. New York, John Wiley & Sons, 1985. 419p.

JONES, H. G.; TARDIEU, F. Modelling water relations of horticultural crops: A review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 74, p. 21-46, 1998.

JONES, H. G. **Plant and Microclimate**: a quantitative approach to environmental plant physiology. 2nd ed. Melbourne: Cambridge University Press, 1992. 428p.

JONGDEE, B; FUKAI. S.; COOPER, M. Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. **Field Crops Research**, Amsterdam v. 76, n.2-3, p.153-156, 2002.

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

KRAMER, P. J. Changing concepts regarding plant water relations. **Plant, Cell Environment**, Oxford, v. 11, p. 565-568, 1988.

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

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

LEVITT, J. **Responses of Plant to Environmental Stresses**. New York: Academic Press, 1980. v. 1, 697p.

LI, Y. et al. Water uptake profile response of corn to soil moisture depletion. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 491-500, 2002.

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

LICHTENTHALER, H. K. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plant. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v 148, p. 4-14, 1996.

LUDLOW, M. M. Adaptative significance of stomatal responses to water stress. In: TURNER N. C.; KRAMER P. J. (Eds). **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: John Wiley and Sons, 1980. p. 123-138.

MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul**. 1994. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 172p.

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

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

Mc CREE K. J.; RICHARDSON, S. G. Stomatal closure vs osmotic adjustment: A comparison of stress responses. **Crop Science**, Madison, v.27, p. 539-543, 1987.

Mc DERMITT, D. K. Sources of Error in the Estimation of Stomatal Conductance and Transpiration from Porometer Data. **Hort Science**, Alexandria, v. 25, p. 1538-1548, 1990.

MELLO, O. et al. Levantamento dos solos do Centro Agronômico. **Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 7-155, 1976.

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

MONTHUIT, J. L.; ELSTON, J. Climatic constraints on crop production . In: FOWDEN, L. et al. **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman & Hall, 1993. Cap. 1. p. 1-106.

MORGAN, J. M. Osmoregulation and Water Stress in Higher Plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 35, p. 299-319, 1984

MÜLLER, A. G. **Modelagem da matéria seca e do rendimento de grãos de milho em relação à disponibilidade hídrica**. 2001. 120f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

NAYYAR, H. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 50, p. 253-264, 2003.

NONAMI, H.; WU, Y.; BOYER, J. S. Decreased growth – Induced water potential: a primary case of growth inhibition at low water potentials. **Plant Physiology**, Rockville, v. 114, n. 2, p. 501-509, 1997.

PASSIOURA, J. B. The meaning of matric potential. **Journal Experimental of Botany**, Oxford, v.31, p. 1161-1169, 1980.

PATAKAS, A. et al. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. **Plant Science**, Amsterdam, v. 163, p. 361-367, 2002.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bar soil and grass. **Proceedings of Royal Society-Serie A**, London, v. 193, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, P. G. **Indicadores fisiológicos relacionados à fotossíntese do milho sob déficit hídrico**. 2001. 100f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, 100f.

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

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

RADIN J. W.; ACKERSON R. C. Does abscisic acid control stomatal closure during water stress? **What's New in Plant Physiology**, Gaithersburg, v. 13, p. 9-12, 1982.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Estimativa do coeficiente de cultura (Kc) do milho em função do índice de área foliar (IAF) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.: REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. 1 CD-ROM.

ROSA, L. M., DILLENBURG, L. R., FORSETH, I, N. Response of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Annals of Botany**, London, v. 67, p. 51-58, 1991.

ROSSI, G. **Desenvolvimento do sistema radicular e parte aérea de milho (*Zea mays* L.) sob diferentes níveis de drenagem e dois sistemas de preparo do solo.** 1979. 67 f. Dissertação (Mestrado)-Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.

SHALHEVET, J. Plants under salt and water stress. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. **Plant adaptation to environmental stress.** London: Chapman & Hall, 1993. Cap. 7, p. 133-154.

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

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia Vegetal.** México: Iberoamerica, 1994. 758p.

SALTON, H. P.; 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**, Campinas, v. 19, p. 313-319, 1995.

SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. et al. Comparative growth and water relations of *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants during water deficit conditions and recovery. **Plant Science**, Amsterdam, v. 162, p. 107-113, 2002.

SASSAKI, R. M.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n. 9, p.1571-1579, 1999.

SCHOLANDER, P. F. et al. Sap Pressure in Vascular Plants. **Science**, Alexandria, v. 48, p. 339-346, 1965.

SCHULZE, E. D. Whole-plant responses to drought. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, p.127-141, 1986.

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

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 333-341, 2002.

SHALHEVET, J. Plants under salt and water stress. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. **Plant adaptation to environmental estress**. London: Champman & Hall, 1993. Cap. 7. p. 133-154.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em latossolo roxo distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 103-106, 1983.

SINCLAIR, T. R.; LUDLOW, M. M. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v 12, p. 213-217, 1985.

SINGH, B.; CHANASYK, D. S.; Mc GILL, W. B. Soil hydraulic properties of na Orthic Black Chernozem under long-term tillage and residue management. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 76, p. 63-71, 1996.

SPERRY, J. S. Hidraulic constraints on plant gas exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 13-23, 2000.

TAIZ, L. R.; ZAIGER, E. **Plant Physiology**. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792 p.

TANGUILIG, V. C. et al. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize and soybean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 103, p155-168,1987

TARDIEU, F.; KATERJI, N.; BETHENOD, O. Relations entre l'état hydrique du sol, le potentiel de base et d'autres indicaterus de la contrainte hydrique chez le maiz. **Agronomie**, Paris, v. 10, p. 617-626, 1991.

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

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. **Publications in climatology**, Centerton, New Jersey, v. 10, n. 3, p. 191-311, 1955.

TORRECILLAS, A. et al. Water relations of two tomato species under water stress and recovery. **Plant Science**, Amsterdam, v. 105, p. 169-176, 1995.

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

TURNER, N. C. Crop water deficit: a decade of progress. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 39, p. 1-51, 1986.

TURNER, N. C.; BEGG, J. E.; TONNET, M. L. Osmotic Adjustment of Sorghum and Sunflower crops in Response to Water Deficits and its Influence on the Water Potential at which Stomatal Close. **Australian Journal Plant Physiology**, Melbourne, v.5, p. 597-608, 1978.

VAN DOREN, D. M., JR.; TRIPLETT, JR., G. B. Mulch and tillage relationships in corn culture. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v. 37, p. 766-769, 1973.

WAGGER M., G.; DENTON H., P. Crop and Tillage Rotations: grain Yield, Residue Cover, and Soil Water. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 56., p. 1233-1237, 1992.

WARD, J. M.; SCHROEDER, J. I. Calcium-activated K⁺ channels and calcium-induced calcium release by slow vacuolar ion channels in guard cell vacuoles implicated in control of stomatal closure. **The Plant Cell**, Rockville, v.6, n. 5, p. 669-683, 1994.

WENKERT, W. Measurement of Tissue Osmotic Pressure. **Plant Physiology**, Rockville, v. 65, n. , p. 614-617, 1980.

WESTGATE, M. E. Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. **Crop Science** , Madison, v.34, p.76-83, 1994.

XIONG, L.; ZHU, L. K. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 131-139, 2002.

ZAI, R.; KACHANOSKI, R. G.; VORONEY, R. P. Tillage effects on the spacial and temporal variations of soil water. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 186-192, 1990.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Laudo da análise de solo EEA/UFRGS, em dois sistemas de manejo sementeira direta (SD) e sementeira convencional (SC) em três profundidades de amostragem (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, outubro de 2002.

Sistema	Prof. (cm)	Argila (%)	ph	Índice SMP	P (mg l ⁻¹)	K (mg l ⁻¹)	M.O. (%)	Al _t (cmol _c l ⁻¹)	Ca _t (cmol _c l ⁻¹)	Mg _t (cmol _c l ⁻¹)	Al + H (cmol _c l ⁻¹)	CTC	Sat. bases (%)	da CTC	Al
SDI0	0-5	25	4,5	5,7	41	217	3,0	0,3	2,1	0,9	4,7	8,2	43		3,6
SDI0	5-10	29	5,1	6,1	34	211	1,9	0,3	2,0	0,8	3,3	6,6	51		4,5
SDI0	10-20	32	5,1	6,0	19	180	1,6	0,2	1,9	0,8	3,6	6,7	47		3,0
SCI0	0-5	29	5,0	5,8	8,1	206	2,2	0,2	2,2	0,8	4,3	7,8	45		2,6
SCI0	5-10	28	5,2	5,7	8,7	173	2,0	0,3	2,5	0,9	3,9	7,6	43		2,4
SCI0	10-20	29	5,2	5,9	6,7	119	2,0	0,3	2,5	0,9	3,9	7,6	49		3,9
SDI2	0-5	27	4,9	5,9	24	187	3,2	0,2	2,2	1,0	3,9	7,6	49		2,6
SDI2	5-10	29	5,3	5,6	23	173	2,1	0,3	2,2	0,8	5,1	8,6	40		3,5
SDI2	10-20	34	5,3	5,6	13	139	2,0	0,4	2,4	0,8	5,1	8,7	41		4,6
SCI2	0-5	28	5,0	5,7	19	189	2,0	0,2	2,3	0,8	4,7	8,3	43		2,4
SCI2	5-10	27	5,2	6,0	9,9	171	2,0	0,1	2,4	0,9	3,6	7,3	51		1,4
SCI2	10-20	29	5,3	5,9	5,5	140	1,9	0,1	2,8	1,0	3,9	8,1	52		1,2

Fonte: Laboratório de Análise de solo, planta, água e outros materiais. Departamento de Solos-UFRGS.

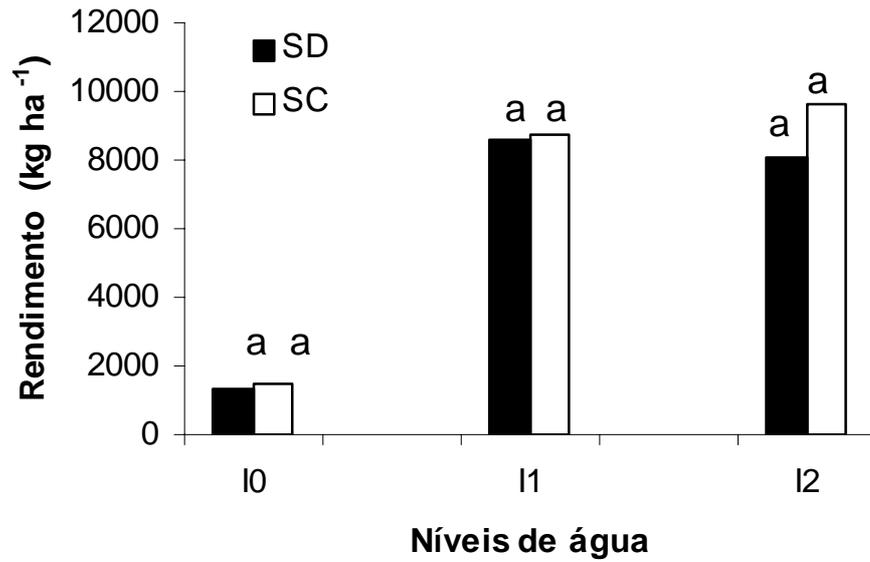
APÊNDICE 2. Datas das irrigações realizadas e quantidade de água aplicada no tratamento com máxima irrigação (I2), de janeiro a fevereiro de 2003. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Dia	Dias após a emergência	Quantidade (mm)
07/01/03	36	28,2
16/01/03	45	31,2
28/01/03	57	25,4
01/02/03	60	3,1
03/02/03	63	3,7
04/02/03	64	28,6
06/02/03	66	23,3
08/02/03	68	26,8
Total		170,3

APÊNDICE 3. Estádios fenológicos da cultura do milho, adaptado de Hanways (1963), data de amostragem e dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/2003.

Estádio	Características verificadas na cultura	Data de amostragem	Sistema e Nível de irrigação	DAE
0	Emergência	02/12/02	Todos tratamentos	0
1	Quatro folhas visíveis	08/12/02	SCI0, SCI1, SCI2	6
		10/12/02	SDI0, SDI1, SDI2	8
2	Oito folhas visíveis	29/12/02	Todos tratamentos	27
3	Doze folhas visíveis	13/01/03	SCI0, SCI1, SCI2	42
		15/01/03	SDI0, SDI1, SDI2	44
4	Pendoamento (50% das plantas)	22/01/03	SDI2, SCI2	51
		25/01/03	SCI0	54
		26/01/03	SDI0	55
5	Florescimento e polinização	26/01/03	SDI2, SCI2	55
		03/02/03	SDI0, SCI0	63
8	Grãos farináceos	18/02/03	Todos tratamentos	78
9	Grãos duros	02/03/03	Todos tratamentos	90
10	Grãos maduros fisiologicamente	09/03/03	Todos tratamentos	97

APÊNDICE 4. Rendimento de grãos de milho, híbrido Pioneer 32R21, em função dos sistemas de manejo de semeadura direta (SD) e convencional (SC) e dos níveis de água: sem irrigação (I0), 41 % da capacidade de campo (I1) e próximo a capacidade de campo (I2). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/2003.



APÊNDICE 5. Médias diárias de temperatura do ar, precipitação pluvial, umidade relativa do ar (UR), evapotranspiração de referência (ETo), velocidade do vento, radiação solar global (Rg) e déficit de saturação do ar (DSA), observadas nos dias de medições dos indicadores da condição hídrica das plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

DAE	Temperatura do ar (°C)			Prec. (mm)	UR (%)	ETo (mm)	Vento (m s ⁻¹)	Rg (MJ m ⁻² s ⁻¹)	DSA (mmHg)
	Média	Máxima	Mínima						
42	24,4	30,3	18,1	0,0	72,2	5,8	1,5	25,4	6,4
44	25,4	32,6	18,3	0,0	74,7	6,4	2,0	27,5	6,7
46	25,3	33,9	17,6	0,0	74,5	6,1	1,1	27,6	5,7
58	23,9	30,9	16,3	0,0	71,2	6,4	1,6	28,2	5,4
64	28,1	38,0	22,2	0,0	66,7	5,7	1,3	23,2	8,3
78	20,4	29,2	12,1	0,0	64,2	4,6	1,2	20,9	6,8
88	26,9	33,8	21,1	19,3	80,5	5,0	1,6	22,0	5,0

APÊNDICE 6. Temperatura do ar, precipitação pluvial, radiação solar global (Rg) e evapotranspiração de referência (ETo) decendial observadas no período experimental e médias climatológicas do período de 1970 a 2000. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.

Período experimental 2002/03.

Mês	Decêndio	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	ETo (mm)	Rg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
Novembro	1	19,4	48,2	42	19,18
	2	22,0	73,4	45	20,13
	3	22,4	16,1	31	14,02
Dezembro	1	22,5	114,8	37	15,84
	2	23,2	72,2	48	21,16
	3	23,2	36,5	50	20,40
Janeiro	1	23,9	17,1	44	19,78
	2	24,4	24,1	55	24,21
	3	24,1	23,3	59	24,24
Fevereiro	1	26,5	45,2	46	19,76
	2	22,2	114,0	34	15,51
	3	24,3	37,3	32	17,93

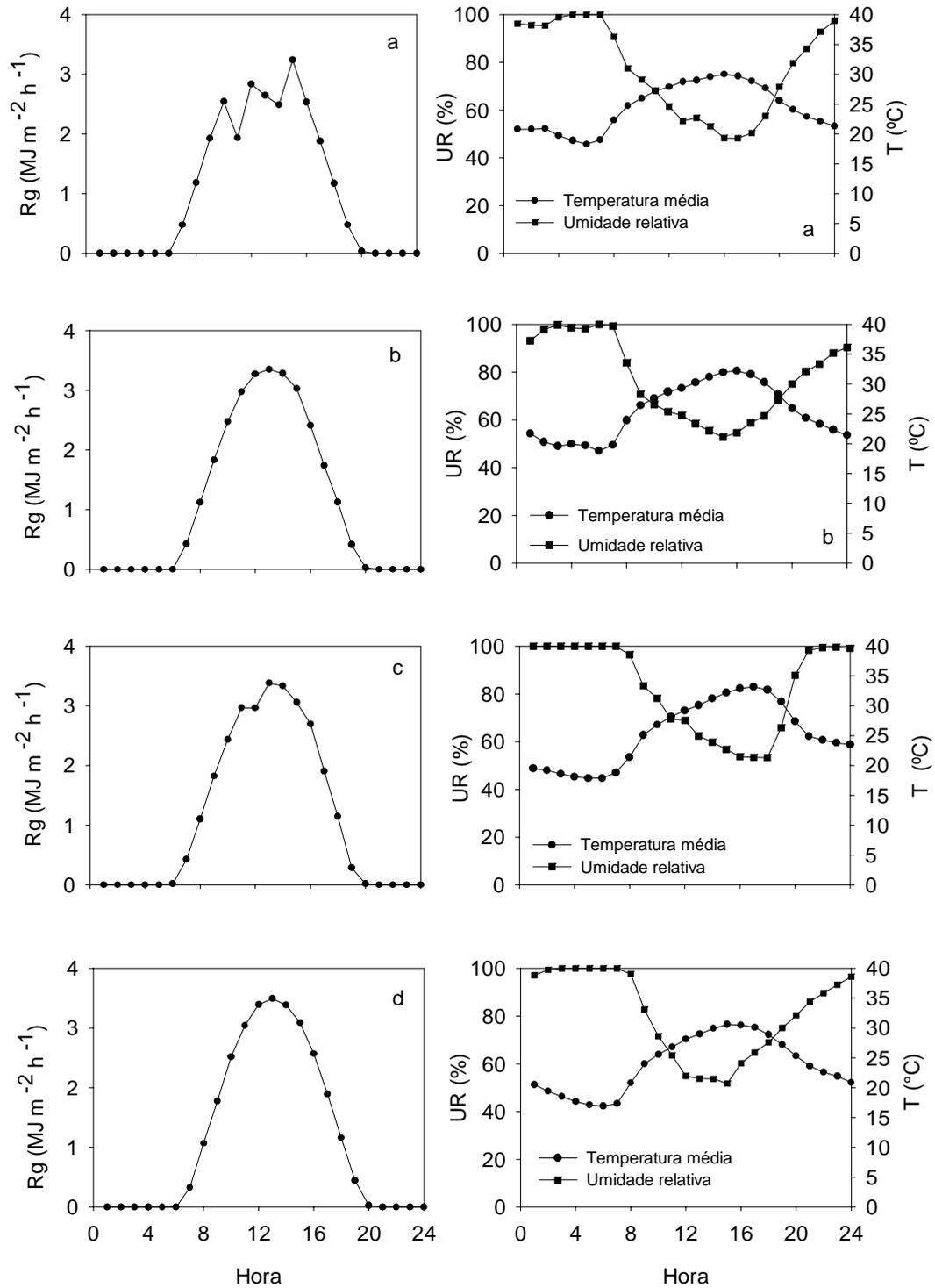
Fonte: Boletim Agrometeorológico-UFRGS.

Médias climatológicas do período 1970-2000.

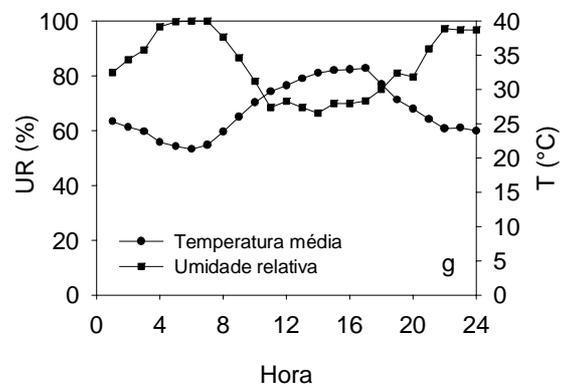
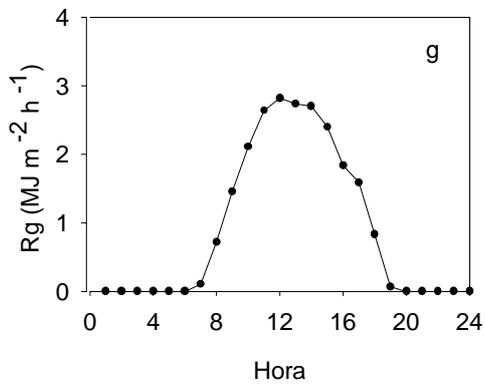
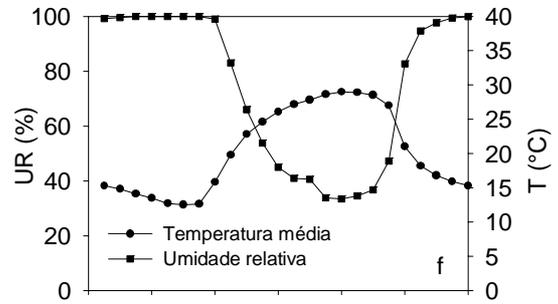
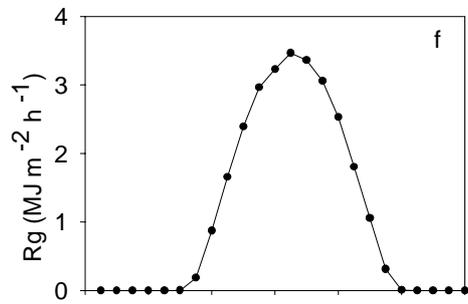
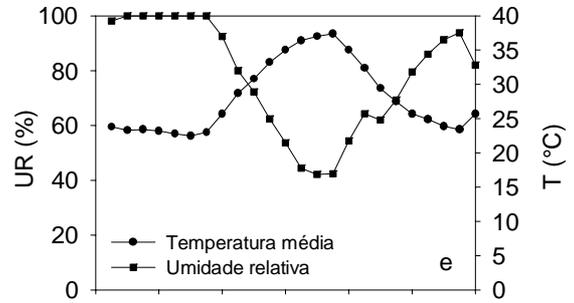
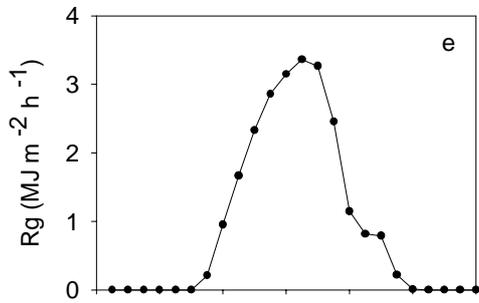
Mês	Decêndio	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	ETo (mm)	Rg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
Novembro	1	20,4	45,3	42	18,98
	2	21,3	33,2	46	20,15
	3	21,5	31,7	48	20,78
Dezembro	1	22,7	40,7	49	21,03
	2	23,4	36,3	50	21,41
	3	24,1	32,6	59	21,11
Janeiro	1	24,2	34,2	51	21,20
	2	24,7	39,3	50	20,95
	3	24,8	37,6	53	19,90
Fevereiro	1	24,5	43,1	45	19,02
	2	24,4	37,2	43	18,48
	3	24,1	30,6	31	17,22

Fonte: Bergamaschi et al., 2003.

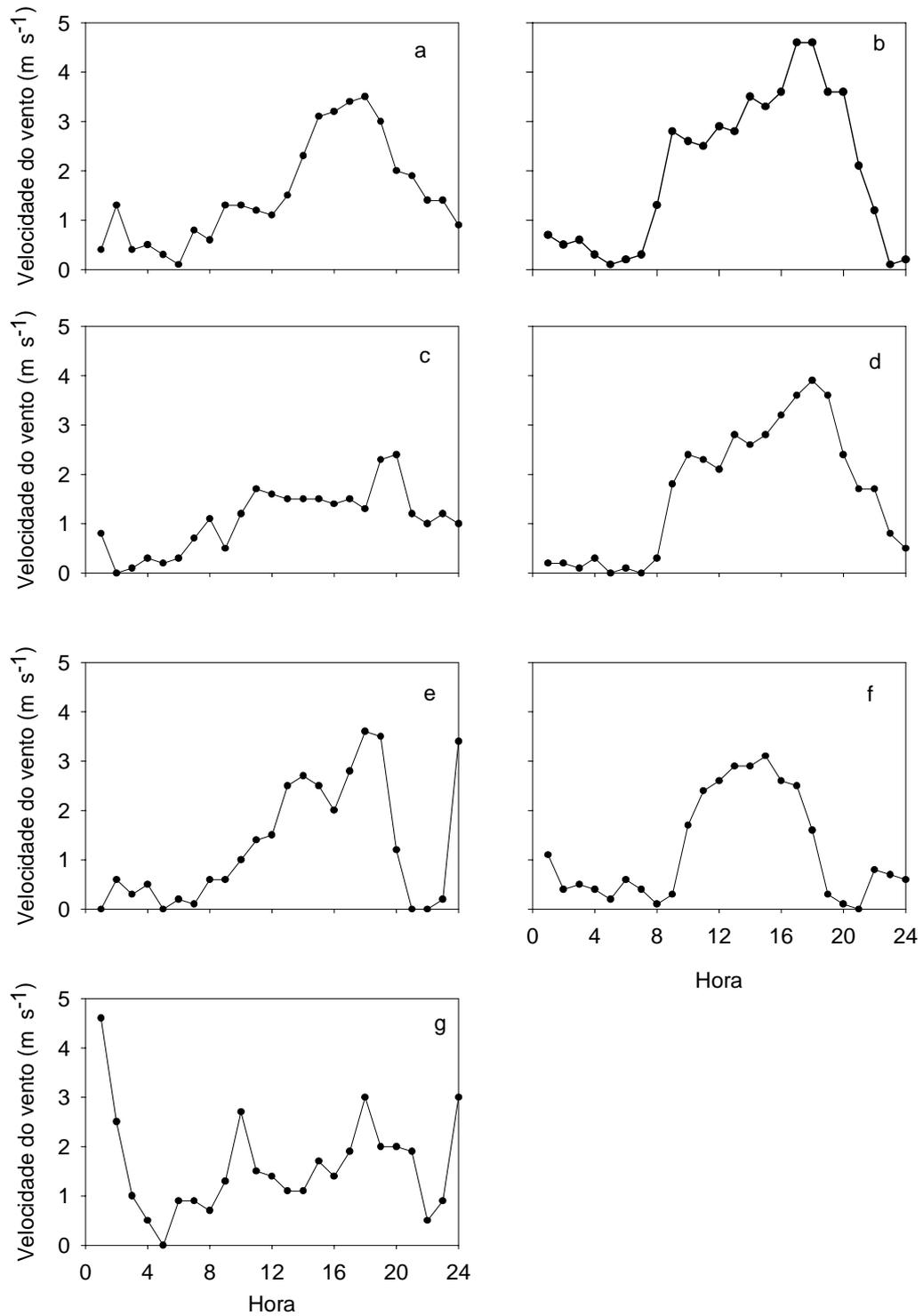
APÊNDICE 7. Radiação solar global, umidade relativa e temperatura do ar observadas a 42 (a), 44 (b), 46 (c), 58 (d), 64 (e), 78 (f) e 88 (g) dias após emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002,03.



Continuação....



APÊNDICE 8. Velocidade do vento observada a 42 (a), 44 (b), 46 (c), 58 (d), 64 (e), 78 (f) e 88 (g) dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2002/03.



APÊNDICE 9. Análise da variância para potencial mínimo da água na folha de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

42 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,02840000	0,00946667	0,78	0,5485
Sistema	1	0,18026667	0,18026667	14,78	0,0085
Água	2	0,46743333	0,23371667	19,17	0,0025
Sistema*Água	2	0,17323333	0,08661667	7,10	0,0262

44 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,01153333	0,00384444	1,60	0,2849
Sistema	1	0,00166667	0,00166667	0,69	0,4366
Água	2	0,39093333	0,19546667	81,44	<,0001
Sistema*Água	2	0,00373333	0,00186667	0,78	0,5008

46 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,01340000	0,00446667	2,12	0,1996
Sistema	1	0,00540000	0,00540000	2,56	0,1609
Água	2	0,49853333	0,24926667	118,07	<,0001
Sistema*Água	2	0,00520000	0,00260000	1,23	0,3563

58 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,01800000	0,006	1,54	0,2980
Sistema	1	0,00326670	0,00326667	0,84	0,3951
Água	2	0,37870000	0,189350	48,62	0,0002
Sistema*Água	2	0,01703333	0,00851667	2,19	0,1935

64 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,058850	0,01961667	0,83	0,5233
Sistema	1	0,228150	0,228150	9,67	0,0208
Água	2	2,8744333	1,43721667	60,94	0,0001
Sistema*Água	2	0,05410	0,027050	1,15	0,3786

78 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,00926667	0,00308889	2,14	0,1966
Sistema	1	0,0770667	0,0770667	53,35	0,0003
Água	2	0,2981333	0,14906667	103,20	<,0001
Sistema*Água	2	0,00573333	0,00286667	1,98	0,2180

88 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,03578333	0,01192778	0,88	0,5023
Sistema	1	0,03375000	0,03375000	2,49	0,1656
Água	2	0,73403333	0,36701667	27,09	0,0010
Sistema*Água	2	0,04030000	0,02015000	1,49	0,2989

APÊNDICE 10. Potencial mínimo da água na folha de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

Dias após a emergência(DAE)	Sistemas de manejo	Potencial mínimo (MPa)
44	SD	-1,32 A
	SC	-1,33 A
46	SD	-1,30 A
	SC	-1,33 A
58	SC	-1,49 A
	SD	-1,52 A
64	SD	-1,64 A
	SC	-1,83 B
78	SD	-1,45 A
	SC	-1,53 B
88	SD	-1,35 A
	SC	-1,42 A

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

APÊNDICE 11. Potencial mínimo da água na folha de milho, em diferentes níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

42 DAE

Dias após a emergência (DAE)	Níveis de água	Sistema de semeadura	Potencial mínimo (MPa)
42	I0	SD	-1,08 A
		SC	-1,47 B
	I1	SD	-1,10 A
		SC	-1,26 A
	I2	SC	-0,93 A
		SD	-0,96 A

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

APÊNDICE 12. Análise da variância para potencial de pressão de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

42 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,24561772	0,08187157	1,53	0,3156
Sistema	1	0,16717258	0,16717258	3,12	0,1374
Água	2	0,21857585	0,10928793	2,04	0,2248
Sistema*Água	2	0,02694239	0,01347119	0,25	0,7868

44 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,01272832	0,00424277	1,05	0,4488
Sistema	1	0,02827632	0,02827632	6,97	0,0460
Água	2	0,25039967	0,12519984	30,85	0,0015
Sistema*Água	2	0,01111988	0,00555994	1,37	0,3354

46 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,00550091	0,00183364	0,15	0,9273
Sistema	1	0,00299934	0,00299934	0,24	0,6402
Água	2	0,35118224	0,17559112	14,17	0,0053
Sistema*Água	2	0,01199643	0,00599822	0,48	0,6384

58 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,02845179	0,00948393	0,42	0,7458
Sistema	1	0,00046490	0,00046490	0,02	0,8907
Água	2	0,10838014	0,05419007	2,40	0,1718
Sistema*Água	2	0,00478975	0,00239488	0,11	0,9011

64 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,1570995	0,05236665	1,67	0,2712
Sistema	1	0,00940356	0,00940356	0,30	0,6037
Água	2	0,43376001	0,21688000	6,92	0,0277
Sistema*Água	2	0,03464909	0,01732455	0,55	0,6022

78 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,09042817	0,03014272	0,89	0,4989
Sistema	1	0,05624786	0,05624786	1,66	0,2453
Água	2	0,10618535	0,05309268	1,56	0,2839
Sistema*Água	2	0,06961474	0,03480737	1,03	0,4138

88 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,00231462	0,00077154	0,04	0,9887
Sistema	1	0,04454452	0,04454452	2,25	0,1840
Água	2	0,15136783	0,07568391	3,83	0,0848
Sistema*Água	2	0,03570057	0,01785029	0,90	0,4552

APÊNDICE 13. Potencial de pressão de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

Dias após a emergência(DAE)	Sistemas de manejo	Potencial de pressão (MPa)
42	SC	0,42 A
	SD	0,60 A
44	SC	0,25 A
	SD	0,17 B
46	SC	0,28 A
	SD	0,26 A
58	SC	0,16 A
	SD	0,15 A
64	SC	0,23 A
	SD	0,27 A
78	SC	0,25 A
	SD	0,16 A
88	SC	0,19 A
	SD	0,28 A

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

APÊNDICE 14 Análise da variância para potencial osmótico hidratado de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

42 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,01009462	0,00336487	0,03	0,9909
Sistema	1	0,00005161	0,00005161	0,00	0,9826
Água	2	0,15755472	0,07877736	0,79	0,4970
Sistema*Água	2	0,12172249	0,06086124	0,61	0,5747

44 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,02968421	0,00989474	0,70	0,5873
Sistema	1	0,61790956	0,61790956	43,49	0,0006
Água	2	0,09238989	0,04619495	3,25	0,1105
Sistema*Água	2	0,19733605	0,09866802	6,94	0,0275

46 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,04541454	0,01513818	2,11	0,2178
Sistema	1	0,11556912	0,11556912	16,10	0,0102
Água	2	0,02896652	0,01448326	2,02	0,2279
Sistema*Água	2	0,06434714	0,03217357	4,48	0,0768

58 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,01460931	0,00486977	1,07	0,4302
Sistema	1	0,01896056	0,01896056	4,16	0,0876
Água	2	0,13889667	0,06944833	15,23	0,0045
Sistema*Água	2	0,00141577	0,00070788	0,16	0,8596

64 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,00632258	0,00210753	0,66	0,6049
Sistema	1	0,00069391	0,00069391	0,22	0,6570
Água	2	0,04904584	0,02452292	7,70	0,0220
Sistema*Água	2	0,04117058	0,02058529	6,47	0,0318

78 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0,19101455	0,06367152	0,24	0,8632
Sistema	1	0,01506271	0,01506271	0,06	0,8183
Água	2	0,28778258	0,14389129	0,55	0,6034
Sistema*Água	2	0,26865427	0,13432714	0,51	0,6225

88 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	dos	Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	0.20908371		0.06969457	3,70	0,0810
Sistema	1	0.01035842		0.01035842	0,55	0,4863
Água	2	0.46034445		0.23017223	12,22	0,0077
Sistema*Água	2	0.08499420		0.04249710	2,26	0,1858

APÊNDICE 15. Potencial osmótico hidratado de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

Dias após a emergência(DAE)	Sistemas de manejo	Potencial osmótico hidratado (MPa)
42	SC	-1,468 A
	SD	-1,471 A
44	SC	-1,670 A
	SD	-1,349 B
46	SC	-1,240 A
	SD	-1,090 B
58	SC	-1,268 A
	SD	-1,211 A
64	SC	-1,542 A
	SD	-1,553 A
78	SC	-1,635 A
	SD	-1,685 A
88	SC	-1,323 A
	SD	-1,282 A

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

APÊNDICE 16. Análise da variância para condutância foliar máxima da folha de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

42 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob,>F
Bloco	3	117753,4646	39251,1549	0,35	0,7931
Sistema	1	51143,4338	51143,4338	0,45	0,5264
Água	2	227431,9525	113715,9762	1,01	0,4202
Sistema*Água	2	124370,2825	62185,1412	0,55	0,6037

44 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob,>F
Bloco	3	8294,50780	27955,85885	1,80	0,2468
Sistema	1	9107,28960	9107,28960	5,94	0,0507
Água	2	43911,71771	21955,85885	14,32	0,0052
Sistema*Água	2	5277,43870	2638,71935	1,72	0,2567

46 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob,>F
Bloco	3	97715,2892	32571,7631	2,13	0,1980
Sistema	1	19761,6730	19761,6730	1,29	0,3002
Água	2	273228,9013	136614,4507	8,93	0,0159
Sistema*Água	2	7852,3023	3926,1512	0,26	0,7818

58 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob,>F
Bloco	3	4730,2027	1576,7342	0,20	0,8959
Sistema	1	9464,0845	9464,0845	1,17	0,3204
Água	2	351936,7655	175968,3827	21,80	0,0018
Sistema*Água	2	6486,3653	3243,1827	0,40	0,6858

64 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob,>F
Bloco	3	52928,6577	17642,8859	1,19	0,3901
Sistema	1	1628,2737	1628,2737	0,11	0,7517
Água	2	463979,4797	231989,7398	15,64	0,0042
Sistema*Água	2	63758,3148	31879,1574	2,15	0,1978

78 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob,>F
Bloco	3	73316,0208	24438,6736	4,56	0,0544
Sistema	1	8403,0353	8403,0353	1,57	0,2570
Água	2	127058,3680	63529,1840	11,86	0,0082
Sistema*Água	2	46401,0738	15467,0246	2,89	0,1246

88 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob,>F
Bloco	3	35967,26008	11989,08669	0,54	0,6732
Sistema	1	13357,60167	13357,60167	0,60	0,4681
Água	2	20063,93598	10031,96799	0,45	0,6573
Sistema*Água	2	75204,56386	37602,28193	1,69	0,2620

APÊNDICE 17. Condutância foliar máxima de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

Dias após a emergência (DAE)	Sistemas de manejo	Condutância foliar máxima (mmol m ⁻² s ⁻¹)
42	SC	1369,7 A
	SD	1277,4 A
44	SC	483,48 A
	SD	444,52 A
46	SC	499,49 A
	SD	442,23 A
58	SD	536,19 A
	SC	496,48 A
64	SD	279,25 A
	SC	262,78 A
78	SC	444,75 A
	SD	407,33 A
88	SD	435,95 A
	SC	388,77 A

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

APÊNDICE 18. Análise da variância para condutância foliar mínima de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC) e níveis de água (I0, I1 e I2), aos 42, 44, 46, 58, 64, 78 e 88 dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

42 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	5	27026,669	5405,334	0,23	0,9381
Sistema	1	28819,820	28819,820	1,25	0,2934
Água	2	1439670,169	719835,084	31,10	<,0001
Sistema*Água	2	15429,839	7714,920	0,33	0,7250

44 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	38054,8774	12684,9591	2,04	0,2095
Sistema	1	2884,5407	2884,5407	0,46	0,5210
Água	2	107613,4111	53806,7055	8,66	0,0170
Sistema*Água	2	26943,8538	13471,9269	2,17	0,1955

46 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	10838,4522	3612,8174	0,27	0,8481
Sistema	1	4544,2895	4544,2895	0,33	0,5844
Água	2	570039,1159	285019,5579	20,95	0,0020
Sistema*Água	2	14271,8868	7135,9434	0,52	0,6167

58 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	60764,134	20254,711	1,08	0,4274
Sistema	1	4183,397	4183,397	0,22	0,6540
Água	2	1260382,080	630191,040	33,47	0,0006
Sistema*Água	2	28891,671	14445,835	0,77	0,5050

64 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	41057,011	13685,670	0,84	0,5203
Sistema	1	303,694	303,694	0,02	0,8960
Água	2	1057993,202	528996,601	32,41	0,0006
Sistema*Água	2	881,584	440,792	0,03	0,9735

78 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	de Soma dos quadrados	dos Quadrado média	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	38451,3877	12817,1292	3,01	0,1166
Sistema	1	12366,96	12366,96	2,90	0,1394
Água	2	231461,8224	115730,9112	27,14	0,0010
Sistema*Água	2	4874,8399	2437,4199	0,57	0,5926

88 DAE

Causas de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Valor de F	Prob.>F
Bloco	3	19610,5813	6536,8604	0,80	0,5379
Sistema	1	6599,1717	6599,1717	0,81	0,4037
Água	2	430203,2814	215101,6407	26,30	0,0011
Sistema*Água	2	170058,5814	85029,2907	10,40	0,0112

APÊNDICE 19. Condutância foliar mínima de milho, em diferentes sistemas de semeadura (SD e SC), em sete dias após a emergência (DAE). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 2002/03.

Dias após a emergência(DAE)	Sistemas de manejo	Condutância foliar mínima (mmol m ⁻² s ⁻¹)
42	SC	974,33 A
	SD	914,98 A
44	SC	263,88 A
	SD	241,95 A
46	SC	374,03 A
	SD	346,50 A
58	SC	410,48 A
	SD	384,08 A
64	SC	313,95 A
	SD	306,83 A
78	SD	387,29 A
	SC	341,89 A
88	SD	477,09 A
	SC	443,93 A

Médias de tratamentos com letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.