

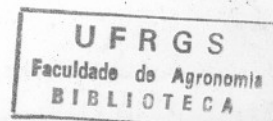
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE MILHO EM FUNÇÃO DA  
RADIÇÃO SOLAR E DA TEMPERATURA DO AR, COM E SEM  
IRRIGAÇÃO**

Solange França  
Engenheira Agrônoma (UPF)

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de Mestre  
em Fitotecnia, opção Agrometeorologia

Porto Alegre (RS), Brasil  
Agosto de 1997



CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO

F814m França, Solange  
Modelagem do crescimento de milho em função da radiação solar e da temperatura do ar, com e sem irrigação / Solange França. -- Porto Alegre : S. França, 1997.

xi, 75 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, 1997.

1. Milho : Prática cultural : Radiação solar : Temperatura : Irrigação. I.Título.

CDD: 633.155 87

CDU: 633.15

Catálogo na publicação:

Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

18466

T  
633.155 87  
F814M

AGR  
1998/155899-8  
1998/03/20

SOLANGE FRANÇA  
Engenheira Agrônoma - UPF

## DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

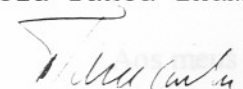
### MESTRE EM FITOTECNIA

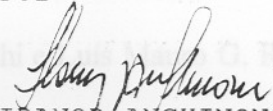
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Faculdade de Agronomia


Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

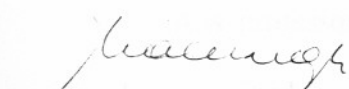
Aprovado em: 22.08.1997  
Pela Banca Examinadora

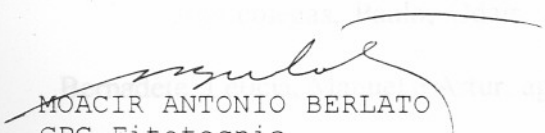
Homologado em: 20.10.1997  
Por


  
HOMERO BERGAMASCHI  
Orientador-CPG-Fitotecnia


  
IBANOR ANGHINONI  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia

  
LUIS MAURO GONÇALVES ROSA  
Co-orientador-CPG-Fitotecnia

  
CARLOS NABINGER  
Dept. Pl. Forrageiras e Agrom./UFRGS

  
MOACIR ANTONIO BERLATO  
CPG-Fitotecnia

  
SERGIO NICOLATIEWSKY  
Diretor da Faculdade  
de Agronomia

  
RONALDO MATZENAUER  
FEPAGRO

Aos funcionários da Estação Experimental Agronômica, Carlos, Celso e Alcino e, aos secretários do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Ana e Rogério, agradeço a colaboração nos serviços prestados.

Ao CNPq e a CAPES, agradeço a bolsa de estudo.

## AGRADECIMENTOS

Enfim, agradeço a Deus grande responsável pela minha existência e, aos Santos que me auxiliaram em todas as etapas.

Aos meus pais, Gelso e Rosita, agradeço o amor, a compreensão, o apoio incondicional, o exemplo de vida e os primeiros ensinamentos, que proporcionaram minha formação humana, educacional e profissional. Agradeço também aos meus irmãos, Rose e Gilmar, e ao amigo Leandro Vargas pelo incentivo e o estímulo responsável por esta conquista.

Aos meus orientadores, Homero Bergamaschi e Luís Mauro G. Rosa, agradeço a oportunidade oferecida, a orientação, a dedicação e os conhecimentos transmitidos, imprecindíveis nesta fase de minha vida. Agradeço também a amizade, o carinho, o apoio e o incentivo.

Aos professores, Moacir A. Berlato, Denise C. Fontana e Carlos Nabinger, agradeço a amizade e o exemplo transmitido de profissionais competentes e dedicados.

Aos colegas, Paulo, Odair, Alexandre, Helenir, Lilian, Elena, Sueni, Cristina, Bernadete, Letícia, Manuel e Artur, agradeço a convivência agradável durante o curso. E em especial a Eunice Calvete, que além de colega se tornou uma grande amiga.

A João Ito Bergonci, agradeço a amizade, o coleguismo e a também orientação na condução deste trabalho.

Ao bolsista Ricardo Aragonês, agradeço a ajuda na execução do experimento a campo.

Aos funcionários da Estação Experimental Agronômica, Carlos, Celso e Alcino e, aos secretários do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Ana e Rogério, agradeço a colaboração nos serviços prestados.

Ao CNPq e a CAPES, agradeço o auxílio financeiro.

Enfim, agradeço à Deus grande responsável pela minha existência e, aos Santos que me socorreram em momentos difíceis.

A metodologia utilizada para estimativa da potencial de produção é um importante instrumento para o planejamento experimental, permitindo resultados de culturas e as condições ambientais. Uma das formas de estimativa da relação do rendimento de matéria seca por unidade de área (MS<sub>pot</sub>) é a interceptação da curva interceptada (PAR<sub>int</sub>) pela curva de saturação da curva de saturação em função da luz, com o objetivo de ajustar modelos de potenciais de produção de matéria seca aérea de milho, foi conduzido experimento de campo na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul (30°05'22" S e 51°39'08" W e altitude aproximada de 40 m). Os tratamentos avaliados foram: parcelas irrigadas, com solo mantido próximo a capacidade de campo e parcelas não irrigadas. A ocorrência do déficit hídrico durante o crescimento vegetativo causou atraso nos estádios fenológicos e necessidade de maior acúmulo de graus-dia para o milho completar o ciclo. Os modelos que melhor se ajustaram para estimativa do IAF e da MS<sub>pot</sub> aérea em função do acúmulo de graus-dia foram equações de segundo e terceiro graus, respectivamente. A disponibilidade hídrica ocasionou um comportamento diferenciado entre os tratamentos, afetando negativamente IAF e MS<sub>pot</sub>. Os resultados confirmaram que, para estimativa da MS<sub>pot</sub> aérea de milho, em função do acúmulo de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, é possível utilizar o modelo proposto, em condições potenciais (sem déficit hídrico), a estimativa de potencial de produção de 2,6 t MS aérea para cada MJ de PAR<sub>int</sub> interceptado, sendo possível para espécies do metabolismo C<sub>4</sub>, sendo reduzido para 1,5 t MS aérea para o milho híbrido.

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, opção Agrometeorologia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (72 p.), agosto de 1997.

# MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE MILHO EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR E DA TEMPERATURA DO AR, COM E SEM IRRIGAÇÃO<sup>1</sup>

Autor: Solange França

Advisors: Dr. Homero Bergamaschi

Autor: Solange França

Orientadores: Prof. Dr. Homero Bergamaschi

Prof. Dr. Luis Mauro G. Rosa

## SINOPSE

O uso de modelos para estimativa do potencial de produção é um importante instrumento para avaliar as interações entre o comportamento produtivo de culturas e as condições do ambiente. Uma das alternativas consiste em relacionar o rendimento de matéria seca e o total de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $PAR_{int}$ ) pela cultura, durante o seu ciclo. Seguindo este princípio básico, com o objetivo de ajustar modelos de estimativa da produção de matéria seca aérea de milho, foi conduzido experimento de campo na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul ( $30^{\circ}05'22''$  S e  $51^{\circ}39'08''$  W e altitude aproximada de 40 m). Os tratamentos avaliados foram: parcelas irrigadas, com solo mantido próximo a capacidade de campo e parcelas não irrigadas. A ocorrência do déficit hídrico durante o crescimento vegetativo causou atraso nos estádios fenológicos e necessidade de maior acúmulo de graus-dia para o milho completar o ciclo. Os modelos que melhor se ajustaram para estimativa do IAF e da MS aérea em função do acúmulo de graus-dia foram equações de segundo e terceiro grau, respectivamente. A disponibilidade hídrica ocasionou um comportamento diferenciado entre os tratamentos, afetando negativamente IAF e MS. Os resultados confirmaram que, para estimativa da MS aérea de milho em função do somatório de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, o modelo linear é o que melhor se ajusta. Em condições potenciais (sem restrição hídrica) a eficiência de utilização da radiação foi de 2,6 g MS aérea para cada MJ de  $PAR_{int}$ , na ordem de grandeza prevista para espécies de metabolismo  $C_4$ , sendo reduzida quando a cultura foi submetida ao déficit hídrico.

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, opção Agrometeorologia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (75 p.), agosto de 1997.

# MODER OF MAIZE GROWTH AS A FUNCTION OF SOLAR RADIATION AND AIR TEMPERATURE, IRRIGATED AND NON-IRRIGATED<sup>1</sup>

Author: Solange Franca  
Advisors: Dr. Homero Bergamaschi  
Dr. Luis Mauro G. Rosa

## SUMMARY

The use of mathematical models to estimate the potential yield of a crop is an important instrument to evaluate the interactions between crop productivity and the environment. One such model uses the relationship between dry matter yield and the total photosynthetically active radiation intercepted (PAR<sub>int</sub>) by the crop during its growth cycle. The objective of this study was to check the fitness of mathematical models to estimate dry matter production in maize. The experiment was performed under field conditions at the Agronomic Research Station of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS) located in Eldorado do Sul (30°05'22" S, 51°39'08" W, altitude 40 m). Two treatments were evaluated: irrigated plants, with soil kept close to field capacity, and plants subjected to drought. Drought during vegetative growth caused a delay on maize phenological states with the need of a bigger sum of degree days to complete its cycle. The best fit models to predict LAI and DM were from second and third degree equations, respectively. The results also showed that for the estimate of DM as a function of PAR intercepted the best fit was a linear equation model. Under non-limiting conditions the radiation use efficiency of maize was 2.6g DM / MJ PAR<sub>int</sub>, at expected the magnitude for species with the C4 metabolism, and it was decreased when subjected to water deficit.

MÉTODOS	19
3.1 Caracterização do experimento	19
3.1.1 Local	19
3.1.2 Cultivo	19
3.1.3 Tratamentos	20
3.1.4 Análises estatísticas	20
3.1.5 Manejo de irrigação	23
3.1.6 Manejo de nutrientes	23
3.1.7 Manejo de pragas e doenças	24
3.1.8 Manejo de colheita	24
3.2 Estado de desenvolvimento	25
3.2.1 Índice de área foliar e densidade de área foliar	25
3.2.2 Índice de crescimento de área foliar	26
3.2.3 Taxa de crescimento de área foliar e taxa assimilatória	26
3.2.4 Índice de crescimento	27
3.2.5 Índice de colheita	27
3.3.3 Evapotranspiração	28
3.3.3.1 Evapotranspiração máxima (ET <sub>m</sub> )	28
3.3.3.2 Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> )	28
3.3.4 Elementos meteorológicos	29
3.3.4.1 Razão PAR/R <sub>s</sub>	30

<sup>1</sup> Master of Science in Plant Science Dissertation, option in Agrometeorology, School of agronomy, Universidade federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre. (75 p.), August, 1997.

	Página
3.4 Modelos para estimar o IAF e o rendimento de matéria seca.....	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
4.1 Caracterização das condições meteorológicas do período experimental.....	34
4.2 Desenvolvimento fenológico.....	37
4.3 Análise de crescimento.....	39
4.4 Evapotranspiração.....	39
4.5 Matéria seca e rendimento de grãos.....	42
4.6 Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória.....	48
4.7 Relação entre a matéria seca e o rendimento de grãos.....	48
<b>SUMÁRIO</b>	
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>03</b>
2.1 Parâmetros básicos para modelagem do crescimento e desenvolvimento do milho.....	03
2.1.1 Temperatura.....	05
2.1.2 Radiação solar.....	06
2.1.3 Radiação fotossinteticamente ativa.....	07
2.1.3.1 Componentes do balanço de PAR.....	09
2.1.3.2 Eficiência de interceptação de PAR.....	11
2.2. Fatores relacionados à conversão da radiação solar em matéria seca.....	11
2.3 Eficiência de utilização da radiação.....	14
2.4 Efeito do déficit hídrico.....	17
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1 Caracterização do experimento.....	19
3.1.1 Local.....	19
3.1.2 Clima.....	19
3.1.3 Solo.....	20
3.1.4 Delineamento experimental.....	20
3.1.4.1. Manejo da irrigação.....	23
3.2 Manejo da área experimental.....	23
3.3 Determinações.....	24
3.3.1 Fenologia.....	24
3.3.2 Análise de crescimento.....	25
3.3.2.1 Índice de área foliar e duração da área foliar.....	25
3.3.2.2 Matéria seca aérea total.....	26
3.3.2.3 Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória líquida.....	26
3.3.2.4 Rendimento de grãos.....	27
3.3.2.5 Índice de colheita.....	27
3.3.3 Evapotranspiração.....	28
3.3.3.1 Evapotranspiração máxima (ET <sub>m</sub> ).....	28
3.3.3.2 Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ).....	28
3.3.4 Elementos meteorológicos.....	29
3.3.4.1 Razão PAR/R <sub>s</sub> .....	30
3.3.4.2 Radiação fotossinteticamente ativa.....	30
3.3.4.3 Acúmulo de graus-dia.....	31



	Página
3.4 Modelos para estimar o IAF e o rendimento de matéria seca.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Caracterização das condições meteorológicas do período experimental.....	34
4.2 Desenvolvimento fenológico.....	37
4.3 Análise de crescimento.....	39
4.3.1 Área foliar.....	39
4.3.2 Matéria seca e rendimento de grãos.....	42
4.3.3 Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória líquida.....	46
4.4 Modelo de estimativa da matéria seca em milho.....	48
4.4.1 Ajustes em função do acúmulo de graus-dia.....	48
4.4.2 Ajustes em função de PAR interceptada.....	51
4.4.2.1 Razão PAR/Rs.....	51
4.4.2.2 Eficiência de interceptação de PAR.....	52
4.4.2.3 Ajuste de matéria seca aérea.....	55
4.4.3 Matéria seca em função de radiação solar e temperatura do ar.....	58
5. CONCLUSÕES.....	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
7. APÊNDICES.....	68

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Coeficientes de regressão linear para a relação entre matéria seca produzida e radiação absorvida ou interceptada, em diferentes culturas Adaptado de Gosse <i>et al.</i> (1986).....	15
2. Estádios de desenvolvimento da cultura do milho ( <i>Zea mays</i> L.), segundo Hanway (1963).....	25
3. Temperatura média do ar, precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) e radiação solar global (R <sub>s</sub> ) observada no período experimental (1995/96) e médias climatológicas do período a de 1970 1989. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	38
4. Estádios fenológicos do milho para os tratamentos com irrigação (I <sub>4</sub> ) e sem irrigação (I <sub>0</sub> ), data de amostragem, dias após emergência (DAE), acúmulo de graus-dia (GD) e acúmulo de PAR incidente ( $\Sigma$ PAR <sub>inc</sub> ) durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	38
5. Matéria seca (MS) aérea total, rendimento de grãos e índice de colheita (IC) em milho, para os tratamentos sem irrigação (I <sub>0</sub> ) e com irrigação (I <sub>4</sub> ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	46
6. Matéria seca aérea - MS (A) em função de dias após a emergência (DAE) e estádios fenológicos (Hanway, 1963) e rendimento de grãos e MS aérea total (B) em milho, com irrigação (I <sub>4</sub> ) e sem irrigação (I <sub>0</sub> ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	41
7. Taxa de crescimento da cobertura foliar (A) e taxa de assimilação líquida (B) em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação (I <sub>4</sub> ) e sem irrigação (I <sub>0</sub> ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	47
8. Índice de área foliar - IAF (A) e matéria seca aérea - MS (B) em função do acúmulo de graus-dia e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação (I <sub>4</sub> ) e sem irrigação (I <sub>0</sub> ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	50

Relação entre radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e radiação solar global (Rs), em função da hora do dia, para alguns dias durante o período experimental, Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....

53

Relação entre eficiência de interceptação de PAR e índice de área foliar (IAF) estimado, em função da hora do dia, com irrigação e sem irrigação, Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....

54

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Componentes do balanço de radiação em uma cobertura vegetal (Adaptada de Varlet-Grancher <i>et al.</i> , 1989).....	10
2. Esquema do delineamento experimental com a distribuição do tratamentos em função dos diferentes níveis de irrigação. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	21
3. Vista geral do experimento e distribuição dos tratamentos em função dos diferentes níveis de irrigação, durante a estiagem - período vegetativo (A) e após a estiagem - período reprodutivo (B). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	22
4. Temperatura média do ar e radiação solar global - Rs (A); precipitações pluviais (P) e irrigações (I), evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) segundo Penman e evapotranspiração máxima do milho (ET <sub>m</sub> ), em intervalos de cinco dias (B), em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	35
5. Índice de área foliar - IAF (A) e duração da área foliar - DAF (B), em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação (I <sub>4</sub> ) e sem irrigação (I <sub>0</sub> ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	41
6. Acúmulo de matéria seca aérea - MS (A) em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) e rendimento de grãos e MS aérea total (B) em milho, com irrigação (I <sub>4</sub> ) e sem irrigação (I <sub>0</sub> ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	44
7. Taxa de crescimento da cultura (A) e taxa assimilatória líquida (B) em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação (I <sub>4</sub> ) e sem irrigação (I <sub>0</sub> ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	47
8. Índice de área foliar - IAF (A) e matéria seca aérea - MS (B) em função do acúmulo de graus-dia e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação (I <sub>4</sub> ) e sem irrigação (I <sub>0</sub> ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	50

9. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e radiação solar global (Rs), em função da hora do dia, para alguns dias durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	53
10. Relação entre eficiência de interceptação de PAR e índice de área foliar (IAF) estimado em milho, com irrigação ( $I_4$ ) e sem irrigação ( $I_0$ ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	54
11. Relação entre matéria seca (MS) aérea estimada e somatório de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $PAR_{int}$ ) para o milho, com irrigação ( $I_4$ ) e sem irrigação ( $I_0$ ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.....	56

aproximadamente 20% da produção total. O Rio Grande do Sul é o segundo produtor nacional, contribuindo com 10,7% da produção total. Nesta safra, o Estado produziu 3,31 milhões de toneladas, numa área equivalente a 1,58 milhões de hectares, resultando numa média de 2,09 t ha<sup>-1</sup>.

Apesar da área de cultivo de milho no Rio Grande do Sul aumentar ano a ano, o rendimento médio se mantém baixo, apresentando uma variação de 1,31 t ha<sup>-1</sup> em 1990/91 para 1,41 t ha<sup>-1</sup> em 1994/95. O baixo rendimento de cultivo no País e no Estado é atribuído, dentre outras razões, à distribuição pluvial irregular e, principalmente, à inadequada distribuição de nutrientes e aos baixos níveis de fertilidade do solo.

A radiação solar, a temperatura e a disponibilidade hídrica afetam o crescimento da cultura, de modo que a quantificação destes fatores pode ser utilizada no ajuste de modelos de simulação do desenvolvimento e da produção de culturas. Em condições potenciais a quantidade de radiação incidente e a proporção desta que é interceptada pelas plantas são determinantes fundamentais do rendimento, embora o seu desenvolvimento seja mais influenciado pela temperatura ambiente, que determinará o índice de área foliar e, desse modo, a proporção de radiação que será interceptada.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro produtor mundial de milho, tendo produzido 32 milhões de toneladas safra 1995/96, numa área de 13,4 milhões de hectares com um rendimento de apenas 2,4 toneladas por hectare. O Rio Grande do Sul é o segundo produtor nacional, contribuindo com 10,3% da produção total. Nesta safra, o Estado produziu 3,31 milhões de toneladas, numa área equivalente a 1,58 milhões de hectares, resultando numa média de 2,09 t ha<sup>-1</sup>.

Apesar da área de cultivo de milho no Rio Grande do Sul aumentar ano a ano, o rendimento médio se mantém baixo, apresentando uma variação de 1,1 t ha<sup>-1</sup> em 1990/91 a 3,1 t ha<sup>-1</sup> em 1994/95. O baixo rendimento de milho no País e no Estado é atribuído, dentre várias causas, à distribuição pluvial irregular e insuficiente, à inadequada densidade de plantas e aos níveis limitantes de fertilidade do solo.

A radiação solar, a temperatura e a disponibilidade hídrica afetam o crescimento da cultura, de maneira que a quantificação destes fatores pode ser utilizada no ajuste de modelos de simulação do desenvolvimento e da produção de culturas. Em condições potenciais a quantidade de radiação incidente e a proporção desta que é interceptada pelas plantas são determinantes fundamentais do rendimento, embora o seu desenvolvimento seja mais influenciado pela temperatura ambiente, que determinará o índice de área foliar e, desse modo, a proporção de radiação que será interceptada.

O uso de modelos para estimativa e predição da produção, pode ser baseado na relação entre o rendimento de matéria seca e o total de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $PAR_{int}$ ) pela cultura, durante o seu ciclo. Tendo em vista que a  $PAR_{int}$  é uma variável sintética que pode ser medida diretamente, estes modelos utilizam submodelos que determinam a  $PAR_{int}$  à partir do índice de área foliar (IAF), da eficiência de intercepção da cultura e da relação radiação solar global sobre a radiação fotossinteticamente ativa ( $R_s/PAR$ ). Assim, este trabalho visa ajustar um modelo de estimação do acúmulo de biomassa aérea para o milho cujas variáveis de entrada sejam a disponibilidade de radiação solar global e a temperatura média do ar, em diferentes meteorológicas sobre o crescimento, desenvolvimento, produção e rendimento das condições hídricas.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar a fração da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) contida na radiação solar global ( $R_s$ ), em condições de céu limpo e de céu nublado;
- Ajustar um modelo de estimativa do índice de área foliar (IAF) e de matéria seca aérea (MS) em função do acúmulo de graus-dia para a cultura do milho;
- Determinar a eficiência de intercepção da radiação fotossinteticamente ativa ( $\epsilon_i$ ) em função do índice de área foliar para a cultura do milho;
- Ajustar um modelo de estimativa de acúmulo de matéria seca aérea (MS) em função do somatório de PAR interceptada para a cultura do milho;
- Avaliar o impacto do déficit hídrico sobre o crescimento e o rendimento de milho.

autores, com o objetivo de estimar a produção de matéria seca aérea (Monteith, 1972; Gallagher & Biscoe, 1978; Spertz, 1982) e também da produção total de matéria seca (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Khairy *et al.*, 1989). O coeficiente angular da curva de regressão entre a massa de matéria seca total e radiação fotossinteticamente ativa

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de modelos para a predição do potencial de produção é instrumento importante para quantificar as interações entre o comportamento produtivo de culturas e os fatores ambientais. Estes modelos procuram simular os efeitos das condições meteorológicas sobre o crescimento, desenvolvimento, produção e rendimento das espécies vegetais. Para a elaboração de modelos é fundamental a obtenção de parâmetros confiáveis, podendo-se optar por índices encontrados na literatura ou, de preferência, determiná-los nas condições em que a cultura se desenvolve (Pandolfo, 1995).

### 2.1 Parâmetros básicos para modelagem do crescimento e desenvolvimento do milho

Para qualquer espécie vegetal, em condições de suprimento hídrico e mineral não limitantes, ocorre uma relação linear entre o acúmulo de matéria seca aérea e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, permitindo ajuste de modelos simples de estimação da produção potencial, em um determinado local (Gosse *et al.*, 1986). Esse tipo de modelo foi aplicado para diferentes culturas, por vários autores, com o objetivo de estimar a produção de matéria seca aérea (Monteith, 1972; Gallagher & Biscoe, 1978; Spertz, 1982) e também da produção total de matéria seca (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Kiniry *et al.*, 1989). O coeficiente angular da curva de regressão entre a massa de matéria seca total e radiação fotossinteticamente ativa

interceptada define a eficiência do uso da radiação para a produção de biomassa (Monteith, 1977).

O modelo de predição do potencial de produção de matéria seca aplicado à cultura da alfafa proposto por Gosse *et al.* (1984) é baseado na relação existente entre a matéria seca produzida e a soma da radiação interceptada pela cultura, ao longo de seu ciclo de crescimento vegetativo. Duas relações simples permitem estimar a quantidade de radiação interceptada em função de duas variáveis meteorológicas clássicas: a radiação global incidente e a soma de temperaturas médias diárias.

O modelo pressupõe que a radiação interceptada pela cultura sofre intervenção de três componentes: a radiação incidente, a estrutura da vegetação e o índice de área foliar da cultura. O primeiro componente é medido nas estações meteorológicas e os dois últimos são parâmetros que necessitam ser caracterizados para cada cultura em particular (Gosse *et al.*, 1984).

Na mesma linha, Brisson *et al.* (1990) desenvolveram um modelo com o objetivo de estimar a produção potencial de matéria seca para o milho somente em função da temperatura e da radiação disponível, em diferentes locais, em condições não limitantes. A produção de grãos pode ser estimada como uma fração da biomassa total, sendo esta dependente da atividade fotossintética e da quantidade de radiação solar interceptada através da cultura. A radiação interceptada foi calculada a partir da radiação global e do índice de área foliar, ao longo do ciclo do milho. O índice de área foliar foi ajustado por funções lineares da soma de graus-dia durante os três períodos de desenvolvimento da planta: emergência-floração, floração-senescência e senescência-maturação.



A radiação solar interceptada é estimada em função do somatório da radiação solar global ( $R_s$ ) a partir da emergência e do IAF estimado. A massa de matéria seca aérea é, então, calculada a partir da estimativa da radiação global interceptada, através de um coeficiente de conversão. Este coeficiente numérico representa a eficiência de utilização da radiação (RUE), a qual para as condições europeias, significa que a cada megajoule de radiação interceptada são produzidos 3 g de matéria seca (Brisson *et al.*, 1990).

### 2.1.1 Temperatura

O aparecimento das fases fenológicas, bem como a duração dos subperíodos e ciclos das plantas estão mais associados às condições do ambiente do que ao número de dias do calendário. Embora todo o complexo climático atue no desenvolvimento vegetal, a temperatura é o fator com maior influência sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Berlato & Sutili, 1976; Berlato *et al.*, 1984; Costa *et al.*, 1996).

Tollenaar *et al.* (1979) mostraram que a caracterização da taxa de desenvolvimento no milho baseada na temperatura acumulada resultou da necessidade de se determinar a adaptabilidade dos genótipos para determinados locais e para prever as datas de floração e de colheita. As aplicações dos sistemas de unidades térmicas mais comuns pressupõem uma relação linear entre a taxa de desenvolvimento da planta e a temperatura acima de uma base específica.

Vários procedimentos são utilizados para relacionar temperatura e desenvolvimento das plantas, como soma de temperaturas, unidades térmicas e graus-dia. Este último método consiste da soma de temperaturas, acima de uma temperatura

base, necessária para que a planta atinja uma determinada fase de seu desenvolvimento (Berlato *et al.*, 1984; Berlato *et al.*, 1974).

Conforme Gilmore & Rogers (1958), a temperatura mínima para haver crescimento apreciável das plantas de milho seria de 10°C, estando a ótima em torno de 30°C, sendo que a partir dessa temperatura ótima há uma redução no crescimento. Em trabalho conduzido por Berlato & Sutili (1976), para o subperíodo emergência-  
pendoamento, as temperaturas bases que corresponderam ao menor desvio padrão em dias, para híbridos de diferentes ciclos, variaram entre 4°C e 8°C. Para Tollenaar & Hunter (1983) pode-se calcular as unidades térmicas para o milho usando, como limite de variação, temperaturas entre 5 e 10°C. Através de ajuste linear para as taxas de aparecimento de folhas, em câmara de crescimento com temperatura controlada, Jones & Kiniry (1986) e Kiniry (1991) determinaram a temperatura base de 8°C para todas as etapas fenológicas, exceto para emergência das plântulas, quando consideram a temperatura de 10°C.

### 2.1.2 Radiação solar

Além dos fatores água e nutrientes, a radiação solar vem sendo, desde muito tempo, merecedora de atenção nas pesquisas quanto ao rendimento potencial das culturas. Muitos modelos para cálculo do rendimento potencial das culturas utilizam a radiação solar como elemento principal. Neste sentido, diversos trabalhos experimentais demonstram redução do rendimento de grãos de milho sob condições de sombreamento, e aumento em condições de suplementação com luz (Lomis & Willians, 1963; Pendleton *et al.*, 1967; Jong *et al.*, 1982; Struik, 1983; Hashemi & Hebert, 1992; Girardin & Tollenaar, 1984).

A radiação solar recebida na superfície do solo, sobre um plano horizontal, corresponde às radiações provenientes diretamente do sol (componente direto), com direção determinada pela posição solar (azimute e altura), e às radiações difusas, resultantes da difusão ao longo da sua passagem pela atmosfera (componente difuso) e que chegam à superfície em todas as direções. A radiação solar global representa, portanto, a soma das radiações direta e difusa dentro da faixa de comprimentos de onda de 300 a 3000 nm (Varlet-Grancher *et al.*, 1989; Debeneix, 1994)

A radiação solar é, praticamente, a única fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. Sendo assim, a produção final de biomassa depende, em última instância, da eficiência com que as folhas convertem energia radiante em energia química através da fotossíntese (Assis & Mendez, 1989).

Nem toda a radiação solar incidente é absorvida pela vegetação, mesmo quando a mesma é retida no dossel. A radiação retida (interceptada e absorvida) é dependente de vários fatores físicos e biológicos, como a posição solar, geometria, tamanho, anatomia e idade das folhas, bem como arranjo e estrutura das plantas (Pereira *et al.*, 1982).

Para Varlet-Grancher *et al.* (1989), a radiação solar recebida por uma cobertura vegetal pode ser caracterizada pela radiação global ou total ( $R_s$ ), medida em unidades de fluxo de energia, ou da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), medida na faixa espectral de 400 a 700 nm, como fluxo energético - irradiância energética (EPAR), ou como fluxo de fótons - irradiância quântica (QPAR).

### 2.1.3 Radiação fotossinteticamente ativa

Nem todos os comprimentos de onda do espectro solar podem ser utilizadas pelos órgãos clorofilados. A conversão da energia dos fótons incidentes em energia

química, através do aparelho fotossintético de uma folha, corresponde apenas às radiações com comprimento de onda entre 400 e 700 nm, aproximadamente, com uma eficiência variável dentro deste intervalo (Varlet-Grancher *et al.*, 1989; Debeneix, 1994).

McCree (1972) demonstrou que o fluxo de fótons na faixa de onda 400 a 700 nm é a estimativa mais precisa da radiação útil à fotossíntese, para ambas as fontes de luz natural e artificial. Após a publicação deste trabalho, diferentes autores e fabricantes passaram a produzir sensores que permitem fazer medições precisas desta radiação (Chartier *et al.*, 1989). A sigla PAR (Photosynthetically Active Radiation) é, atualmente, a mais utilizada para designar a radiação fotossinteticamente ativa (Varlet-Grancher *et al.*, 1981).

A quantificação do fluxo de fótons, correspondente à faixa da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), é importante em estudos de ecofisiologia e fisiologia vegetal, mais particularmente, para estudos sobre fotossíntese e crescimento de plantas. Além disso, é necessária em aplicações relacionadas à produção de biomassa, a modelos de crescimento de culturas e à fotossíntese em folhas de plantas isoladas ou em comunidades de plantas (Chartier *et al.*, 1989; Alados *et al.*, 1996; Meek *et al.*, 1984; Karalis, 1989).

Em geral, nas estações meteorológicas é medida somente a radiação solar global (Rs), sendo então necessária a conversão desta para radiação fotossinteticamente ativa. Na maioria dos casos, PAR tem sido estimada como uma fração constante do espectro total de Rs, podendo variar entre 44 a 69% de Rs (Stanhill & Fuchs, 1977; Stigter & Musabilha, 1982; Pereira *et al.*, 1982; Howel *et al.*, 1983) dependendo de fatores climáticos, tais como a pressão atmosférica, a elevação solar, a turbidez atmosférica e a precipitação pluvial (Alados *et al.*, 1996). Meek *et al.* (1984) sugerem que a

determinação local é desejada por considerar as condições geográficas e climáticas. Para a Depressão Central do Rio Grande do Sul, Pandolfo (1995) determinou que 43,4% da radiação solar global corresponde à radiação fotossinteticamente ativa. Resultado semelhante foi obtido por França *et al.* (1997), no mesmo local, onde a razão PAR/Rs apresentou um valor médio de  $0,42 \pm 0,03$  (média  $\pm$  desvio padrão).

### 2.1.3.1 Componentes do balanço de PAR

A cobertura vegetal não absorve toda a radiação solar que recebe. Uma parte é refletida para a atmosfera e outra é transmitida ao solo que, por sua vez, devolve uma parte para a vegetação (Varlet-Grancher *et al.*, 1989).

Varlet-Grancher *et al.* (1989), definem que para a determinação do balanço de radiação da cobertura vegetal são necessários: um sensor horizontal situado acima da cultura considerada ou na proximidade, medindo radiação incidente ( $PAR_{inc}$ ); um sensor horizontal em posição inversa (voltado para a cultura) situado, geralmente, a 1 m acima das folhas mais altas (plano superior fictício), medindo radiação refletida pelo sistema solo-cultura ao mesmo tempo ( $PAR_{rsc}$ ); um sensor (linear ou com vários sensores pontuais) no plano horizontal, ao nível do solo, medindo radiação transmitida ( $PAR_t$ ); um sensor horizontal em posição inversa (voltado para o solo), situado ao nível das primeiras folhas (plano inferior fictício), medindo radiação refletida pelo solo ( $PAR_{rs}$ ) (Figura 1).

Segundo vários autores (Varlet-Grancher & Bonhomme, 1974; Hodge & Kanemasu, 1977; Gallo & Daughtry, 1986; Varlet-Grancher *et al.*, 1989; Debeneix, 1994) a radiação absorvida pela cultura ( $PAR_a$ ) é determinada pelo balanço entre as radiações recebidas e as radiações perdidas para o meio, conforme a seguinte equação:

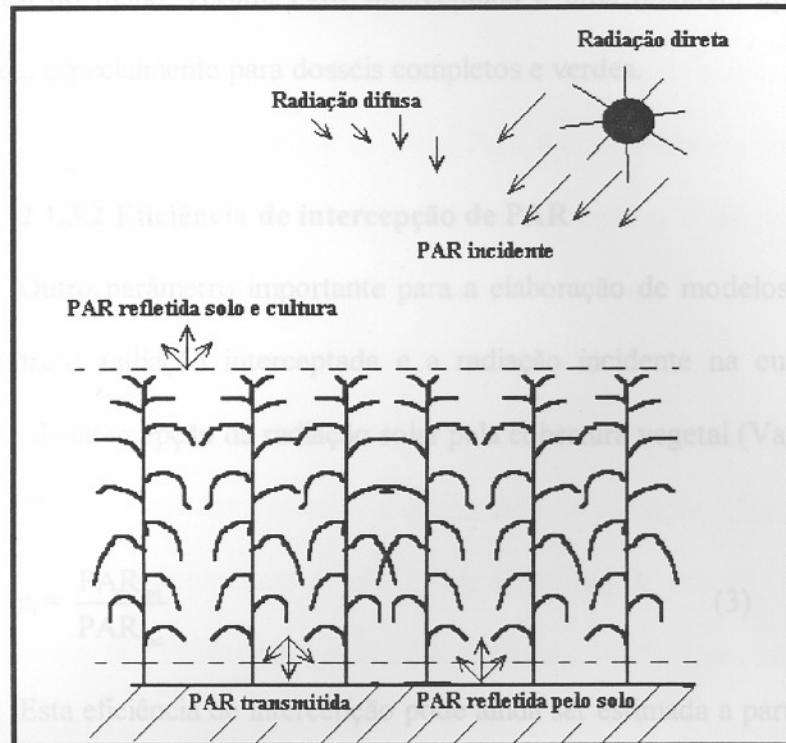


FIGURA 1- Componentes do balanço de radiação em uma cobertura vegetal (Adaptada de Varlet-Grancher *et al.*, 1989).

$$PAR_a = PAR_{inc} - PAR_t - PAR_{rsc} + PAR_{rs} \quad (1)$$

onde:  $PAR_{inc}$  representa a radiação incidente,  $PAR_{rs}$  a radiação refletida pelo solo,  $PAR_{rsc}$  a radiação refletida pelo sistema solo+cultura e  $PAR_t$  a radiação transmitida ao solo.

Por outro lado, em alguns trabalhos foi considerada somente a radiação interceptada ( $PAR_{int}$ ), determinada pelo balanço entre a radiação incidente e a radiação transmitida ao solo (Gallo & Daughtry, 1986; Varlet-Grancher *et al.*, 1989; Debeneix, 1994; França *et al.*, 1997):

$$PAR_{int} = PAR_{inc} - PAR_t \quad (2)$$

Gallo & Daughtry (1986) observaram que as diferenças entre  $PAR_{int}$  e  $PAR_a$  foram menores do que 3,5%, da sementeira até imediatamente antes da maturação

fisiológica do milho. Assim, PAR interceptada é uma razoável aproximação de PAR absorvida, especialmente para dosséis completos e verdes.

### 2.1.3.2 Eficiência de interceptção de PAR

Outro parâmetro importante para a elaboração de modelos de rendimento é a razão entre a radiação interceptada e a radiação incidente na cultura, que define a eficiência de interceptção da radiação solar pela cobertura vegetal (Varlet-Grancher *et al.*, 1989):

$$\varepsilon_i = \frac{\text{PAR}_{\text{int}}}{\text{PAR}_{\text{inc}}} \quad (3)$$

Esta eficiência de interceptção pode ainda ser estimada a partir do coeficiente de transmissão (Varlet-Grancher *et al.*, 1989):

$$\text{CT} = \frac{\text{PAR}_t}{\text{PAR}_{\text{inc}}} \quad (4)$$

sendo,

$$\varepsilon_i = 1 - \text{CT} \quad (5)$$

## 2.2. Fatores relacionados à conversão da radiação solar em matéria seca

Segundo Loomis e Williams (1963), 90 a 95% da matéria seca total de plantas superiores, geralmente, são constituídos por compostos de carbono derivados da fotossíntese. Sendo que a fotossíntese por unidade de área foliar depende da radiação recebida, a produção de matéria seca de uma cobertura vegetal é função do sistema foliar e da eficiência fotossintética deste (Bonhomme *et al.*, 1982).

A produção de matéria seca da cultura, na ausência de outros fatores limitantes, é determinada pela intercepção ou absorção da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel da cultura e pela eficiência com que PAR é convertida em matéria seca. Assim, a principal determinante da taxa de crescimento das plantas e da produtividade final da cultura é a quantidade total de  $PAR_{int}$  ou  $PAR_a$  (Good & Bell, 1980; Tollenaar & Bruulsema, 1988).

Vários autores encontraram relação linear positiva entre a matéria seca total acumulada pela cobertura vegetal e a quantidade de radiação interceptada, para várias espécies vegetais (Bonhomme *et al.*, 1982; Gallagher & Biscoe, 1978; Gosse *et al.*, 1984; Gosse *et al.*, 1986; Meek *et al.*, 1984; Green, 1987). Com tais relações, torna-se possível estimar, de maneira simples, a produtividade potencial de uma região, informação necessária à determinação e administração de seus recursos agrícolas (Gosse *et al.*, 1986; Tollenaar & Bruulsema, 1988).

Um procedimento relativamente simples para estimar acréscimos de matéria seca da cultura é considerar que o peso da matéria seca produzida por unidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $PAR_{int}$ ) é constante na ausência de estresses. Por este princípio a perda de peso devida à respiração de manutenção e de crescimento é proporcional à fotossíntese total bruta (Charles - Edwards, 1982).

Bonhomme *et al.* (1982) descreveram que a quantidade de matéria seca produzida pela cultura do milho, em um local, é função da duração da superfície foliar. Porém, entre regiões recebendo iluminações diferentes, as relações variam muito. Mas, a matéria seca produzida, em diferentes locais, é dependente da energia solar útil captada pelas culturas, sendo que a eficiência de captação depende, sobretudo, do índice de área foliar. Em trabalho conduzido em vários locais na França, o autor encontrou uma relação



linear entre acúmulo de matéria seca, para três híbridos de milho, em função do acúmulo de radiação fotossinteticamente ativa absorvida durante o período de crescimento.

Para Varlet-Grancher *et al.* (1982) a baixa produção de matéria seca dos milhos precoces, no norte da França, resulta, sobretudo, de uma má interceptação da radiação solar. Isto é explicado por um desenvolvimento insuficiente da superfície foliar (exemplo da variedade "BIB", com IAF máximo de 2,4), que não permite obter uma eficiência de interceptação mais alta, além das limitações impostas pela posição do ciclo de vegetação no ano (Gosse *et al.*, 1986).

✦ Em trabalho realizado por Williams *et al.* (1965), com milho cultivado em diversas densidades de plantas e em ambiente altamente favorável, a taxa máxima de produção de matéria seca foi de  $52 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , atingida com a maior densidade de plantas, durante um período de 12 dias antes do pendoamento. Neste período, a produção de MS foi função direta da radiação solar interceptada pelo dossel foliar, sendo que a conversão de energia líquida neste período foi de 2,9% da radiação solar recebida, com 47% de eficiência de interceptação máxima.

✦ Williams *et al.* (1968) concluíram que a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada foi a principal determinante da taxa de crescimento da cultura durante o período vegetativo do milho, quando nutrientes e umidade do solo não foram limitantes. Porém, a partir do período reprodutivo, pendões, grãos de pólen e a senescência foliar se tornam os principais consumidores da fotossíntese. Segundo o trabalho, a produção de grãos se correlaciona bem com a taxa de crescimento da cultura a partir de uma densidade ótima. Porém, torna-se negativamente correlacionada quando, aparentemente, números crescentes de pontos de crescimento impõem uma demanda muito grande sobre a habilidade de produção de metabólitos da comunidade.

### 2.3 Eficiência de utilização da radiação

Para Thomas & Fukai (1995) a quantidade de biomassa produzida pelas culturas pode ser definida através de uma estrutura fisiológica simples, baseada na quantidade de radiação solar interceptada e na sua eficiência de conversão em matéria seca. Como Kiniry *et al.* (1989) sugeriram, a eficiência da conversão (eficiência de utilização da radiação, RUE) é, freqüentemente, uma constante para a cultura, em um ambiente com boa disponibilidade de água, mas é afetada por outras condições ambientais. Muchow (1989) observou que a diminuição na produção de biomassa de milho, sorgo e setária itálica, causada pela redução de água disponível, foi primeiramente, associada à uma redução na eficiência de utilização da radiação, ao invés de uma redução na interceptação de radiação. Além disso, no caso do milho, a eficiência de utilização da radiação foi afetada mais acentuadamente pela pouca disponibilidade de água do que para sorgo e setária itálica.

Em análise de crescimento a utilização do conceito de rendimento energético, em termos de matéria seca da cobertura vegetal, tem sido generalizada há várias décadas e, particularmente, evidencia a importância da interceptação da radiação solar sobre as variações da produção. Geralmente, as estimativas de produtividades potenciais são expressas em rendimento energético, rendimento ou taxa de acúmulo de matéria seca. A Tabela 1 apresenta algumas dessas relações, com base em resultados da bibliografia (Gosse *et al.*, 1986).

A eficiência com que o dossel foliar da cultura, crescendo a campo, intercepta e usa a radiação solar é, geralmente, fator limitante da fotossíntese e da produção de matéria seca. Williams *et al.* (1965), baseados em fundamentos teóricos e empíricos,

TABELA 1- Coeficientes de regressão linear para a relação entre matéria seca produzida e radiação absorvida ou interceptada, em diferentes culturas. Adaptado de Muchow & Gosse *et al.* (1986).

Espécie	Referência	Resultados expressos em g de MS por	
		MJ PAR	Mol de fótons
Milho	Ustenko & Yagnova, 1967	3,4 - 4,8 <sup>(i)</sup>	
	Williams <i>et al.</i> , 1968	3,2 <sup>(i)</sup>	
	Sivakumar & Virmani, 1984		0,82 <sup>(i)</sup>
Sorgo	Bonhomme <i>et al.</i> , 1982	2,05 - 3,17 <sup>(a)</sup>	
	Sivakumar & Virmani, 1984		0,60 <sup>(a)</sup>
	Howell & Musick, 1984	3,09 <sup>(i)</sup>	

<sup>(i)</sup> Radiação interceptada = radiação incidente - radiação transmitida ao solo

<sup>(a)</sup> Radiação absorvida = radiação incidente - radiação transmitida ao solo - radiação refletida pela cultura.

calcularam a eficiência máxima de 5,3% na conversão da radiação solar (para todo espectro) em energia química ou 15 µg de MS líquida por caloria de radiação solar.

A análise energética da fixação de carbono mostra que a eficiência da transformação da radiação interceptada em matéria seca é praticamente constante ao longo do ciclo de vegetação, apesar de alguns picos de breve duração, no momento de formação de novos órgãos (Varlet-Granher *et al.*, 1982).

A eficiência biológica da conversão de energia solar absorvida em matéria seca vegetal é o rendimento energético, isto é, a relação entre a energia contida na matéria seca vegetal e a energia utilizada pela cobertura para seu desenvolvimento. Esta propriedade permite expressar a eficiência de conversão da radiação em matéria seca, em g MJ<sup>-1</sup> (Ruget, 1991).

A eficiência de transformação proposta por Bonhomme *et al.* (1982) é de 3 g MJ<sup>-1</sup>. De acordo com Kiniry *et al.* (1989), foram encontrados, em termos de quantidade de biomassa seca produzida acima do solo por unidade de PAR<sub>int</sub>, valores médios de 2,2,

2,2 e 2,3 g MJ<sup>-1</sup> PAR<sub>int</sub> para girassol, arroz e trigo, respectivamente. Para sorgo e milho as médias foram 2,8 e 3,5 g MJ<sup>-1</sup> PAR<sub>int</sub>, respectivamente. Também para milho e sorgo, Muchow & Davis (1988) encontraram 3,56 e 2,78, respectivamente, portanto semelhantes aos anteriores.

\*A energia requerida para produzir uma unidade de matéria seca, ou eficiência de utilização da radiação, pode mudar se a composição química dos produtos mudarem (Kiniry *et al.*, 1989). A biossíntese de produtos ricos em proteínas, lipídios ou ligninas requerem, consideravelmente, mais energia por unidade de matéria seca do que para componentes com baixa concentração destes produtos (Penning de Vries *et al.*, 1974). Portanto, a RUE pode mudar durante o período de enchimento dos grãos de uma cultura que produz sementes com grande quantidade de proteína ou óleo.

Em trabalho conduzido por Cirilo & Andrade (1994), em diferentes épocas de semeadura de milho em vários anos, a RUE aumentou durante o período vegetativo, para semeaduras de setembro a novembro. As médias da RUE, através dos anos, foram 3,3 para a semeadura de setembro, 3,6 para outubro e 4,2 g MJ<sup>-1</sup> para novembro. Contrariamente, a RUE diminuiu do período de formação dos estigmas até a maturidade fisiológica, da semeadura de setembro à de dezembro, em todos os anos. Na média dos anos, os valores médios da RUE foram 2,7, 2,7, 2,0 e 1,7 g MJ<sup>-1</sup> para as semeaduras de setembro, outubro, novembro e dezembro, respectivamente.

Cirilo & Andrade (1994) concluíram que as semeaduras tardias resultaram em altas taxas de crescimento durante o período vegetativo da cultura, devido à alta RUE e à maior interceptação de radiação; contudo, essas épocas resultaram em baixas taxas de crescimento da cultura durante o enchimento dos grãos, devido à baixa RUE e à menor radiação incidente. O inverso ocorreu com as semeaduras antecipadas. Nas semeaduras

tardias houve maior acúmulo de matéria seca antes do período de formação do estigma do que a partir do mesmo, até a maturidade fisiológica, enquanto que as semeaduras antecipadas mostraram efeito inverso.

#### 2.4 Efeito do déficit hídrico

O déficit hídrico é o fator que mais tem contribuído para as reduções nas safras de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Neste sentido, a quantificação das relações entre água e rendimento de matéria seca e grãos pode fornecer informações importantes, particularmente para o estabelecimento de modelos de relação planta-clima (Matzenauer, 1994).

A água tem sido apontada por muitos pesquisadores como sendo o fator limitante para a obtenção de máximos rendimentos na cultura do milho, quando as demais práticas de manejo são adotadas adequadamente, como preparo do solo, época de semeadura, adubação e densidade de plantas (Doorembos & Pruit, 1976; Eck, 1984; Eck, 1986; Grant *et al.*, 1989; Resende *et al.*, 1990).

Reduções na disponibilidade da água no solo levando ao estresse hídrico causam, a curto prazo, reduções na condutância estomática e no crescimento de folhas e, a longo prazo, reduções no crescimento do caule das plantas (Gollan *et al.*, 1986; Schulze, 1986).

O déficit hídrico interfere na maioria dos aspectos relacionados ao crescimento e desenvolvimento do milho, retardando o aparecimento das folhas, reduzindo a área foliar, o tamanho das plantas, ocasionando atraso no enchimento dos grãos e reduzindo a produtividade. A diminuição da área foliar determina redução da quantidade de energia interceptada, da eficiência de conversão desta energia e diminuição da fotossíntese de

folhas, além de modificar o balanço de energia do sistema (Durand *et al.*, 1989; Bergamaschi, 1992; Nesmith & Ritchie, 1992).

Avaliando o efeito da irrigação sobre o rendimento de grãos de milho, na Depressão Central do Rio Grande do Sul, o período em que a irrigação apresentou maior efeito sobre o rendimento de grãos foi o período reprodutivo. Dentro deste período, o subperíodo pendoamento-espigamento foi o que apresentou maior sensibilidade ao déficit, seguido do início do enchimento de grãos (Matzenauer *et al.*, 1986).

A intensidade do estresse hídrico está diretamente associada à sua duração e ao subperíodo da cultura em que este ocorre. Vários estudos demonstram, com pequenas variações, que o período compreendido entre a floração e o enchimento de grãos é o que maior influência exerce sobre o rendimento de grãos. O estresse hídrico durante a fase de florescimento aumenta o período entre a antese e a projeção dos estigmas, determinando insuficiente polinização e redução do número de grãos por espiga, como também o aumento do número de plantas estéreis (Mundstock & Carvalho, 1970; Uitdewilligen, 1971; Dow *et al.*, 1984; Matzenauer & Fontana, 1987; Grant *et al.*, 1989; Aguinisky, 1991; Medeiros *et al.*, 1991; Hashemi & Herbert, 1992). Para o milho o intervalo em que o número de grãos foi mais sensível ao estresse hídrico iniciou dois a sete dias após o espigamento e terminou dezesseis a vinte e dois dias após o espigamento (Grant *et al.*, 1989).

### 3.1.3 Solo

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento Arroio dos Ratos, um plossol, de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos. Segundo Vieira et al. (1966), os solos desta unidade de mapeamento se caracterizam

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

sendo solos, imperfeitamente drenados, com relevo suavemente ondulado e de baixa produtividade. Cunha (1991) determinou que, nos primeiros 15 cm de profundidade, a

### 3.1 Caracterização do experimento

#### 3.1.1 Local

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul (RS), região climática da Depressão Central, com coordenadas de 30°05'22'' S e 51°39'08'' W e com altitude aproximada de 40 metros.

No Apêndice I, encontra-se o laudo da análise do solo, segundo a Rede Oficial de Análises de Solos (Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC, 1994), realizado pelo Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, a partir de amostras homogêneas coletadas na unidade experimental no dia 22 de

#### 3.1.2 Clima

O clima da região é subtropical úmido de verão quente do tipo fundamental Cfa, conforme a classificação climática de Köppen, o qual predomina na maior parte do

estado do Rio Grande do Sul e região sul do Brasil (Moreno, 1961). Na EEA/UFRGS a

precipitação média anual é de 1400 mm, com média mensal de 120 mm. Dezembro é o

mês com maior fluxo de radiação global diária, com média de  $26,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Janeiro e

fevereiro são os meses mais quentes, com temperaturas médias de  $25^{\circ}\text{C}$ , enquanto que

os meses mais frios são junho e julho com médias de  $14^{\circ}\text{C}$  (Bergamaschi & Guadagnin,

1990).

O sistema de aspersão em linhas foi disposto no centro da unidade experimental,

constituído por 12 aspersores, colocados na direção leste-oeste com 3 m de altura e com

### 3.1.3 Solo

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento Arroio dos Ratos, um plintosolo, de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos. Segundo Mello *et al.* (1966), os solos desta unidade de mapeamento se caracterizam como sendo rasos, imperfeitamente drenados, com relevo suavemente ondulado e de textura arenosa. Cunha (1991) determinou que, nos primeiros 15 cm de profundidade, a capacidade de retenção de água varia de 22% em base volumétrica (solo úmido, com potencial matricial de -0,01 MPa) a 11% (solo seco, com potencial matricial de -1,5 MPa).

No Apêndice 1, encontra-se o laudo da análise do solo, segundo a Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos (Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC, 1994), efetuado pelo Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, a partir de amostras homogêneas coletadas na unidade experimental no dia 22 de setembro de 1995.

### 3.1.4 Delineamento experimental

Considerando que o sistema de aspersão em linhas utilizado não permite casualização para o fator água (Hanks *et al.*, 1980), o delineamento experimental foi em faixas com cinco repetições. Os tratamentos compreenderam diferentes lâminas d'água, obtidas em função de gradientes de aspersão em direção transversal às linhas de plantas. Cada bloco foi constituído por cinco parcelas com dimensões de 3 m de largura e 16 m de comprimento, compostas por quatro fileiras de milho (Figura 2 e 3).

O sistema de aspersão em linhas foi disposto no centro da unidade experimental, constituído por 12 aspersores, colocados na direção leste-oeste com 3 m de altura e com



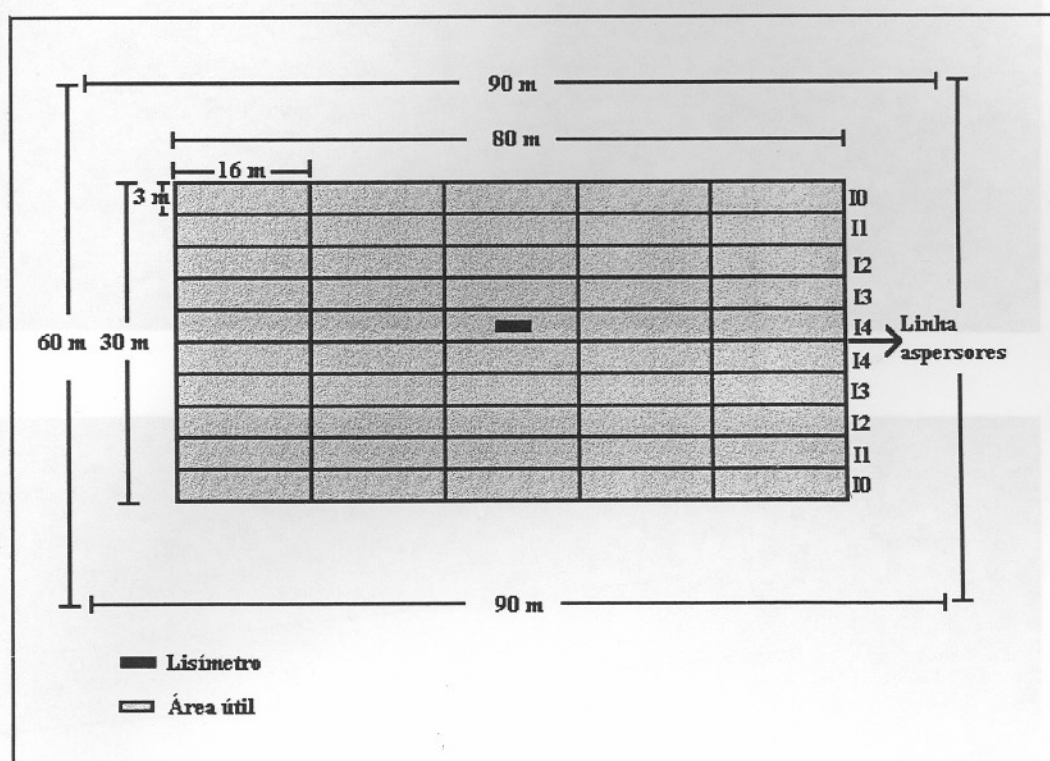
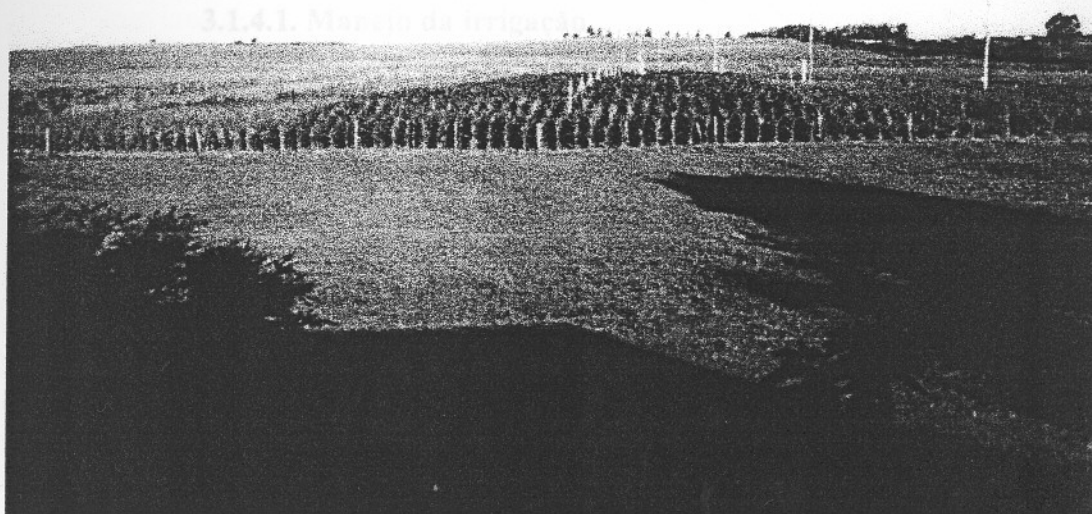


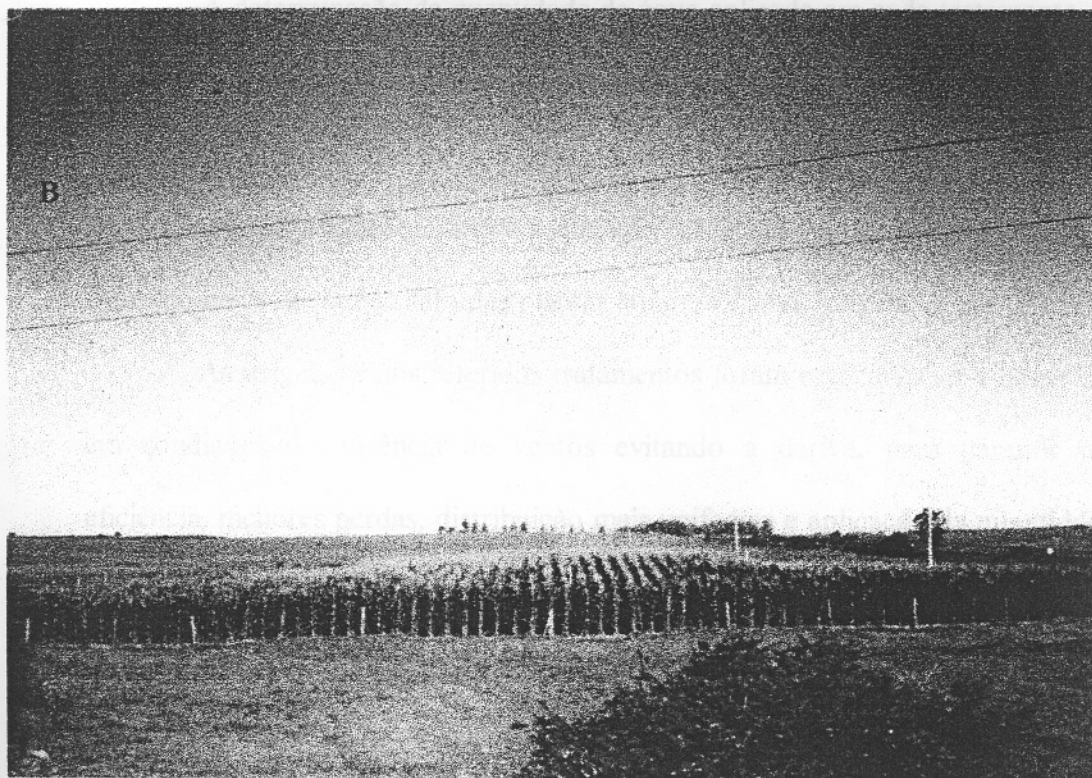
FIGURA 2 - Esquema do delineamento experimental com a distribuição dos tratamentos em função dos diferentes níveis de irrigação. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

FIGURA 3 - Vista geral do experimento e distribuição dos tratamentos em função dos diferentes níveis de irrigação, durante a estagem - período vegetativo (A) e após a estagem - período reprodutivo (B). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

A



B



O preparo do solo teve início no dia 8 de outubro de 1995, com a adubação de base realizada em 15 de novembro de 1995. O espaçamento entre as linhas foi de 1,20 m e o espaçamento de 6 m entre os mesmos, seguindo a metodologia do sistema de aspersão em linha ("line-source sprinkler system") proposto por Hanks *et al.* (1976).

FIGURA 3 - Vista geral do experimento e distribuição dos tratamentos em função dos diferentes níveis de irrigação, durante a estiagem - período vegetativo (A) e após a estiagem - período reprodutivo (B). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

espaçamento de 6 m entre os mesmos, seguindo a metodologia do sistema de aspersão em linha (“line-source sprinkler system”) proposto por Hanks *et al.* (1976).

#### 3.1.4.1. Manejo da irrigação

Diferentes níveis de distribuição da água, a partir da linha central de aspersores resultaram em cinco tratamentos, aqui denominados I<sub>4</sub>, I<sub>3</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>1</sub> e I<sub>0</sub>. No tratamento I<sub>4</sub> o solo foi mantido próximo à capacidade de campo, com a quantidade de água aplicada medida através de lisímetro de pesagem. As doses de água aplicadas nos demais tratamentos (I<sub>3</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>1</sub> e I<sub>0</sub>) corresponderam, respectivamente, a 98, 80, 26 e 0% da dose aplicada no tratamento I<sub>4</sub>, sendo que, destes cinco níveis de irrigação foram considerados apenas os extremos (I<sub>4</sub> e I<sub>0</sub>) para este trabalho.

A determinação da quantidade de água aplicada em cada tratamento, foi aferida através de um conjunto de potes coletores com 162.86 cm<sup>2</sup> de superfície, colocados nas duas entre-linhas centrais de cada parcela. A fim de quantificar a água aplicada marcou-se o tempo de irrigação, sendo a aferição realizada logo após a colheita do milho, evitando erros devido ao fato das plantas atuarem como anteparo.

As irrigações nos referidos tratamentos foram realizadas às 6 horas da manhã e em condições de ausência de ventos evitando a deriva, para garantir uma maior eficiência, menores perdas, distribuição mais uniforme e aplicação da quantidade de água correta.

### 3.2 Manejo da área experimental

O preparo do solo teve início no dia 6 de outubro de 1995, com a adubação de base realizada a partir da interpretação da análise de solo, aplicando-se, a lanço, 150 kg

$\text{ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de N. No dia 9 de outubro passou-se um rolo faca na cobertura de aveia e ervilhaca e o solo foi arado, sendo, em seguida, realizada a primeira gradagem. No dia 20 de outubro realizou-se a segunda gradagem, com uma grade leve para nivelar o terreno.

O milho foi semeado manualmente em 25 de outubro de 1995, utilizando o híbrido Pioneer 3230 (híbrido triplo, de ciclo precoce), com linhas orientadas em leste-oeste, colocando-se duas sementes a cada 0,20 m, na profundidade de 0,05 m, em linhas espaçadas de 0,75 m. A emergência das plantas ocorreu no dia 1º de novembro e, aos 21 dias após a emergência (DAE), realizou-se o desbaste do milho, fazendo-se ajuste da população para 67.000 plantas por hectare.

O controle das plantas daninhas, principalmente papuã (*Brachiaria plantaginea*) e tiririca (*Cyperus rotundus*), foi realizada aos 21 DAE com a aplicação localizada de herbicida à base de paraquat (1,5 l  $\text{ha}^{-1}$ ) + coadjuvante, procedendo-se a repetições. Com base nas equações de 6 a 10, propostas por Beadle (1993), calculou-se mistura de 350 ml do produto comercial + 30 ml de coadjuvante para 20 l de água.

Como adubação de cobertura realizou-se duas aplicações de nitrogênio na forma de uréia, no estágio 1 de desenvolvimento segundo Hanway (1963), sendo a primeira aos 21 DAE na dose de 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de N e a segunda aos 28 DAE, na dose de 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de N.

### 3.3 Determinações

#### 3.3.1 Fenologia

Os estádios fenológicos da cultura do milho foram caracterizados de acordo com a escala proposta por Hanway (1963), conforme a Tabela 2.

TABELA 2 - Estádios de desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.), segundo Hanway (1963).

Estádio	Características verificadas na cultura
0	Da semeadura à emergência das plantas no solo
1	Quatro folhas completamente expandidas
2	Oito folhas completamente expandidas
3	Doze folhas completamente expandidas
4	Dezesseis folhas completamente expandidas, emissão do pendão
5	Presença dos estigmas em 75% das plantas, liberando pólen
6	Doze dias após polinização; os grãos apresentam aspecto leitoso
7	Vinte e quatro dias após polinização; os grãos apresentam aspecto pastoso
8	Trinta e seis dias após polinização; formação de dente nos grãos
9	Quarenta e oito dias após polinização; os grãos estão completamente dentados
10	Sessenta dias após polinização; os grãos estão em maturação fisiológica

### 3.3.2 Análise de crescimento

Em intervalos de 7 dias, a partir da emergência, foram realizadas amostragens para avaliação de matéria seca (MS) e índice de área foliar (IAF). A coleta do material foi realizada nos tratamentos I<sub>4</sub> e I<sub>0</sub>, na área ao norte da linha de aspersores, nas cinco repetições. Com base nas equações de 6 a 10, propostas por Beadle (1993), calculou-se os parâmetros da análise de crescimento.

#### 3.3.2.1 Índice de área foliar e duração da área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi determinado através da medição da área foliar verde, feita em planímetro ótico, modelo LI 3000 (Licor, Lincon, EUA), de uma planta por repetição, totalizando cinco plantas por tratamento.

O IAF de cada amostra foi determinado através da seguinte fórmula:

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (6)$$

sendo IAF o índice de área foliar, AF a área foliar verde da amostra (m<sup>2</sup>) e S a área do terreno ocupada pela amostra (m<sup>2</sup>).

A partir do IAF obtido, calculou-se a duração da área foliar (DAF) pela seguinte equação:

$$DAF = \frac{(IAF_1 + IAF_2)(T_2 - T_1)}{2} \quad (7)$$

sendo DAF a duração da área foliar (dias), IAF<sub>1</sub> o IAF no tempo T<sub>1</sub>, IAF<sub>2</sub> o IAF no tempo T<sub>2</sub> e T<sub>2</sub> - T<sub>1</sub> o intervalo de tempo (dias).

### 3.3.2.2 Matéria seca aérea total

Para determinação da massa de matéria seca aérea total (MS) foram coletadas quatro plantas por repetição. O material foi colocado em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de aproximadamente 70°C até atingir peso constante. O efeito dos tratamentos sobre a produção de MS foi testado através de análise de variância (Microsofl Excel, versão 5.0).

### 3.3.2.3 Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória líquida

A taxa de crescimento da cultura (TCC) foi determinada através dos valores de matéria seca aérea estimados a partir de regressão em função de dias após a emergência (DAE), na forma de:

$$TCC = \frac{dW}{dT} \quad (8)$$

em que TCC é a taxa de crescimento da cultura (kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), W é a massa da matéria seca aérea (kg ha<sup>-1</sup>) e T é o tempo (dias).

A taxa assimilatória líquida (TAL) foi determinada a partir de valores instantâneos de TCC estimados pela equação 8 e do IAF observado, pela expressão:

$$TAL = \frac{TCC}{IAF} \quad (9)$$

em que TAL é a taxa assimilatória líquida ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), TCC é a taxa de crescimento da cultura ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) e IAF é o índice de área foliar.

### 3.3.2.4 Rendimento de grãos

Para determinação do rendimento foram colhidas as espigas em uma área útil de  $15 \text{ m}^2$  em cada repetição, correspondendo às duas linhas centrais de cada parcela.

As espigas foram debulhadas manualmente, sendo os grãos pesados para determinação do peso total de cada parcela. Para determinar a umidade, separou-se uma amostra de  $1 \text{ kg}$  de grãos de cada parcela, que foi colocada em estufa de circulação de ar forçada, à temperatura de aproximadamente  $70^\circ\text{C}$  até atingir peso constante. Assim, o rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi corrigido para 14% de umidade. O efeito dos tratamentos sobre o rendimento de grãos foi testado através de análise de variância (Microsoft Excel, versão 5.0).

### 3.3.2.5 Índice de colheita

O índice de colheita (IC) foi determinado através da seguinte razão:

$$IC = \frac{\text{Rendimento de grãos}}{\text{Rendimento de MS}} \quad (10)$$

sendo o rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) obtido na colheita e o rendimento de matéria seca aérea total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) determinado na maturação fisiológica.

### 3.3.3 Evapotranspiração

#### 3.3.3.1 Evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>)

A evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) foi em lisímetro de pesagem, com dimensões de 3,4 m de comprimento, 1,5 m de largura e 0,9 m de profundidade, localizado no centro da área experimental, com eixo maior na direção leste-oeste.

A ET<sub>m</sub> diária foi calculada a partir de medições realizadas às 9 h, considerando a variação de massa do lisímetro, a precipitação pluvial ocorrida e/ou a retirada do excesso de água de drenagem no período das 24 horas precedentes, através do princípio da conservação da massa.

Assim, a ET<sub>m</sub> (mm dia<sup>-1</sup>) foi calculada a partir da seguinte equação:

$$ET_{m_i} = \frac{(M_i + 5,1P_i - D_i) - M_{(i+1)}}{5,1} \quad (11)$$

onde, ET<sub>m<sub>i</sub></sub> é a evapotranspiração máxima do milho (mm dia<sup>-1</sup>) em um dia *i* qualquer, M<sub>*i*</sub> é a massa do lisímetro (kg) no dia *i*, P<sub>*i*</sub> é a precipitação (mm) no dia, D<sub>*i*</sub> é drenagem no dia *i*, M<sub>(*i*+1)</sub> é a massa do lisímetro (kg) no dia seguinte do dia *i*, e 5,1 é o fator correspondente à superfície do lisímetro de 5,1 m<sup>2</sup>.

#### 3.3.3.2 Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi calculada segundo Penman (1948) através da seguinte equação:

$$ET_o = \frac{(s/\gamma) * (R_n/59) + E_a}{(s/\gamma) + 1} \quad (12)$$



sendo  $s$  o coeficiente angular da curva que relaciona a pressão de saturação e a temperatura média do ar ( $\text{mm Hg } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $R_n$  o saldo de radiação ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $E_a$  o termo aerodinâmico, expresso por:

$$E_a = 0,35 * (e_s - e) * (0,5 + 0,01 * U_2) \quad (13)$$

onde  $e_s$  a pressão de saturação do vapor ( $\text{mm Hg}$ ), e a pressão real de vapor ( $\text{mm Hg}$ ),  $U_2$  a velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{milhas dia}^{-1}$ ). O déficit de saturação ( $e_s - e$ ) foi calculado em função da umidade relativa do ar (%) e da temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ ).

O quociente  $s/\gamma$  é função da temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ) e foi determinado através da seguinte equação:

$$s/\gamma = \frac{33,8639 * (0,05904 (0,00738 T + 0,8072))^7 - 0,0000342}{0,6626} \quad (14)$$

sendo  $T$  a temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ ).

Para a estimativa de  $R_n$  utilizou-se a equação determinada por Bergamaschi e Guadagnin (1990):

$$R_n = -18,81 + 0,69 * R_s \quad (15)$$

sendo  $R_s$  a radiação solar global ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

### 3.3.4 Elementos meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos através de uma estação automatizada, modelo W2000 (Campbell Scientific, Logan, EUA), localizada junto à área experimental, equipada com sensores de temperatura e umidade do ar (modelo HMP 35 AC, Vaisala, FIN), radiação solar global (modelo LI 200 SZ, Licor Inc, EUA), direção do vento (modelo W 200 P, Vector Instruments, UK), velocidade do vento (modelo A 100 R, Campbell Scientific, Logan, EUA), e as médias registradas em intervalos de 15

Vector Instruments, UK) e precipitação pluvial (modelo ARG 100, Environmental Reasvremments Ltd, UK).

#### 3.3.4.1 Razão PAR/Rs

Os dados de radiação solar global (Rs) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foram obtidos na estação automatizada. A fração da Rs correspondente à PAR acima do dossel, foi calculada dividindo-se os valores obtidos de PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) por valores de Rs ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), provenientes de medições simultâneas.

As medições foram realizadas durante o período de 18/12/95 a 19/01/96, considerando as leituras registradas em intervalos de 15 minutos, das 7 às 18 h. Posteriormente determinou-se a razão PAR/Rs em função da hora do dia e para o período experimental, considerando dias nublados e ensolarados.

#### 3.3.4.2 Radiação fotossinteticamente ativa

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR), correspondente à faixa de 400-700 nm, para o cálculo da PAR incidente ( $\text{PAR}_{\text{inc}}$ ) no topo da cultura, foi estimada a partir da radiação solar global (Rs) medida na estação automatizada, considerando a razão PAR/Rs determinada para o período.

Dentro da cultura a PAR foi medida através de conjuntos de células de silício amorfo, sendo cada conjunto de células composto por sete sensores ligados em paralelo e espaçados de 15 cm, montados sobre barras de alumínio, de acordo com metodologia de Pandolfo *et al.* (1993) e calibrados com um sensor de referência (LICOR, Inc.). Os sensores foram conectados a um sistema automatizado de registro, modelo CR 10 (Campbell Scientific, Longan, EUA), e as médias registradas em intervalos de 15

minutos. Os totais diários foram obtidos pela integração dos registros, considerando o período das 7 às 18 h.

A instalação dos sensores para medição de PAR transmitida ( $PAR_t$ ) ocorreu aos 30 DAE, sendo constituído de quatro conjuntos, dispostos ao nível de solo, no intervalo entre as duas linhas centrais das parcelas, nos tratamentos  $I_4$  e  $I_0$ .

### 3.3.4.3 Acúmulo de graus-dia

Calculou-se o acúmulo de graus-dia (GD) segundo Berlatto *et al.* (1984), através da seguinte fórmula:

$$GD = T_{\text{méd}} - T_b \quad (16)$$

onde  $T_{\text{méd}}$  é a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), obtida a partir de 24 temperaturas horárias, e  $T_b$  é a temperatura mínima basal do milho.

A temperatura mínima basal utilizada neste cálculo foi de  $8^{\circ}\text{C}$ , de acordo com Berlatto & Sutili (1976), Jones & Kiniry (1986), Hesketh & Warrington (1989) e Kiniry (1991). No cálculo do acúmulo de graus-dia os valores de temperatura do ar nunca foram inferiores à temperatura mínima basal, não necessitando ser corrigidos como sugerido por Ometto (1981).

## 3.4 Modelos para estimar o IAF e o rendimento de matéria seca

Através de análise de regressão, pelo método dos mínimos quadrados, foram ajustados modelos para estimativa do índice de área foliar em função do acúmulo de graus-dia ( $IAF_{GD}$ ), relativo ao período de crescimento. Do mesmo modo, ajustou-se modelos para estimar a massa de matéria seca aérea produzida em função do acúmulo de graus-dia ( $MS_{GD}$ ) e em função do somatório de PAR interceptada ( $MS_{PAR}$ ).

O ajuste do modelo relacionando a produção de matéria seca com o total de radiação interceptada e o acúmulo de graus-dia, no período de crescimento da cultura, foi baseado no método proposto por Gosse et al. (1984), onde:

$$MS = \alpha * PAR_{int} \quad (17)$$

sendo MS é a produção de matéria seca aérea ( $kg\ ha^{-1}$ ) e  $PAR_{int}$  a radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ), e  $\alpha$  é determinado pela regressão de MS em função de  $PAR_{int}$  representando a eficiência de uso da radiação (RUE). Por sua vez a variável  $PAR_{int}$  é dada por:

$$PAR_{int} = PAR_{inc} * \epsilon_i \quad (18)$$

onde  $PAR_{inc}$  é a radiação fotossinteticamente ativa incidente e  $\epsilon_i$  é a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa.

A eficiência de interceptação ( $\epsilon_i$ ) de PAR medida foi calculada através das equações 4 e 5 sugeridas por Varlet-Grancher *et al.* (1989), considerando os diferentes componentes do balanço de radiação, para o período de 30 de novembro de 1995 a 19 de janeiro de 1996, no horário das 7 às 18h, a partir do coeficiente de transmissão de PAR (CT), considerando PAR transmitida ( $PAR_t$ ) a radiação que passa através da cultura e atinge níveis inferiores do dossel ou o nível do solo e PAR incidente ( $PAR_{inc}$ ) a quantidade de radiação que chega no topo da cultura.

Considerando a PAR igual a 42% da radiação solar global ( $R_s$ ), então:

$$PAR_{inc} = 0,42 * R_s \quad (19)$$

Em função dos dois parâmetros meteorológicos, radiação solar global ( $R_s$ ) e acúmulo de graus-dia (GD), a produção de matéria seca aérea pode ser determinada através da seguinte equação:

$$MS = \alpha * (0,42 * R_s) * \epsilon_{i2} \quad (20)$$

onde  $\alpha$  foi determinado na equação 17, e  $\varepsilon_{i2}$  é a eficiência de intercepção de PAR estimada determinada pela seguinte fórmula:

$$\varepsilon_{i2} = \beta * (1 - \exp(-k * IAF_{GD})) \quad (21)$$

onde  $\beta$  é a máxima eficiência de intercepção determinada pela equação 5,  $IAF_{GD}$  foi calculado pela regressão entre o acúmulo de graus-dia (GD) e o IAF observado, e  $k$  é o coeficiente de extinção determinado pelo método de Campbell (1986), calculado com a seguinte equação:

$$k = [(X + \tan X.z)^{1/2} / (X+1.774(X+1.182)^{0,733})] \quad (22)$$

onde, para o cálculo do coeficiente  $X$  foi utilizado um programa de computador elaborado por Campbell e Norman (1989).

Sendo assim, a equação 20 pode ser expressa da seguinte forma:

$$MS = \alpha * \{ 0,42 * R_s * \beta * [1 - \exp(-k * IAF_{GD})] \}$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização das condições meteorológicas do período experimental

As condições meteorológicas ocorridas durante o período experimental, incluindo temperatura média do ar, radiação solar global ( $R_s$ ), precipitação pluvial ( $P$ ), evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e evapotranspiração máxima do milho ( $ET_m$ ), em intervalos de cinco dias, são apresentados na Figura 4.

Observa-se que a temperatura média do ar variou entre 20 e 27°C, durante o período experimental, não ocorrendo portanto, limitação térmica para o desenvolvimento do milho. Com relação à radiação solar global, esta se manteve acima de 21 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> na maior parte do período experimental, exceto no período entre 75 e 100 dias após a emergência (DAE), nos estádios fenológicos 6 e 8 (que correspondem a grão leitoso e formação do dente), quando ocorreu uma redução da mesma, devido à ocorrência de um período de alta nebulosidade e precipitação pluvial (Figura 4A).

Comparando os tratamentos  $I_0$  (sem irrigação) e  $I_4$  (com irrigação), nota-se que a precipitação pluvial ocorrida foi insuficiente para proporcionar um adequado desenvolvimento do milho, como será abordado posteriormente, necessitando de suplementação hídrica ao longo do período experimental, através de irrigações realizadas no tratamento  $I_4$  a partir dos 24 DAE (Figura 4B e Apêndices 2 e 3). O período de maior deficiência hídrica, para o tratamento  $I_0$  ocorreu entre 20 e 50 DAE, nos estádios fenológicos 1 e 2, que correspondem a 4 e 8 folhas expandidas.

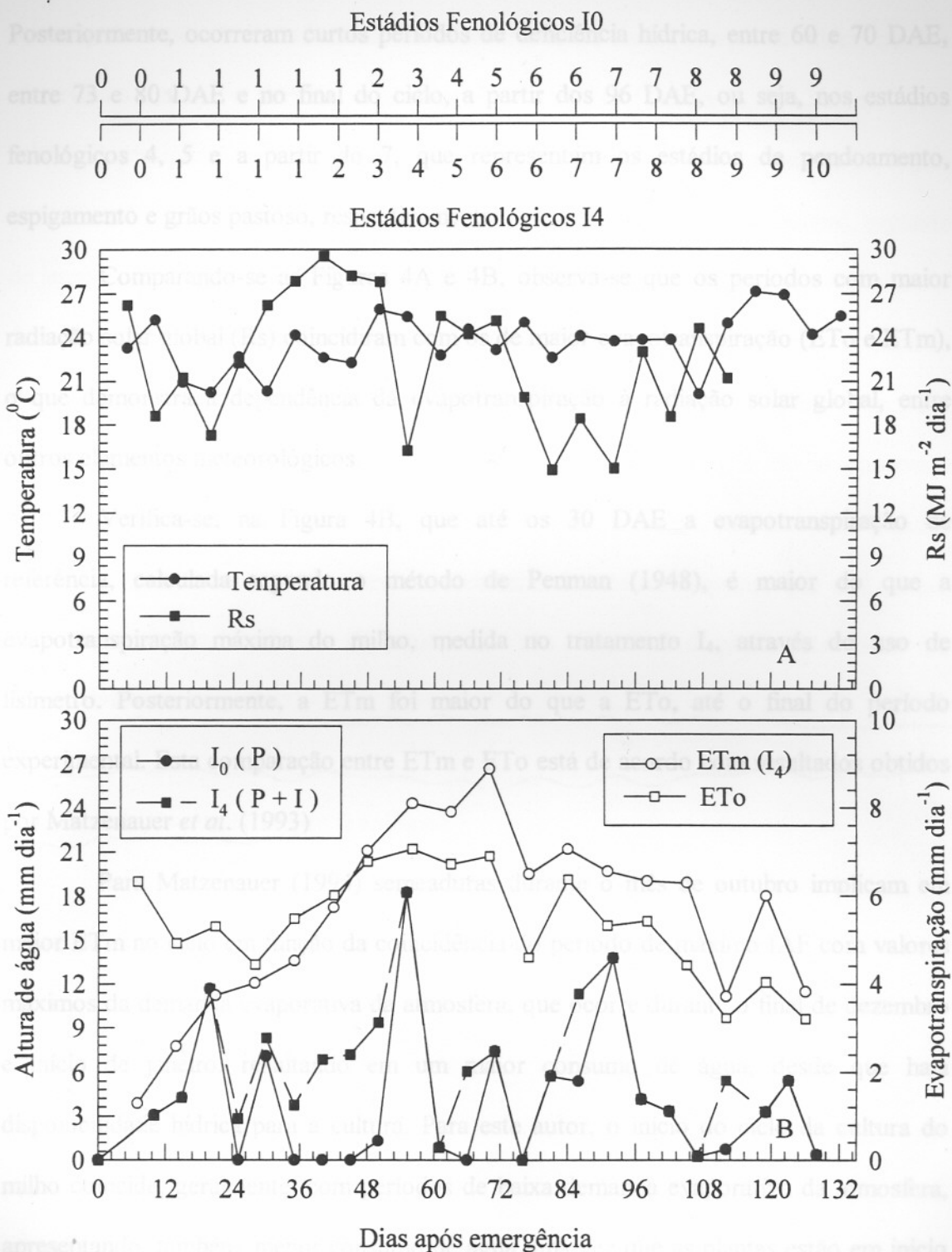


FIGURA 4 - Temperatura média do ar e radiação solar global - Rs (A); precipitações pluviiais (P) e irrigações (I), evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) segundo Penman e evapotranspiração máxima do milho (ET<sub>m</sub>), em intervalos de cinco dias (B), em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Posteriormente, ocorreram curtos períodos de deficiência hídrica, entre 60 e 70 DAE, entre 73 e 80 DAE e no final do ciclo, a partir dos 96 DAE, ou seja, nos estádios fenológicos 4, 5 e a partir do 7, que representam os estádios de pendoamento, espigamento e grãos pastoso, respectivamente.

Comparando-se as Figuras 4A e 4B, observa-se que os períodos com maior radiação solar global (Rs) coincidiram com os de maior evapotranspiração (ETo e ETm), o que demonstra a dependência da evapotranspiração à radiação solar global, entre outros elementos meteorológicos.

Verifica-se, na Figura 4B, que até os 30 DAE a evapotranspiração de referência, calculada segundo o método de Penman (1948), é maior do que a evapotranspiração máxima do milho, medida no tratamento I<sub>4</sub>, através do uso de lisímetro. Posteriormente, a ETm foi maior do que a ETo, até o final do período experimental. Esta comparação entre ETm e ETo está de acordo com resultados obtidos por Matzenauer *et al.* (1993)

Para Matzenauer (1994) sementeiras durante o mês de outubro implicam em maior ETm no ciclo em função da coincidência do período de máximo IAF com valores máximos da demanda evaporativa da atmosfera, que ocorre durante o final de dezembro e início de janeiro, resultando em um maior consumo de água, desde que haja disponibilidade hídrica para a cultura. Para este autor, o início do ciclo da cultura do milho coincide, geralmente, com períodos de baixa demanda evaporativa da atmosfera, apresentando, também, menor consumo de água uma vez que as plantas estão em início de desenvolvimento e, portanto, com baixo IAF.

Considerando-se os valores climáticos médios do período de 1970 a 1989 (Bergamaschi e Guadagnin, 1990) para o local, verifica-se que a temperatura média do ar



e a evapotranspiração de referência foram relativamente similares aqueles valores médios observados durante o período experimental de 1995/96 (Tabela 3). No entanto, com relação à precipitação pluvial, nota-se que esta foi inferior à média climática da região em vários decêndios (primeiro de novembro, primeiro e segundo de dezembro, segundo de janeiro, primeiro e segundo de fevereiro, e primeiro de março) e superior à média nos demais decêndios, enquanto que, quando se considera a média para todo o período experimental, os valores são semelhantes, caracterizando assim uma distribuição irregular da precipitação pluvial. Já com relação à radiação solar global, a média observada durante o período experimental é superior à média da região, apresentando valores inferiores somente no segundo e terceiro decêndio de janeiro, enquanto que nos demais os valores foram similares, demonstrando não haver limitação deste fator ao desenvolvimento do milho.

#### 4.2 Desenvolvimento fenológico

A Tabela 4 apresenta a ocorrência de cada estágio fenológico da cultura de milho, conforme a escala proposta por Hanway (1963), para os tratamentos  $I_0$  e  $I_4$ , em função da data de amostragem, do número de dias após a emergência (DAE), do acúmulo de graus-dia (GD) e do somatório da radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $\sum PAR_{inc}$ ) a partir da emergência. De acordo com os resultados, o estágio 10, que corresponde à maturação fisiológica, foi atingida aos 126 DAE no tratamento  $I_4$  e aos 133 DAE no tratamento  $I_0$ . A diferenciação dos estágios fenológicos entre os tratamentos começou aos 42 DAE, devido à ocorrência de deficiência hídrica no tratamento  $I_0$  a partir dos 28 DAE. Já o total de graus-dia acumulados para o milho completar o seu ciclo foi de  $1.976^\circ\text{C}$  no tratamento  $I_4$  e  $2.098^\circ\text{C}$  no tratamento  $I_0$ .

TABELA 3 - Temperatura média do ar, precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e radiação solar global (R<sub>s</sub>) observada no período experimental (1995/96) e médias climatológicas do período de 1970 a 1989. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Mês	Decêndio	Temperatura (°C)		Precipitação (mm)		ET <sub>o</sub> (mm) <sup>(1)</sup>		R <sub>s</sub> (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	
		(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)
Novembro	1	20,5	24,23	45,0	15,2	43,0	56,4	19,03	22,43
	2	21,2	20,61	27,3	79,5	47,0	48,7	20,79	19,28
	3	21,3	21,48	35,6	35,4	48,0	57,7	20,41	24,21
Dezembro	1	22,4	23,37	33,9	0,0	49,0	69,0	20,62	28,70
	2	23,4	24,07	38,3	6,6	51,0	68,0	21,46	28,01
	3	24,3	23,96	23,5	96,4	62,0	61,2	21,08	21,28
Janeiro	1	24,3	23,82	37,4	37,0	51,0	52,3	20,96	24,65
	2	25,1	23,78	42,5	28,6	52,0	43,5	20,79	17,39
	3	24,9	23,86	34,9	109,4	57,0	52,6	20,45	16,56
Fevereiro	1	24,7	23,81	44,7	37,2	47,0	44,9	19,16	20,76
	2	25,0	22,51	36,0	4,8	44,0	43,7	18,11	22,89
	3	24,8	27,00	26,9	41,2	31,0	33,4	18,49	-
Março	1	24,7	24,81	40,0	19,8	42,0	35,3	17,44	-

<sup>(1)</sup> Evapotranspiração calculada segundo Penman (1948).

<sup>(2)</sup> Média climatológica do período 1970 a 1989 (Fonte: Bergamaschi e Guadagnin, 1990).

<sup>(3)</sup> Média observada durante o período experimental (1995/96).

TABELA 4 - Estádios fenológicos do milho para os tratamentos com irrigação (I<sub>4</sub>) e sem irrigação (I<sub>0</sub>), data de amostragem, dias após emergência (DAE), acúmulo de graus-dia (GD) e acúmulo de PAR incidente ( $\Sigma$ PAR<sub>inc</sub>) durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Estádio fenológico <sup>(1)</sup>		Data de amostragem	DAE	GD (°C)	$\Sigma$ PAR <sub>inc</sub> (MJ m <sup>2</sup> )
Tratamentos					
I <sub>0</sub>	I <sub>4</sub>				
0	0	08/11/95	7	132,39	82,42
1	1	15/11/95	14	227,02	138,83
1	1	22/11/95	21	317,61	193,08
1	1	29/11/95	28	408,21	264,50
1	1	06/12/95	35	520,24	348,43
1	2	12/12/95	42	606,38	418,92
2	3	20/12/95	48	737,50	515,03
3	4	27/12/95	56	853,29	567,23
4	5	03/01/96	63	963,79	651,03
5	6	10/01/96	70	1071,24	716,88
6	6	17/01/96	77	1187,10	770,58
6	7	24/01/96	84	1295,80	827,28
7	7	31/01/96	91	1403,53	866,45
7	8	07/02/96	98	1514,39	937,56
8	8	14/02/96	105	1607,49	1000,33
8	9	21/02/96	112	1723,84	1059,61
9	9	28/02/96	119	1860,64	-
9	10	06/03/96	126	1975,94	-
10	10	13/03/96	133	2097,79	-

<sup>(1)</sup> Fenologia fundamentada na escala proposta por Hanway (1963).

Leal (1993), trabalhando com a cultivar BR 201, com três densidades de semeadura, em Sete Lagoas (MG), obteve resultados semelhantes ao deste experimento com uma variação de 129, 134 e 141 dias para o milho atingir o estágio 10 de desenvolvimento, em tratamentos com 40.000, 60.000 e 80.000 plantas por hectare, respectivamente. A variação em graus-dia acumulados, considerando 10°C como temperatura base (portanto, 2°C acima do valor usado neste trabalho), foi de 1.745, 1.809 e 1.895°C para os tratamentos com 40.000, 60.000 e 80.000 plantas por hectare, respectivamente, para o ciclo completo.

### 4.3 Análise de crescimento

#### 4.3.1 Área foliar

A variação do índice de área foliar (IAF) durante o ciclo da cultura é apresentada na Figura 5A e no Apêndice 4, onde se observa um desenvolvimento diferenciado em função da disponibilidade hídrica, para os tratamentos I<sub>0</sub> e I<sub>4</sub>. Verifica-se que, até 28 DAE os tratamentos apresentavam IAF similares, quando começou a ocorrer deficiência hídrica no tratamento I<sub>0</sub>, conforme Apêndice 3, ocasionando uma separação nas suas curvas de desenvolvimento dos tratamentos.

Outro aspecto a ser considerado é que o IAF máximo foi de 5,8 no tratamento I<sub>4</sub>, aos 56 DAE, coincidindo com o estágio fenológico 4, o qual corresponde ao pendoamento. Para o tratamento I<sub>0</sub> o IAF máximo foi de 3,6 aos 77 DAE, coincidindo com o estágio fenológico 6, que corresponde ao enchimento de grãos. Assim, os resultados obtidos mostram que o déficit hídrico ocorrido durante o crescimento vegetativo causou não somente a diminuição do IAF, mas também um atraso na ocorrência do pico máximo. Acevedo et al. (1971) mostraram que o crescimento do

milho diminuiu sensivelmente com potenciais da água na folha menores do que  $-0,28$  MPa, cessando quando o mesmo atingia valores de  $-0,7$  MPa. Para Cosgrove (1986) a expansão celular depende da extensibilidade da parede celular e do potencial de pressão. Segundo este autor há um mínimo de turgidez abaixo do qual a expansão não ocorre.

Resultados obtidos por Bergonci (1997), também em Eldorado do Sul, na mesma área experimental, utilizando o mesmo híbrido e mesmo delineamento experimental, obteve IAF máximo de 5,8 aos 62 DAE no tratamento  $I_0$  e de 6,0 aos 76 DAE no tratamento  $I_4$ , na safra 1993/94. Enquanto isso, na safra 1994/95, o IAF máximo foi de 4,1 e 4,7 aos 56 DAE, para os tratamentos  $I_0$  e  $I_4$ , respectivamente. Essas diferenças no IAF se devem ao fato de ter ocorrido um período de estiagem entre 60 e 80 DAE na safra 1993/94, que abrangeu o pendoamento e o espigamento, enquanto que, na safra 1994/95, houve uma distribuição da precipitação mais uniforme, não caracterizando déficit hídrico prolongado ao longo do ciclo do milho.

\*Após o IAF máximo, o mesmo começou a diminuir, devido ao processo natural de senescência das folhas, sendo esta tendência também observada por Bergonci (1997) e por Crasta & Cox (1996), em diferentes híbridos de milho. No momento em que as folhas senescem ocorre redução no IAF e declínio na intercepção e absorção da radiação.

Como a duração da área foliar (DAF) é calculada a partir dos valores de IAF, as curvas de ambos parâmetros são semelhantes, confirmando as diferenças entre os tratamentos  $I_4$  e  $I_0$  (Figura 5A e 5B). O tratamento  $I_4$ , por não ter sido afetado pela deficiência hídrica, apresentou uma maior DAF quando comparado com o tratamento  $I_0$ . A máxima DAF para o tratamento  $I_0$  ocorreu aos 84 DAE, que foi de 25 dias, enquanto que para o tratamento  $I_4$  esse máximo ocorreu aos 56 DAE e foi de 43 dias (Apêndice 6).

FIGURA 5 - Índice de área foliar - IAF (A) e duração da área foliar - DAF (B), em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação ( $I_4$ ) e sem irrigação ( $I_0$ ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

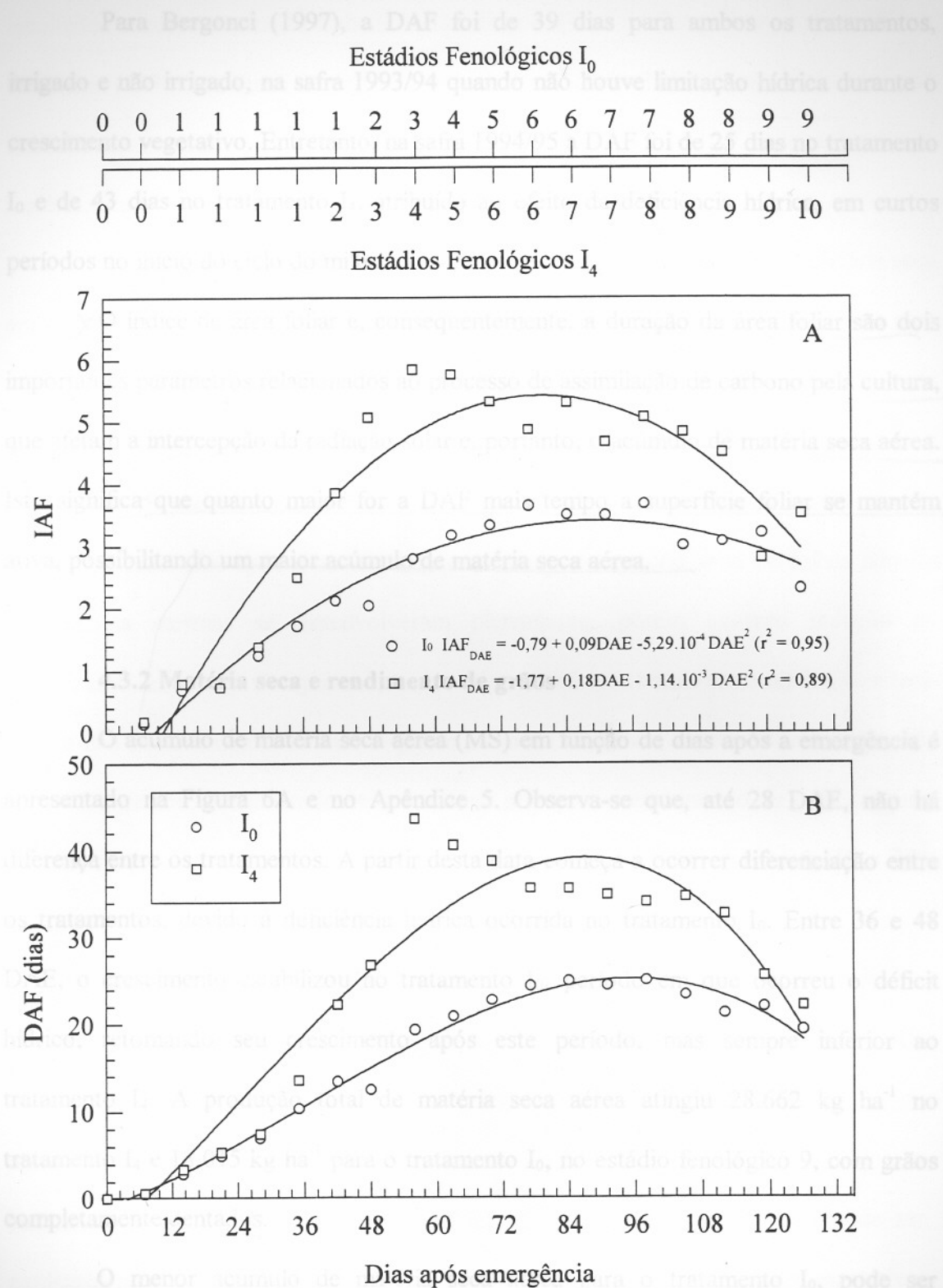


FIGURA 5 - Índice de área foliar - IAF (A) e duração da área foliar - DAF (B), em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação (I<sub>4</sub>) e sem irrigação (I<sub>0</sub>). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Para Bergonci (1997), a DAF foi de 39 dias para ambos os tratamentos, irrigado e não irrigado, na safra 1993/94 quando não houve limitação hídrica durante o crescimento vegetativo. Entretanto, na safra 1994/95 a DAF foi de 25 dias no tratamento I<sub>0</sub> e de 43 dias no tratamento I<sub>4</sub>, atribuído ao efeito da deficiência hídrica, em curtos períodos no início do ciclo do milho.

O índice de área foliar e, conseqüentemente, a duração da área foliar são dois importantes parâmetros relacionados ao processo de assimilação de carbono pela cultura, que afetam a intercepção da radiação solar e, portanto, o acúmulo de matéria seca aérea. Isto significa que quanto maior for a DAF mais tempo a superfície foliar se mantém ativa, possibilitando um maior acúmulo de matéria seca aérea.

#### 4.3.2 Matéria seca e rendimento de grãos

O acúmulo de matéria seca aérea (MS) em função de dias após a emergência é apresentado na Figura 6A e no Apêndice 5. Observa-se que, até 28 DAE, não há diferença entre os tratamentos. A partir desta data começa a ocorrer diferenciação entre os tratamentos, devido à deficiência hídrica ocorrida no tratamento I<sub>0</sub>. Entre 36 e 48 DAE, o crescimento estabilizou no tratamento I<sub>0</sub>, período em que ocorreu o déficit hídrico, retomando seu crescimento após este período, mas sempre inferior ao tratamento I<sub>4</sub>. A produção total de matéria seca aérea atingiu 28.662 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento I<sub>4</sub> e 18.015 kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento I<sub>0</sub>, no estágio fenológico 9, com grãos completamente dentados.

O menor acúmulo de matéria seca aérea para o tratamento I<sub>0</sub>, pode ser explicado pelo menor IAF e pela menor DAF. Estes resultados indicam que a fotossíntese das plantas foi afetada em um de seus componentes que é a área foliar. Os

resultados encontrados neste trabalho estão de acordo os de Tanguiling *et al.* (1987) e Passioura (1994), os quais demonstram que mesmo déficits hídricos não muito severos também afetam a expansão foliar com conseqüente redução do IAF e do acúmulo de matéria seca aérea.

Eck (1986), avaliando o efeito do déficit hídrico na acumulação de matéria seca em folhas, colmos e espigas, constatou uma redução na produção de matéria seca para todo o ciclo, quando o déficit foi imposto por quatro semanas, iniciando ao 41 dias após a sementeira, sendo que, colmos e folhas não se desenvolveram plenamente, reduzindo o crescimento de ambos. Quando o período de déficit hídrico ocorreu por duas semanas, iniciando ao 55 dias após a sementeira, o acúmulo de matéria seca de folhas não foi afetado; as mesmas se desenvolveram plenamente, porém ocorreu redução no crescimento do colmo. Comparando-se os dois tratamentos com a testemunha, constata-se que nos tratamentos com duas e quatro semanas de déficit hídrico o crescimento do colmo foi afetado, translocando menos matéria seca para o enchimento do grão do que o tratamento plenamente irrigado, ocasionando um rendimento de espigas de 10 e 36% inferiores em relação a testemunha, respectivamente.

A menor produção de MS aérea total no tratamento  $I_0$  (Figura 6B) se deve à menor redução da área foliar teto atingida, bem como de sua duração, causadas pela ocorrência do déficit hídrico nos estádios vegetativos. As diferenças em termos de rendimento de grãos são menores: o tratamento  $I_0$  produziu  $8.945 \text{ kg ha}^{-1}$ , enquanto o tratamento  $I_4$  teve rendimento de  $10.496 \text{ kg ha}^{-1}$ . Esta pequena diferença pode ser explicada pelo fato do déficit hídrico ter ocorrido durante o crescimento vegetativo, portanto fora do período crítico para o milho, que corresponde ao florescimento. A análise de variância revelou efeito significativo do déficit hídrico sobre a matéria seca aérea total, não havendo diferenças estatística nos dados de rendimento de grãos

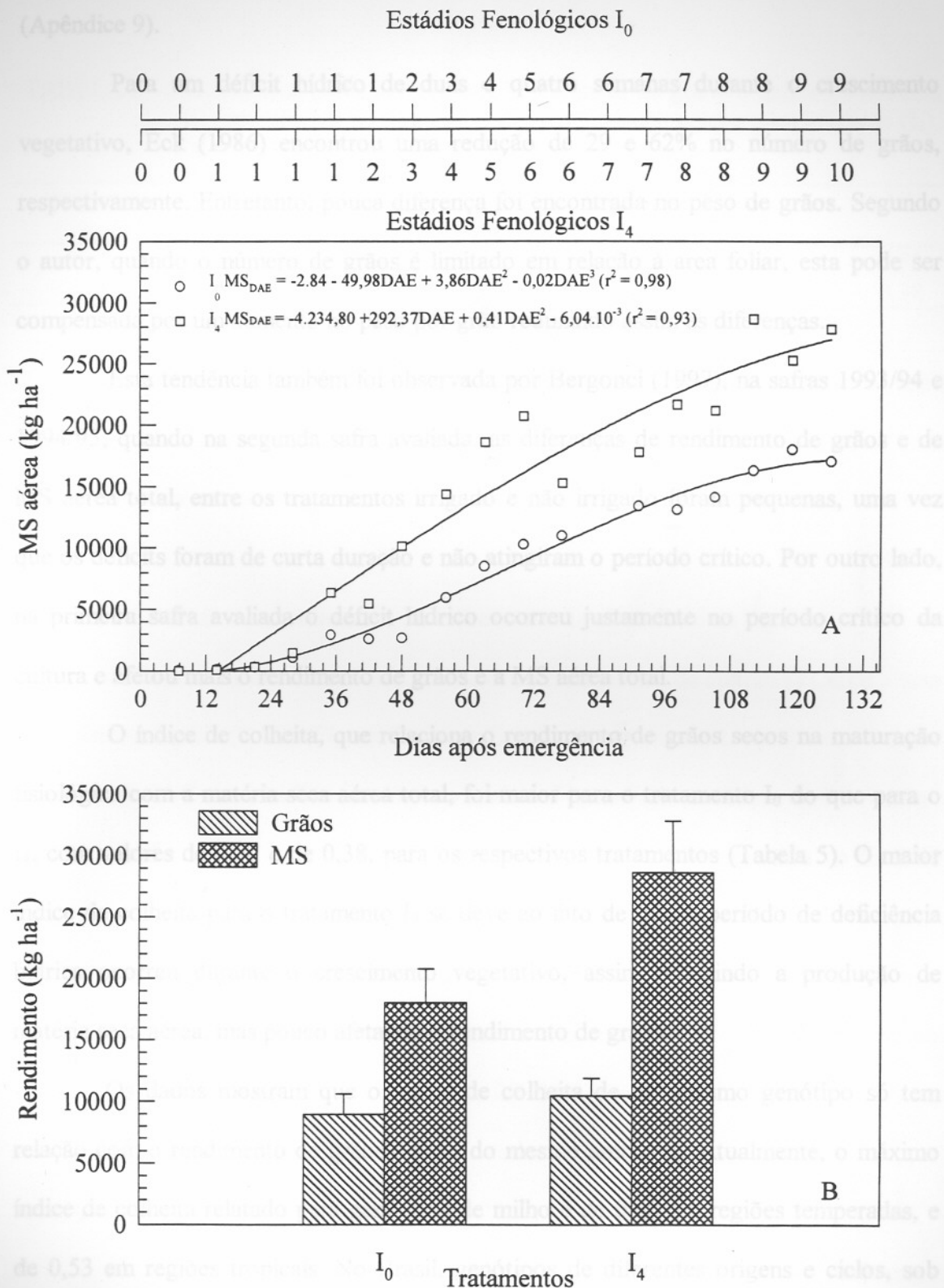


FIGURA 6 - Acúmulo de matéria seca aérea - MS (A) em função de dias após emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) e rendimento de grãos e MS aérea total (B) em milho, com irrigação (I<sub>4</sub>) e sem irrigação (I<sub>0</sub>). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.



(Apêndice 9).

Para um déficit hídrico de duas e quatro semanas durante o crescimento vegetativo, Eck (1986) encontrou uma redução de 29 e 62% no número de grãos, respectivamente. Entretanto, pouca diferença foi encontrada no peso de grãos. Segundo o autor, quando o número de grãos é limitado em relação à área foliar, esta pode ser compensada por um aumento no peso por grão reduzindo assim as diferenças.

Esta tendência também foi observada por Bergonci (1997), na safras 1993/94 e 1994/95, quando na segunda safra avaliada, as diferenças de rendimento de grãos e de MS aérea total, entre os tratamentos irrigado e não irrigado foram pequenas, uma vez que os déficits foram de curta duração e não atingiram o período crítico. Por outro lado, na primeira safra avaliada o déficit hídrico ocorreu justamente no período crítico da cultura e afetou mais o rendimento de grãos e a MS aérea total.

O índice de colheita, que relaciona o rendimento de grãos secos na maturação fisiológica com a matéria seca aérea total, foi maior para o tratamento  $I_0$  do que para o  $I_4$ , com valores de 0,52 e de 0,38, para os respectivos tratamentos (Tabela 5). O maior índice de colheita para o tratamento  $I_0$  se deve ao fato de que o período de deficiência hídrica ocorreu durante o crescimento vegetativo, assim reduzindo a produção de matéria seca aérea, mas pouco afetando o rendimento de grãos.

Os dados mostram que o índice de colheita de um mesmo genótipo só tem relação com o rendimento de grãos dentro do mesmo ambiente. Atualmente, o máximo índice de colheita relatado para genótipos de milho é de 0,60 em regiões temperadas, e de 0,53 em regiões tropicais. No Brasil, genótipos de diferentes origens e ciclos, sob densidades de plantas que variam de 33.000 a 77.000 plantas  $ha^{-1}$ , apresentam índices de colheita oscilando de 0,39 a 0,40 respectivamente (Durães *et al.*, 1994). Valores similares foram obtidos por Peixoto (1996), onde os resultados variaram entre 0,38 e

TABELA 5 - Matéria seca (MS) aérea total, rendimento de grãos e índice de colheita (IC) em milho, para os tratamentos sem irrigação (I<sub>0</sub>) e com irrigação (I<sub>4</sub>). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Tratamentos	MS aérea total (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimento grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	IC
I <sub>0</sub>	17.044	8.945	0,52
I <sub>4</sub>	27.839	10.496	0,38

0,42, para três genótipos de milho, cultivados em quatro densidade de plantas na safra 1994/95, em Rio Pardo (RS), em um experimento com alto nível de manejo, com irrigação complementar e no maior nível de adubação.

#### 4.3.3 Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória líquida

A disponibilidade hídrica afetou a taxa de crescimento da cultura (TCC) e a taxa assimilatória líquida (TAL) (Figura 7 e Apêndice 6). O tratamento I<sub>4</sub> apresentou valores elevados de TCC nos estádios fenológicos iniciais (Figura 7A), na ordem de 300 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no estágio 1 (que corresponde a 4 folhas expandidas), e decrescendo no final do ciclo do milho, atingindo 130 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no estágio 9 (que corresponde ao grão completamente dentado). O tratamento I<sub>0</sub>, que foi submetido a um período de deficiência hídrica no início dos estádios vegetativos, teve uma redução na TCC em relação ao tratamento I<sub>4</sub>, principalmente no período até 28 DAE, apresentando valores de 120 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no estágio 1, atingindo o máximo ao redor de 200 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no estágio 4 (que correspondem ao pendoamento) e de apenas 20 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no estágio 9.

Tollenaar & Bruulsema (1988), trabalhando com milho em diferentes densidades e em condições de boa disponibilidade hídrica, encontraram uma variação na TCC de 295 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> durante o período de duas semanas que antecedem a formação

FIGURA 7 - Taxa de crescimento da cultura (A) e taxa assimilatória líquida (B) em milho, com irrigação (I<sub>4</sub>) e sem irrigação (I<sub>0</sub>). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

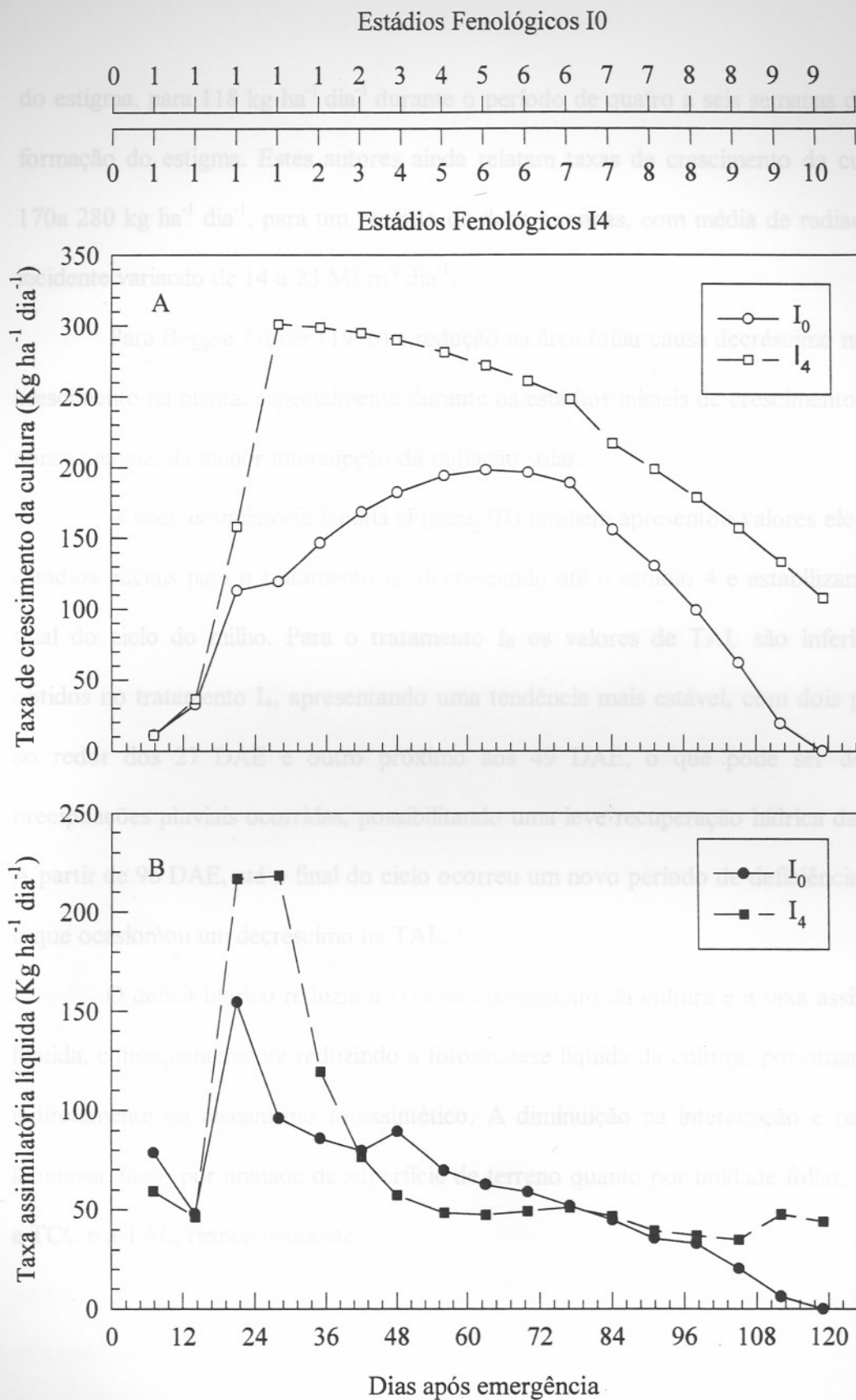


FIGURA 7 - Taxa de crescimento da cultura (A) e taxa assimilatória líquida (B) em função de dias após a emergência e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação (I<sub>4</sub>) e sem irrigação (I<sub>0</sub>). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

do estigma, para  $118 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  durante o período de quatro a seis semanas depois da formação do estigma. Estes autores ainda relatam taxas de crescimento da cultura de  $170$  a  $280 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , para um período de duas semanas, com média de radiação solar incidente variando de  $14$  a  $23 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .

Para Begg e Turner (1976) a redução na área foliar causa decréscimo na taxa de crescimento da planta, especialmente durante os estádios iniciais de crescimento e, como consequência, da menor interceptação da radiação solar.

A taxa assimilatória líquida (Figura 7B) também apresentou valores elevados no estádios iniciais para o tratamento  $I_4$ , decrescendo até o estágio 4 e estabilizando até o final do ciclo do milho. Para o tratamento  $I_0$  os valores de TAL são inferiores aos obtidos no tratamento  $I_4$ , apresentando uma tendência mais estável, com dois picos um ao redor dos 27 DAE e outro próximo aos 49 DAE, o que pode ser devido às precipitações pluviais ocorridas, possibilitando uma leve recuperação hídrica da cultura. A partir de 96 DAE, até o final do ciclo ocorreu um novo período de deficiência hídrica, o que ocasionou um decréscimo na TAL.

O déficit hídrico reduziu a taxa de crescimento da cultura e a taxa assimilatória líquida, conseqüentemente reduzindo a fotossíntese líquida da cultura, por atuar direta e indiretamente no mecanismo fotossintético. A diminuição na interceptação e na fixação luminosa, tanto por unidade de superfície de terreno quanto por unidade foliar, afetaram a TCC e a TAL, respectivamente.

Por outro lado, Sans et al. (1974) afirmam que, embora a temperatura seja determinante, outros fatores também contribuem para o desenvolvimento da cultura. Neste trabalho pode-se constatar que, além da temperatura, a disponibilidade hídrica foi um fator marcante no desenvolvimento fenológico do milho.

#### 4.4 Modelo de estimativa da matéria seca em milho

##### 4.4.1 Ajustes em função do acúmulo de graus-dia

O índice de área foliar (IAF) e a matéria seca (MS) aérea em função do acúmulo de graus-dia (GD), durante o período experimental, apresentaram um comportamento diferenciado entre os tratamentos  $I_0$  e  $I_4$  devido as diferentes disponibilidades hídrica (Figura 8), conforme discutido anteriormente na análise de crescimento.

O IAF máximo estimado para o tratamento  $I_4$  foi de 5,5 atingido com 1.187°C acumulados, e para o tratamento  $I_0$  o IAF máximo estimado foi de 3,4 atingido aos 1.296°C acumulados (Figura 8A e Apêndice 4). Observa-se que, além da deficiência hídrica ter reduzido o IAF, houve uma maior exigência térmica para ocorrência do IAF máximo estimado. Entretanto, ambos ocorreram no estágio 6 de desenvolvimento, que corresponde a grão leitoso. A diferenciação entre os tratamentos nas curvas de IAF, em função do acúmulo de graus-dia, começou a ocorrer a partir de 408°C acumulados (estádio 1 em ambos os tratamentos, ou seja, com quatro folhas expandidas). Em termos de desenvolvimento fenológico, as plantas do tratamento  $I_4$  atingiram o estágio 2 (com oito folhas expandidas) com 606°C acumulados, enquanto no tratamento  $I_0$  as plantas atingiram este estágio, somente com 735°C acumulados, mantendo-se sempre uma defasagem em termos de acúmulo de graus-dia e estádios fenológicos até a maturação fisiológica do milho.

Para Ruget (1990) a temperatura determina a velocidade de sucessão dos estádios fenológicos do milho. Por outro lado, Sans *et al.* (1994) afirmam que, embora a temperatura seja determinante, outros fatores também contribuem para o desenvolvimento da cultura. Neste trabalho pode-se constatar que, além da temperatura, a disponibilidade hídrica foi um fator marcante no desenvolvimento fenológico do milho.

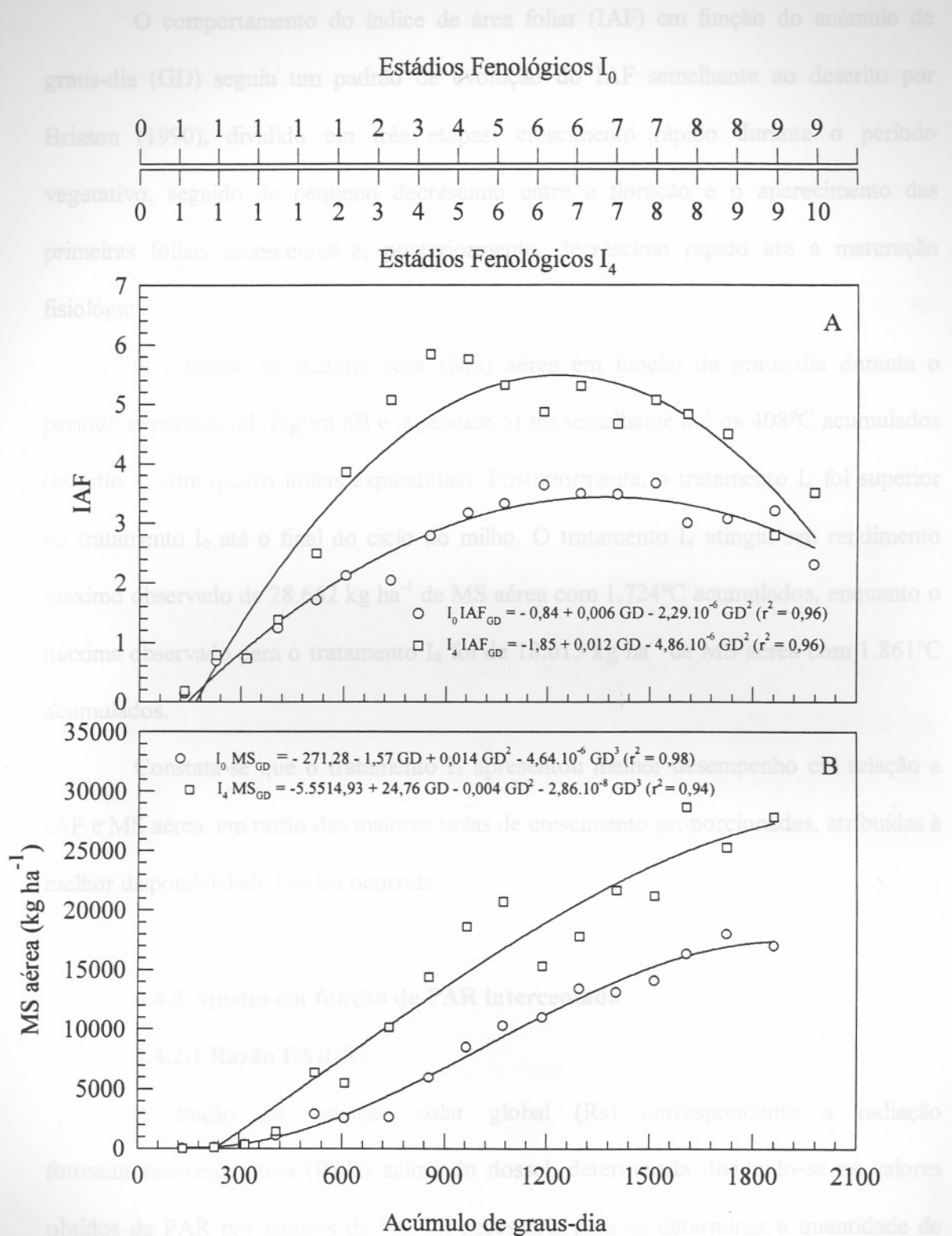


FIGURA 8 - Índice de área foliar - IAF (A) e matéria seca aérea - MS (B) em função do acúmulo de graus-dia e de estádios fenológicos (Hanway, 1963) em milho, com irrigação ( $I_4$ ) e sem irrigação ( $I_0$ ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

O comportamento do índice de área foliar (IAF) em função do acúmulo de graus-dia (GD) seguiu um padrão de evolução do IAF semelhante ao descrito por Brisson (1990), dividido em três etapas: crescimento rápido durante o período vegetativo, seguido de pequeno decréscimo entre a floração e o aparecimento das primeiras folhas senescentes e, posteriormente, decréscimo rápido até a maturação fisiológica.

O acúmulo de matéria seca (MS) aérea em função de graus-dia durante o período experimental (Figura 8B e Apêndice 5) foi semelhante até os 408°C acumulados (estádio 1, com quatro folhas expandidas). Posteriormente, o tratamento I<sub>4</sub> foi superior ao tratamento I<sub>0</sub> até o final do ciclo do milho. O tratamento I<sub>4</sub> atingiu seu rendimento máximo observado de 28.662 kg ha<sup>-1</sup> de MS aérea com 1.724°C acumulados, enquanto o máximo observado para o tratamento I<sub>0</sub> foi de 18.015 kg ha<sup>-1</sup> de MS aérea com 1.861°C acumulados.

Constata-se que o tratamento I<sub>4</sub> apresentou melhor desempenho em relação a IAF e MS aérea, em razão das maiores taxas de crescimento proporcionadas, atribuídas à melhor disponibilidade hídrica ocorrida.

#### **4.4.2 Ajustes em função de PAR interceptada**

##### **4.4.2.1 Razão PAR/R<sub>s</sub>**

A fração da radiação solar global (R<sub>s</sub>) correspondente à radiação fotossinteticamente ativa (PAR) acima do dossel, determinada dividindo-se os valores obtidos de PAR por valores de R<sub>s</sub>, foi necessária para se determinar a quantidade de PAR incidente acumulada ( $\Sigma PAR_{inc}$ ).

A Figura 9 representa a razão PAR/Rs em função da hora do dia, caracterizando alguns dias do período experimental. Os resultados demonstram pouca variação ao longo do dia. Na análise de valores horários, Alados *et al.* (1996) apresentam um modelo diário com menores valores da relação do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos com o espectro total da Rs em torno do meio-dia. A razão PAR/Rs foi de  $0,45 \pm 0,05$  (média  $\pm$  desvio padrão) no dia 26/12/95,  $0,43 \pm 0,04$  no dia 29/12/95 e  $0,42 \pm 0,08$  no dia 02/01/96, sendo que a radiação global (Rs), correspondeu a 18,53, 28,91 e 29,65 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

A razão PAR/Rs apresentou valor médio de  $0,42 \pm 0,07$  no período entre 18 de dezembro de 1995 e 19 de janeiro de 1996, considerando dias nublados e ensolarados (Apêndice 7). O mesmo valor médio ( $0,42 \pm 0,02$ ) foi obtido por França *et al.* (1997), para o período de 26 de abril a 9 de julho de 1995, no mesmo local. Resultado semelhante foi determinado por Pandolfo (1995), cuja média da razão PAR/Rs foi de 0,43, na mesma região e no período de primavera-verão. Constata-se, portanto, não haver diferença sazonal nesta relação. Meek *et al.* (1984), em Fresno, Califórnia, também descreveram através de análise de regressão uma tendência estável sem diferença sazonal sobre uma ampla faixa de condições de ambiente.

#### 4.4.2.2 Eficiência de interceptação de PAR

O aumento do IAF foi acompanhado por um aumento da eficiência de interceptação de PAR (Figura 10 e Apêndice 8). A eficiência de interceptação de PAR atingiu o valor máximo de 0,93 com um IAF estimado de 5,47, ocorrido no tratamento I<sub>4</sub>. O tratamento I<sub>0</sub> apresentou uma menor eficiência de interceptação, próxima a 0,85, associada a um IAF estimado de 3,36.



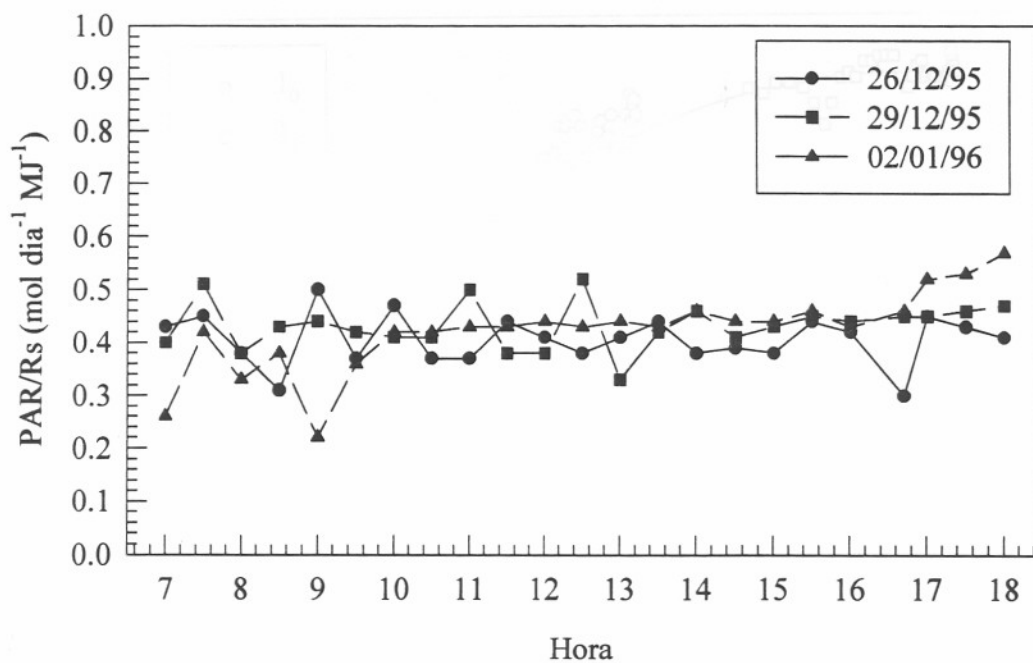


FIGURA 9 - Relação entre radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e radiação solar global (Rs), em função da hora do dia, para alguns dias durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

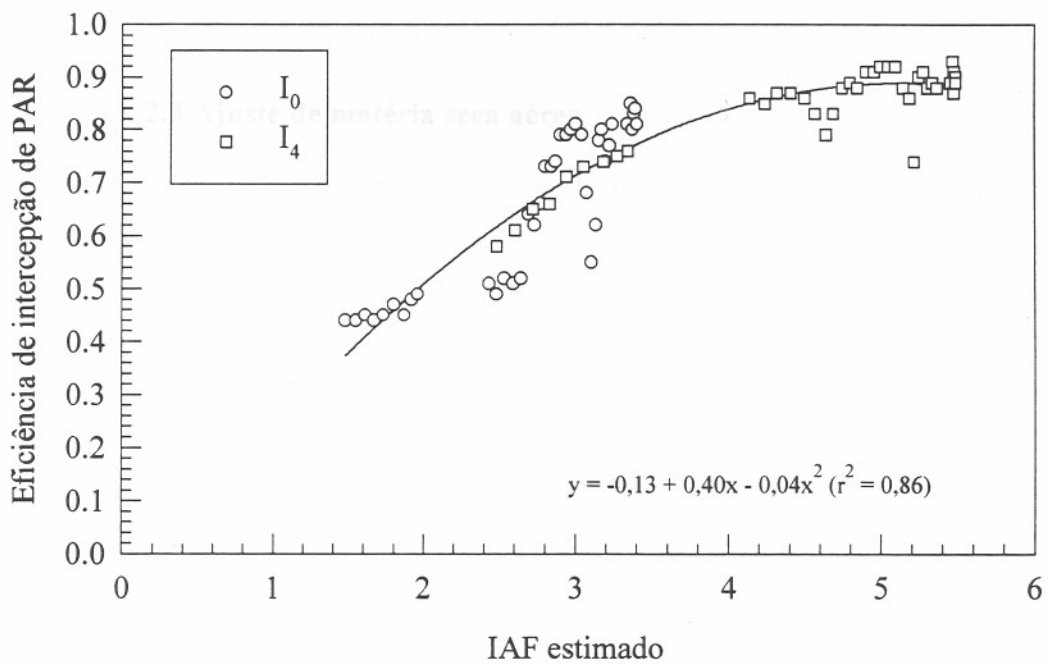


FIGURA 10 - Relação entre eficiência de interceptação de PAR e índice de área foliar (IAF) estimado em milho, com irrigação ( $I_4$ ) e sem irrigação ( $I_0$ ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pandolfo (1995), em alfafa, onde aumentos do IAF foram também acompanhados de aumento na eficiência de interceptação de PAR.

\* A deficiência hídrica diminuiu o desenvolvimento do IAF e o acúmulo de matéria seca da parte aérea, pela redução da quantidade de energia interceptada. Consta-se que, ao mesmo tempo em que houve limitação no crescimento do índice de área foliar, a eficiência de interceptação e de conversão da PAR foram afetadas, refletindo na menor produção de MS aérea para o tratamento  $I_0$ . Varlet-Grancher *et al.* (1982) constataram que um desenvolvimento insuficiente da superfície foliar não permite obter alta eficiência de interceptação da radiação solar, ocasionando baixa produtividade de matéria seca dos milhos precoces, no norte da França.

#### 4.4.2.3 Ajuste de matéria seca aérea

A Figura 11 representa o acúmulo de matéria seca (MS) aérea do milho em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada ( $\Sigma PAR_{int}$ ), para as duas condições hídricas. O coeficiente angular que representa a eficiência de utilização da radiação, para este experimento, foi de 1,63 g de MS aérea para cada megajoule de  $PAR_{int}$  para o tratamento  $I_0$ . No entanto, para o tratamento  $I_4$ , este parâmetro foi de 2,59 g de MS aérea para cada megajoule de  $PAR_{int}$ . Assim, para o tratamento  $I_4$ , a RUE apresenta valores similares aos obtidos para diferentes espécies de metabolismo  $C_4$ , como milho, cana-de-açúcar e panicum (2,49, 2,65 e 2,39, respectivamente), com a média de 2,51 g de MS aérea para cada megajoule de  $PAR_a$  (Gosse *et al.*, 1986).

Resultados obtidos com diferentes espécies (cevada, soja, beterraba, batata, eucalipto, pinus, brassicas, guandu) mostram que a MS produzida é uma função linear da

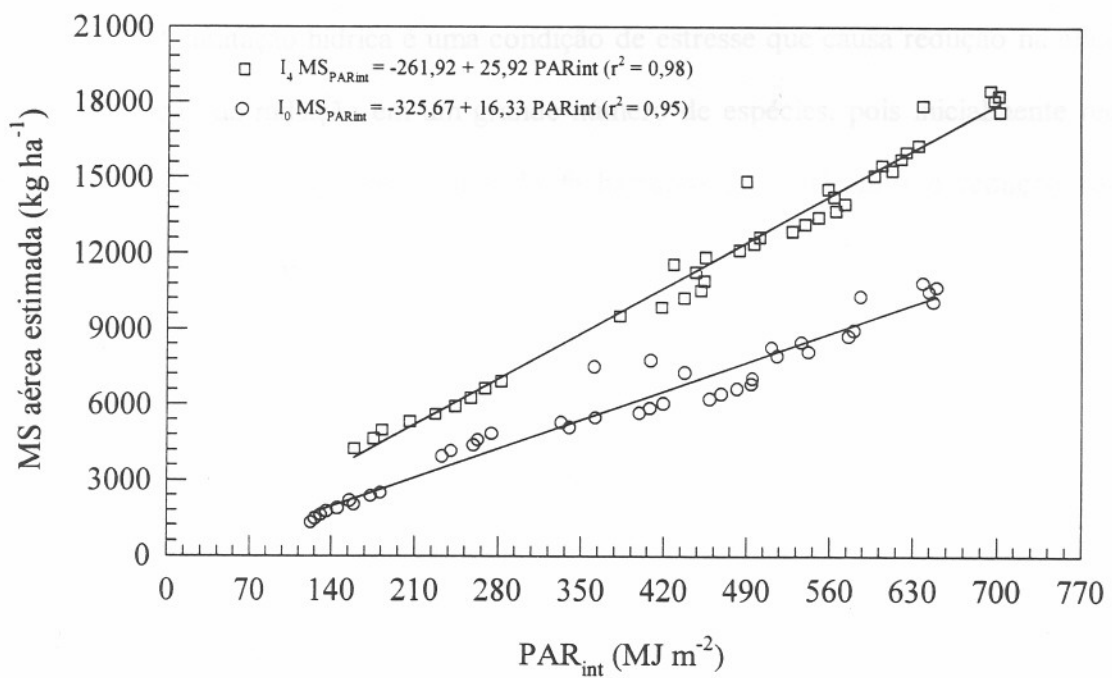


FIGURA 11 - Relação entre matéria seca (MS) aérea estimada e somatório de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $PAR_{int}$ ) para o milho, com irrigação ( $I_4$ ) e sem irrigação ( $I_0$ ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

energia solar captada pela cobertura vegetal, quando não há limitação nutricional e hídrica, sendo possível estimar a produção de matéria seca através da eficiência de utilização da radiação (RUE), que representa o coeficiente angular da regressão linear (Bonhomme *et al.*, 1982; Tollenaar & Bruulsema, 1988; Russel *et al.*, 1989).

Gosse *et al.* (1984) também obtiveram, para alfafa, uma relação linear entre rendimento de matéria seca aérea (MSa) e PAR absorvida (PAR<sub>a</sub>), em que a eficiência de utilização da radiação foi de 1,76 g de MSa para cada megajoule de PAR<sub>a</sub>, em crescimento de primavera e verão. Em girassol, Barni *et al.* (1995) determinaram que a eficiência de utilização da radiação foi de 2,5 g de MS por megajoule de PAR absorvida, representando o valor ajustado do potencial produtivo apresentado em três diferentes ambientes.

A limitação hídrica é uma condição de estresse que causa redução na eficiência de utilização da radiação em um grande número de espécies, pois inicialmente reduz a expansão da área foliar por causa do fechamento dos estômatos e redução na taxa fotossintética e posteriormente pode causar senescência prematura das folhas (Russel *et al.*, 1989).

Em função do valor de RUE obtido no tratamento I<sub>4</sub>, coincidente com o valor potencial proposto por Gosse *et al.* (1986) para espécies C<sub>4</sub>, pode-se afirmar que não houve limitação de qualquer natureza neste tratamento. Como o tratamento I<sub>0</sub> apresentou menor RUE, isto foi devido à deficiência hídrica, uma vez que esta foi o único fator variável entre os dois tratamentos. Esta tendência é demonstrada por Russel *et al.* (1989), segundo os quais um ambiente que apresenta alguma condição de estresse, pode causar redução no crescimento, ou redução no índice de área foliar, portanto, influenciando a intercepção da radiação.

#### 4.4.3 Matéria seca em função de radiação solar e temperatura do ar

O modelo de previsão de matéria seca aérea para a cultura do milho foi ajustado através do modelo proposto por Gosse *et al.* (1984). As variáveis de entrada, radiação solar global (Rs) e temperatura média do ar, determinando o acúmulo de graus-dia (GD), são obtidas nas estações meteorológicas, onde:

$$MS = 2.59 * \{0,42 * Rs * 0,93 * [1 - \exp(-0,87 * (-0,84 + 0,0063 * GD - 2,29 * 10^{-6} * GD^2))]\}$$

simplificando:

$$MS = 1,01 Rs \{1 - \exp[-0,87 * (-0,84 + 0,0063 * GD - 2,29 * 10^{-6} * GD^2)]\}$$

## 5. CONCLUSÕES

Déficit hídrico durante o crescimento vegetativo em milho ocasiona atraso na ocorrência de estádios fenológicos e necessidade de maior acúmulo de graus-dia para a cultura completar seu ciclo. Da mesma forma, afeta negativamente o índice de área foliar e o acúmulo de matéria seca aérea, com pequeno efeito sobre o rendimento de grãos.

Redução no índice de área foliar e na duração da área foliar, causada pelo déficit hídrico, diminui a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, afetando diretamente a interceptação de radiação e, por consequência, o acúmulo de matéria seca aérea pelas plantas.

A disponibilidade hídrica altera o ajuste de modelos de estimativa de matéria seca e índice de área foliar em função do acúmulo de graus-dia. O ajuste de modelos de estimativa de matéria seca em função do somatório de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, também é afetado pelo déficit hídrico.

Na ausência de limitação hídrica, a eficiência de utilização da radiação fotossinteticamente ativa do milho está na ordem de grandeza prevista para espécies de metabolismo C<sub>4</sub>, sendo reduzida com a ocorrência de déficit hídrico.

A produção de MS e o IAF em milho podem ser estimados a partir da temperatura média do ar, através do acúmulo de graus-dia e do somatório de radiação solar global, considerando PAR interceptada.

BERLATO, M.; SUTILLI, M. A. V. Bases dos subperíodos emergência-panícula em cultivares de milho (*Zea mays* L.). *Revista de Agronomia*, Piracicaba, v. 11, n. 1, p. 1-10, 1976. Departamento de Agronomia, Universidade de Queiroz, Piracicaba, SP.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre, Editora da Universidade UFRGS, 1992. 125p., p.25-32.

**6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS**

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, n. 7, p. 631-636, 1971.

AGUINSKY, S. D. **Prognóstico e otimização do rendimento de grãos de milho (*Zea mays* L.) no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1991. 196p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.

ALADOS, I.; FOYO-MORENO, I; ALADOS-ARBOLEDAS. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 78, n. 1-2, p. 121-131, 1996.

ASSIS, F. N. de; MENDEZ. M. E. G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 2, n. 7, p. 797-800, 1989.

BARNI, N. A; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. et al. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 201-216, 1995.

BEADLE, C. L. Growth analysis. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. et al. **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 36-46.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre, Editora da Universidade UFRGS, 1992. 125p., p.25-32.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da estação experimental agrônômica da UFRGS**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1990. Não paginado.

BERGONCI, J. I. **Indicadores de déficit hídrico em milho**. Porto Alegre, 1997. 117p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.



- BERLATO, M.; SUTILI, V. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho (*Zea mays* L.). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11, 1976, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Genética, 1978. 881 p., p.523-527.
- BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V. R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 111-132, 1984.
- BERLATO, M.; SUTILI, V.; CASTRO, A. O. Comparação de três métodos de cálculo das exigências térmicas para espigamento de milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 87-94, 1974.
- BONHOMME, R., RUGET, F., DERIEUX, M. et al. Relations entre production de matière sèche aérienne et énergie interceptée chez différents génotypes de maïs. C. R. **Academie Sciences**, Série III, Paris, n. 294, p. 393-397. 1982.
- BRISSON, N.; RUGET, F.; NICAULLAUD, B. et al. Proposition d'un modèle semi-deterministe pour la culture du maïs-grain: application à la C. E. E. et au territoire français. In: COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES. **Evaluation des contraintes sol-climat sur la faisabilité des cultures: applications au maïs-grain**. Paris: I.N.R.A., Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, 1990. Não paginado.
- CAMPBELL, G.S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 36, n. 3-4, p. 317-321. 1986.
- CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. The description and measurement of plant canopy structure. In: RUSSEL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P.G (eds.) **Plant canopies : their growth, form and function**. Cambridge: University Press, 1989. p. 1-19.
- CHARLES-EDWARDS, D. A. **Physiological determinants of crop growth**. London: Academic Press, 1982.165p.
- CHARLES-EDWARDS, D. A.; DOLEY, D.; RIMMINGTON, G. M. **Modelling plant growth and development**. London: Academic Press, 1986. 235p.
- CHARTIER, M., BONCHRETIEN, P., ALLIRAND, J. M. et al. Utilisation des cellules au silicium amorphe pour la mesure du rayonnement photosynthetiquement actif (400-700 nm). **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 281-284, 1989.
- CIRILO, A. G.; ANDRADE, F. H. Sowing date maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 1039-1043, 1994.

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rs e de Sc.** 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994. 224 p.
- COSGROVE, D. J. Biophysical control of plant cell growth. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 37, p. 377-405, 1986.
- COSTA, E. F. da; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Caracterização do ciclo de dez genótipos de milho em função das exigências térmicas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21, 1996, Londrina. **Resumos ...** Londrina: IAPAR, 1996. 360 p., p.219.
- CRASTA, O. R.; COX, W. J. Temperature and soil water effects on maize growth, development yield, and forage quality. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 2, p. 341-348, 1996.
- CUNHA, G. R. **Evapotranspiração e função de resposta à disponibilidade hídrica em alfafa.** Porto Alegre, 1991, 198p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.
- DEBENEIX, V. **Definition des parametres d'utilisation des cellules au silicium amorphe pour la mesure du rayonnement utile à la photosynthese.** [S. L.]: IUT Mesures Physiques, Université de Creteil, 1994. 38 p.
- DOOREBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements.** Roma: FAO, 1976. 194p.
- DOW, E. W.; DAYNARD, T. B.; MULDOON, J. F. et al. Resistance to drought and density stress in Canadian and European maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 64, n. 3, p. 575-585, 1984.
- DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; FANCELLI, A. L. et al. Estimativa do índice de colheita genético (ICE) para milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20, 1994, Goiânia. **Resumos ...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 1994. 291 p., p.198.
- DURAND, J. L., LEMAIRE, G., GOSSE, G. et al. Analyse de la conversion de l'énergie solarie en matière sèche par un peuplement de luzerne (*Medicago sativa* L.) soumis à un déficit hydrique. **Agronomie**, Paris, v. 9, p 599-607, 1989.
- ECK, H. V. Irrigated corn yield response to nitrogen and water. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 3, p. 421-428, 1984.
- ECK, H. V. Effects of water deficits on yield, yield components and water use efficiency of irrigated corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 6, p. 1035-1040, 1986.

- FRANÇA, S.; ROSA, L. M. G.; BERGAMASCHI, H. et al. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa, em função do índice de área foliar. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 1997. No prelo.
- GALLAGHER, J. N.; BISCOE, P. V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v. 91. p. 47-60, 1978.
- GALLO, K. P.; DAUGHTRY, C. S. T. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 752-756, 1986.
- GILMORE Jr., E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, n. 10, p. 611-615, 1958.
- GIRARDIN, P.; TOLLENAAR, M. Effects of intraspecific interference on maize leaf azimuth. **Crop Science**, Madison. v. 34, n. 1, p. 151-155, 1984.
- GOLLAN, T.; PASSIOURA, J. B.; MUNNS, R. Soil water status affects stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.13, p. 459-464, 1986.
- GOOD, N. E.; BELL, D. H. Photosynthesis, plant productivity and crop yield. In: CARSON, P. S. **The biology of crop productivity**. New York: Academic Press, 1980. p. 3-51.
- GOSSE, G.; CHARTIER, M.; LEMAIRE, G. Mise au point d'un modèle de prévision de production pour une culture de Luzerne. **C. R. Academie Sciences**, Série III, Paris, v. 298, p 541-544, 1984.
- GOSSE, G., VARLET-GRANCHER, C., BONHOMME, R. et al. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 6, p 47-56, 1986.
- GRANT, R. F.; JACKSON, B. S.; KINIRY, J. R. et al. Water deficit timing effects on yield components in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 1, p. 61-65, 1989.
- GREEN, C. F. Nitrogen nutrition and wheat growth in relation to absorbed solar radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 41, n. 3-4, p. 207-248, 1987.
- HANKS, R. J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V. P. et al. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, n. 3 p. 426-429, 1976.

- HANKS, R. J.; SISSON, D. V.; HURST, R. L. et al. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 4. 886-888, 1980.
- HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, n. 5, p. 487-491, 1963.
- HASHEMI, D. A.; HERBERT, S. J. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 4, p. 547-551, 1992.
- HESKETH, J. D.; WARRINGTON, I. J. Corn growth response to temperature: rate and duration of leaf emergence. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 696-701, 1989.
- HODGES, T.; KANEMASU, E. T. Modeling daily dry matter production of winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 6, p. 974-978, 1977.
- HOWELL, T. A.; MEEK, D. W.; HATIFIELD, J. L. Relationship of photosynthetically active radiation to shortwave radiation in the San Joaquin Valley. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 157-175, 1983.
- JONES, C. A.; KINIRY, J. R. **CERES-maize: A simulation model of maize growth and development**. Texas A & M Univ. Press, College Station, TX., 1986. Não paginado.
- JONG, S. K.; BREWBAKER, J. L.; LEE, C. H. Effects of solar radiation on the performance of maize in 41 successive monthly plantings in Hawaii. **Crop Science**, Madison, v. 22, n. 1, p. 13-18, 1982.
- KARALIS, J. D. Characteristics of direct photosynthetically active radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 48, nos. 3-4, p. 225-234, 1989.
- KINIRY, J. R. Maize phasic development. In: **Modeling plant and soil systems**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1991. p. 55-70. (Agronomy Monograph no. 31).
- KINIRY, J. R., JONES, C. A., O'TOOLE, J. C. et al. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 51-64, 1989.
- LEAL, B. G. **Caracterização da radiação solar e análise do crescimento e do desenvolvimento de milho (*Zea mays* L.) em três densidades de plantio**. Viçosa, 1993. 55 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- LOOMIS, R. S.; WILLIAMS, W. A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, Madison, v. 3, n. 1, p. 67-72, 1963.

- MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C. Relação entre rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, 1987, Belém. **Coletânea de trabalhos ...** Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. 518p., p.3-6.
- MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho em função de disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1994. 172p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima do milho e relações com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman, evaporação do tanque Classe A e radiação solar global, em três épocas de semeadura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8., 1993, Porto Alegre. **Resumos ...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, UFRGS, UFSM, 1993. 211 p., p.81.
- McCREE, K. J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 10, p. 443-453, 1972.
- MEDEIROS, S. L. P.; WESTPHALEN, S. L.; MATZENAUER, R. et al. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 1-10, 1991.
- MEEK, D. W.; HATFIELD, J. L.; HOWELL, T. A. et al. A generalized relationship between photosynthetically active radiation and solar radiation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 6, p. 939-945, 1984.
- MELLO, O.; LEMOS, R. C.; ABRÃO, P. U. R. et al. Levantamento dos solos do centro agrônomo. **Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS**, v.8, p. 7-155, 1966.
- MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v. 9, p. 747-766, 1972.
- MONTEITH, J. L. Climate and efficiency of crop production in Britain. **Phil Transactions Royal Society**, London, v. 281, p. 277-294, 1977.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul. 30 p., 1961.
- MUCHOW, R. C. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. II. Effect of water deficits. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 20, p. 207-219, 1989.

- MUCHOW, R. C.; DAVIS, R. Effects of nitrogen supply on comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 18, p. 17-30, 1988.
- MUNDSTOCK, C. M.; CARVALHO, F. I. F. **Influência do número de plantas por unidade de área sobre o rendimento de grãos e outras características em milho de ciclo longo**. Porto Alegre: UFRGS. Faculdade de Agronomia e Veterinária. Dep. Prod. Vegetal. Seção de Plantas de Lavoura. Trabalho Apresentado na 8ª Reunião Brasileira do Milho. p. 1-23, 1970.
- NESMITH, D. S.; RITCHIE, J. T. Short and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 107-113, 1992.
- OMETO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 440 p.
- PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa* L.)**. Porto Alegre, 1995. 128p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- PANDOLFO, C.; BERGAMASCHI, H.; NABINGER, C. Montagem de células de silício amorfo para medição de radiação fotossinteticamente ativa (PAR - 400 a 700 nm). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8., 1993, Porto Alegre. **Resumos ...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. UFRGS, UFSM, 1993. 211 p., p.94.
- PASSIOURA, J. B. The yield of crops in relation to drought. In: BOOTE, H. J.; BENNETT, J. M. SINCLAIR, T. R. et al. **Physiology and determination of crop yield**, Madison: ASA, ESSA, SSA, 1994. p. 343-359.
- PEIXOTO, C. de M. **Resposta de genótipos de milho à densidade de plantas, em dois níveis de manejo**. Porto Alegre, 1996. 117p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.
- PENDLETON, J. W.; EGLI, D. B.; PETERS, D. B. Response of *Zea mays* L. to a "light rich" field environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 59, n. 4, p. 395-397, 1967.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society**. Serie A, London, v. 193, p. 120-145, 1948
- PENNING de VRIES, F. W. T.; BUNTING, A. H. M.; VAN LAAR, H. H. Products, requirements and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach. **Journal Theoretical Biology**, London, v. 45, p. 339-377, 1974.

- PEREIRA, A. R., MACHADO, E. C.; CAMARGO, M. B. P. de. Solar radiation regime in three cassava (*Manihot esculenta* Crantz) canopies. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 1-10, 1982.
- RESENDE, M.; ALVES, V. M. C.; FRANÇA, G. E.; MONTEIRO, J. A. Manejo de irrigação e fertilizantes na cultura do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 164, p. 26-34, 1990.
- RUGET, F. Présentation d'une méthode simple d'estimation de la contribution des réserves pour le remplissage des grains chez le maïs. **Agronomie**, Paris, v. 11, p. 505-510, 1991.
- RUSSEL, G.; JARVIS, P. G.; MONTEITH, J. L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSEL, G. MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. (Eds.). **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 31-40. (Society for experimental biology seminar series 31).
- SANS, L. M. A.; GAMA, E. G.; OLIVEIRA, A. C. et al. Graus-dia como método de definir naturalização de cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20, 1994, Goiânia. **Resumos ...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 1994. 291 p., p.185.
- SCHULZE, E. D. Carbon dioxide and water vapour exchange in response to drought in the atmosphere and soil. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 37, p. 247-274, 1986.
- SPIERTZ, J. H. L. Physiological and environmental determinants of potential crop productivity. **Proceedings Internacional Potasse Inst. Congress**, 12., 1982. Goslar. p. 27-45.
- STANHILL, G.; FUCHS, M. The relative flux density of photosynthetically active radiation. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v. 14, p. 317-322, 1977.
- STIGTER, C. J.; MUSABILHA, V. M. M. The conservative ratio of photosynthetically active to total radiation in tropics. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v. 19, p. 853-858, 1982.
- STRIUK, P. C. The effects of short and long wave, applied during different stages of growth, on the development, productivity and quality of forage maize (*Zea mays* L.) **Netherland Journal agricultural Science**, Wageningen, v. 31, n. 1, p. 101-124, 1983.
- TANGUILIG, V. C.; YAMBAO, E. B.; O'TOOLE, J. C. et al. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. **Plant and Soil**, Ontario, v. 103, p. 155-168, 1987.

- THOMAS; FUKAI, S. Growth and yield response of barley and chickpea to water stress under three environments in Southeast Queensland. I. Light interception, crop growth and grain yield. **Australian Journal Agricultural Research**, [S. L.], v. 46, p. 17-33, 1995.
- TOLLENAAR, M.; BRUULSEMA, T. W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 4, p. 580-585, 1988.
- TOLLENAAR, M.; HUNTER, R. B. A photoperiod and temperature sensitive period for leaf number of maize. **Crop Science**, Madison, v. 23, n.3, p. 457- 460, 1983.
- TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T. B.; HUNTER, R. B. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. **Crop Science**, Madison, v. 19, n. 3, p. 363-366, 1979.
- UITDEWILLIGEN, W. P. M.. **Estudo comparativo do rendimento de grãos de três cultivares de milho, semeados em quatro épocas, com e sem irrigação**. Porto Alegre, 1971. 91p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1971.
- VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R. Utilisation de l'énergie solaire par une culture de *Vigna sinensis*. III. Evolution du rendement énergétique pendant la phase végétative. **Annales Agronomiques**, Paris, v. 25, n. 6, p. 811-819, 1974.
- VARLET-GRANCHER, C.; CHARTIER, M., GOSSE, G. et al. Rayonnement utile pour la photosynthèse des végétaux em conditions naturelles: caractérisation et variations. **Oecologia Plantarum**, Paris, v. 2, p. 189-202, 1981.
- VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R., CHARTIER, M. et al. Efficience de la conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal. **Oecologia Plantarum**, v. 3, p. 3-26, 1982.
- VARLET-GRANCHER, C., GOSSE, G., CHARTIER, M. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.
- WILLIAMS, W. A., LOOMIS, R. S.; LEPLEY, C. R. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in relation to interception of solar radiation. **Crop Science**, Madison, v. 5, n. 2, p. 211-215, 1965.
- WILLIAMS, W. A.; LOOMIS, R. S.; DUNCAN, W. G. et al. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain yield of corn. **Crop Science**, Madison, v. 8, n, 3, p. 303-308, 1968.



## APÊNDICE I

de Laboratórios de  
RS/SC, 1994)  
em Eldorado

	% Sat. de CTC
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0
	0,0

## 7. APÊNDICES

7.1. Volume e quantidade de água aplicada nas irrigações  
7.2. Temperatura do ar, durante o período experimental  
7.3. Índice de Sal SCS, 1993/96

## APÊNDICE 3 - Balanço

para os tratamentos sem

APÊNDICE 1 - Laudo da análise de solo, segundo a Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos (Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC, 1994) amostrado em 22 de setembro de 1995, na EEA/UFRGS em Eldorado do Sul, RS.

Amostra	Argila %	pH	Índice SMP	P ppm	K ppm	M.O. %	Al me dl <sup>-1</sup>	Ca me dl <sup>-1</sup>	Mg me dl <sup>-1</sup>	CTC me dl <sup>-1</sup>	H+Al me dl <sup>-1</sup>	% Sat. da CTC
1	22	5,7	6,2	12	116	1,9	0,0	1,8	0,5	4,0	1,4	64,4 0,0
2	23	5,5	5,7	12	100	1,8	0,0	1,7	0,4	4,7	2,3	50,1 0,0
3	26	5,6	6,3	12	105	1,9	0,0	2,1	0,7	4,4	1,3	70,2 0,0
4	25	5,4	5,7	8	104	1,7	0,1	1,4	0,5	4,5	2,3	48,0 2,2
5	24	5,7	6,4	13	100	1,8	0,0	1,9	0,6	3,9	1,2	70,0 0,0
6	24	5,7	6,4	30	88	1,8	0,0	3,0	0,8	5,2	1,2	77,3 0,0

APÊNDICE 2 - Data e quantidade de água aplicada nas irrigações realizadas no tratamento I<sub>4</sub>, durante o período experimental na EEA/UFRGS. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Data	Irrigação (mm)
25/11/95	14,1
28/11/95	6,1
05/12/95	18,6
09/12/95	34,3
12/12/95	35,9
17/12/95	40,2
05/01/96	30,2
23/01/96	29,8
16/01/96	23,5
Total	232,7

APÊNDICE 3 - Balanço hídrico quinqüidial (mm dia<sup>-1</sup>), para os tratamentos sem irrigação (I<sub>0</sub>) e com irrigação (I<sub>4</sub>) durante o período experimental, após a emergência do milho, na EEA/UFRGS. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Mês	<sup>(1)</sup>	P <sup>(2)</sup>	ET <sub>0</sub> <sup>(3)</sup>	P - ET <sub>0</sub>	Neg. <sup>(4)</sup>	Arm. <sup>(5)</sup>	Alt. <sup>(6)</sup>	ETR <sup>(7)</sup>	Def. <sup>(8)</sup>	Exc. <sup>(9)</sup>
<b>Tratamento I<sub>0</sub></b>										
Nov.	1	0,00	6,34	-6,34	-18,96	38,87	-3,52	3,52	2,82	0,00
Nov.	2	3,04	4,92	-1,88	-32,85	32,05	0,11	2,93	1,99	0,00
Nov.	3	4,24	5,30	0,70	-26,25	35,39	2,13	3,87	1,43	0,00
Nov.	4	11,66	4,44	5,46	-7,16	45,54	-0,88	3,04	1,40	7,74
Nov.	5	0,00	5,48	0,52	-24,90	36,21	2,16	3,28	2,20	0,55
Nov.	6	7,08	6,02	-4,94	-12,33	42,48	-2,86	3,94	2,08	0,00
Dez.	1	0,00	6,78	-6,78	-44,47	27,46	-2,65	2,65	4,13	0,00
Dez.	2	0,00	7,06	-7,06	-79,77	16,95	-1,72	1,72	5,34	0,00
Dez.	3	0,00	6,72	-6,72	-113,67	10,65	-1,02	1,02	5,70	0,00
Dez.	4	1,32	6,90	-5,58	-140,68	7,34	-0,52	1,84	5,06	0,00
Dez.	5	18,24	4,60	14,56	-31,83	41,06	8,76	3,51	1,09	6,88
Dez.	6	0,87	6,38	-6,28	-20,78	38,08	-3,36	3,46	2,93	0,00
Jan.	1	0,00	5,32	0,60	-43,35	29,10	3,93	1,99	3,33	0,00
Jan.	2	7,40	5,42	-3,94	-14,34	41,18	-2,22	3,70	1,72	0,00
Jan.	3	0,00	4,42	-3,86	-33,39	31,75	-1,78	2,34	2,08	0,00
Jan.	4	5,72	3,22	1,94	-12,24	43,10	2,91	2,25	0,97	0,00
Jan.	5	5,36	4,04	9,24	-10,37	43,73	1,19	2,77	1,27	9,31
Jan.	6	13,77	3,20	6,17	-1,15	49,23	0,00	2,85	0,35	6,52
Fev.	1	4,12	4,96	-3,48	-10,92	43,14	-1,96	3,44	1,52	0,00
Fev.	2	3,32	3,92	-0,36	-18,37	39,22	0,96	2,60	1,32	0,00
Fev.	3	0,24	5,08	-5,08	-24,13	36,13	-2,64	2,64	2,44	0,00
Fev.	4	0,72	4,66	-2,50	-40,79	28,69	-0,74	2,90	1,76	0,00
Fev.	5	3,28	3,86	-1,30	-47,66	26,07	-0,18	2,74	1,12	0,00
Mar.	1	5,40	3,44	1,24	-27,63	34,84	2,17	2,51	0,93	0,00
Mar.	2	0,36	4,14	-3,78	-31,84	32,43	-1,73	2,09	2,05	0,00
<b>Tratamento I<sub>4</sub></b>										
Nov.	1	0,00	6,34	-6,34	-18,96	38,87	-3,52	3,52	2,82	0,00
Nov.	2	3,04	4,92	-1,88	-32,85	32,05	0,11	2,93	1,99	0,00
Nov.	3	4,24	5,30	0,70	-26,25	35,39	2,13	3,87	1,43	0,00
Nov.	4	11,66	4,44	5,46	-7,16	45,54	-0,88	3,04	1,40	7,74
Nov.	5	2,82	5,48	3,34	-20,14	38,48	2,16	3,83	1,65	2,83
Nov.	6	8,29	6,02	-3,73	-8,98	44,43	-2,43	4,07	1,95	0,66
Dez.	1	3,72	6,78	-3,06	-27,65	34,49	-0,24	3,96	2,82	0,00
Dez.	2	6,86	7,06	-0,20	-17,71	39,96	0,91	4,41	2,65	1,54
Dez.	3	7,18	6,72	0,46	-12,88	42,28	-1,28	4,45	2,27	4,01
Dez.	4	9,36	6,90	2,46	-8,16	44,99	0,56	5,21	1,69	3,59
Dez.	5	18,24	4,60	14,56	-5,44	46,87	2,49	3,99	0,61	12,69
Dez.	6	0,87	6,38	-6,28	-20,78	38,08	-3,36	3,46	2,93	0,00
Jan.	1	6,04	5,32	6,64	-31,33	34,49	4,03	2,75	2,57	5,18
Jan.	2	7,40	5,42	-3,94	-13,61	41,59	-2,25	3,73	1,69	0,00
Jan.	3	0,00	4,42	-3,86	-32,67	32,07	-1,80	2,36	2,06	0,00
Jan.	4	5,72	3,22	1,94	-11,77	43,36	2,90	2,26	0,96	0,00
Jan.	5	11,32	4,04	15,20	-3,54	47,73	1,14	3,40	0,64	14,69
Jan.	6	13,77	3,20	6,17	-1,15	49,23	0,00	2,85	0,35	6,52
Fev.	1	4,12	4,96	-3,48	-10,92	43,14	-1,96	3,44	1,52	0,00
Fev.	2	3,32	3,92	-0,36	-18,37	39,22	0,96	2,60	1,32	0,00
Fev.	3	0,24	5,08	-0,38	-17,50	39,78	1,01	2,92	2,16	0,78
Fev.	4	5,42	4,66	-2,50	-8,02	44,91	-1,40	3,56	1,10	0,00
Fev.	5	3,28	3,86	-1,30	-17,34	39,46	-0,52	3,08	0,78	0,00
Mar.	1	5,40	3,44	1,24	-7,43	45,38	1,23	2,76	0,68	0,69
Mar.	2	0,36	4,14	-3,78	-17,02	39,72	-2,12	2,48	1,66	0,00

<sup>(1)</sup> Quinquêndios

<sup>(2)</sup> Precipitação pluvial (Tratamento I<sub>0</sub>) e Precipitação pluvial + irrigação (Tratamento I<sub>4</sub>)

<sup>(3)</sup> Evapotranspiração de referência, pelo método de Penman (1948)

<sup>(4)</sup> Negativo acumulado

<sup>(5)</sup> Armazenamento de água disponível no solo

<sup>(6)</sup> Variação no armazenamento

<sup>(7)</sup> Evapotranspiração real

<sup>(8)</sup> Déficit hídrico

<sup>(9)</sup> Excesso hídrico

<sup>(10)</sup> Dados para I<sub>0</sub> e I<sub>4</sub>

<sup>(11)</sup> I<sub>0</sub> = -271,28 - 1,31 x I<sub>4</sub>

<sup>(12)</sup> I<sub>4</sub> = -3,514,93 + 24,71 x I<sub>0</sub>

APÊNDICE 4 - Dias após emergência (DAE), acúmulo de graus-dia (GD), índice de área foliar (IAF) medido e IAF estimado em função de GD para o milho sem irrigação ( $I_0$ ) e com irrigação ( $I_4$ ), durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

DAE	GD (°C)	IAF medido <sup>(1)</sup>		IAF estimado	
		Tratamentos		Tratamentos	
		$I_0$	$I_4$	$I_0$ <sup>(2)</sup>	$I_4$ <sup>(3)</sup>
7	132,39	0,14 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,00	0,00
14	227,02	0,68 ± 0,07	0,79 ± 0,08	0,46	0,61
21	317,610	0,73 ± 0,11	0,73 ± 0,09	0,92	1,45
28	408,21	1,24 ± 0,22	1,38 ± 0,30	1,33	2,22
35	520,24	1,71 ± 0,18	2,50 ± 0,22	1,80	3,05
42	606,38	2,12 ± 0,40	3,86 ± 0,55	2,11	3,61
48	737,50	2,04 ± 0,42	5,07 ± 0,36	2,53	4,32
56	853,29	2,79 ± 0,48	5,84 ± 0,10	2,84	4,80
63	963,79	3,17 ± 0,34	5,76 ± 0,93	3,07	5,15
70	1071,24	3,33 ± 0,33	5,32 ± 0,81	3,24	5,37
77	1187,10	3,64 ± 0,62	4,87 ± 0,73	3,37	5,48
84	1295,80	3,50 ± 0,67	5,31 ± 1,11	3,43	5,47
91	1403,53	3,49 ± 0,73	4,67 ± 0,67	3,44	5,34
98	1514,39	3,67 ± 1,08	5,07 ± 1,11	3,39	5,09
105	1607,49	3,00 ± 0,51	4,83 ± 1,45	3,31	4,79
112	1723,84	3,07 ± 0,69	4,50 ± 1,32	3,15	4,30
119	1860,64	3,21 ± 0,59	2,81 ± 0,92	2,89	3,55
126	1975,94	2,31 ± 0,37	3,52 ± 1,15	2,60	2,77

<sup>(1)</sup> Dados para IAF medido correspondem a média ± desvio padrão.

<sup>(2)</sup>  $IAF_{GD} = -0,84 + 0,006GD - 2,29 \cdot 10^{-6} GD^2$  ( $r^2 = 0,96$ )

<sup>(3)</sup>  $IAF_{GD} = -1,85 + 0,012GD - 4,86 \cdot 10^{-6} GD^2$  ( $r^2 = 0,90$ )

APÊNDICE 5 - Dias após emergência (DAE), acúmulo de graus-dia (GD), matéria seca aérea (MS) medida e MS estimada em função de GD para o milho sem irrigação ( $I_0$ ) e com irrigação ( $I_4$ ), durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

DAE	GD (°C)	MS medida ( $kg\ ha^{-1}$ ) <sup>(1)</sup>		MS estimada ( $kg\ ha^{-1}$ )	
		Tratamentos		Tratamentos	
		$I_0$	$I_4$	$I_0$ <sup>(2)</sup>	$I_4$ <sup>(3)</sup>
7	132,39	16,13 ± 3,18	18,13 ± 1,85	0	0
14	227,02	93,07 ± 10,98	92,93 ± 7,27	63,30	0
21	317,610	321,33 ± 41,93	348,27 ± 57,67	539,84	1937,39
28	408,21	1111,20 ± 300,45	1454,53 ± 281,09	1181,06	3911,51
35	520,24	2912,27 ± 873,02	6375,73 ± 1425,91	2170,76	6259,15
42	606,38	2568,40 ± 464,51	5493,87 ± 618,24	3056,87	7993,84
48	737,50	2680,13 ± 748,16	10145,03 ± 1122,76	4571,00	10516,60
56	853,29	5952,53 ± 1122,29	14379,33 ± 2931,58	6029,85	12625,95
63	963,79	8510,93 ± 1860,14	18602,13 ± 4929,05	7487,09	14535,07
70	1071,24	10284,40 ± 2817,07	20717,87 ± 2269,13	8928,78	16294,01
77	1187,10	10996,80 ± 2771,80	15320,27 ± 2587,78	10470,50	18082,65
84	1295,80	15197,47 ± 4222,59	28923,20 ± 3476,68	11867,31	19658,70
91	1403,53	13410,80 ± 1712,12	17816,93 ± 3202,83	13168,22	21122,87
98	1514,39	13135,33 ± 816,78	21675,33 ± 2358,80	14383,57	22527,85
105	1607,49	14123,60 ± 1220,52	21207,07 ± 3268,09	15280,08	23627,83
112	1723,84	16347,47 ± 2380,41	28662,13 ± 4148,26	16204,89	24899,63
119	1860,64	18014,80 ± 2778,85	25284,27 ± 3304,50	16958,81	26248,57
126	1975,94	17043,60 ± 3000,77	27838,80 ± 2628,05	17264,67	27262,27

<sup>(1)</sup> Dados para MS medida correspondem a média ± desvio padrão.

<sup>(2)</sup>  $MS_{GD} = -271,28 - 1,57GD + 0,014GD^2 - 4,64 \cdot 10^{-6} GD^3$  ( $r^2 = 0,98$ )

<sup>(3)</sup>  $MS_{GD} = -5.514,93 + 24,76 GD - 0,004GD^2 - 2,86 \cdot 10^{-8} GD^3$  ( $r^2 = 0,94$ )

APÊNDICE 6 - Dias após emergência (DAE), duração da área foliar (DAF), taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa assimilatória líquida (TAL) para o milho com irrigação (I<sub>4</sub>) e sem irrigação (I<sub>0</sub>), durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

DAE	DAF (dias)		TCC (kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )		TAL (kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	
	Tratamentos		Tratamentos		Tratamentos	
	I <sub>0</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>0</sub> <sup>(1)</sup>	I <sub>4</sub> <sup>(2)</sup>	I <sub>0</sub>	I <sub>4</sub>
7	0,49	0,63	10,99 <sup>(3)</sup>	10,69 <sup>(3)</sup>	78,50 <sup>(3)</sup>	59,37 <sup>(3)</sup>
14	2,87	3,40	32,61 <sup>(3)</sup>	36,48 <sup>(3)</sup>	47,96 <sup>(3)</sup>	46,17 <sup>(3)</sup>
21	4,94	5,32	112,84 <sup>(3)</sup>	158,04 <sup>(3)</sup>	154,57 <sup>(3)</sup>	216,49 <sup>(3)</sup>
28	6,90	7,39	119,14	301,12	96,08	218,21
35	10,33	13,58	146,72	298,87	85,80	119,55
42	13,41	22,26	168,42	294,85	79,44	76,39
48	12,48	26,79	182,34	289,98	89,38	57,20
56	19,32	43,64	194,18	281,47	69,60	48,20
63	20,86	40,60	198,24	272,11	62,54	47,24
70	22,75	38,78	196,42	260,98	59,98	49,06
77	24,40	35,67	188,72	248,08	51,85	50,94
84	24,90	35,63	155,68	216,94	44,61	46,45
91	24,47	34,93	130,34	198,71	35,51	39,19
98	25,06	34,09	99,12	178,70	33,04	37,00
105	23,35	34,65	62,02	156,91	20,20	34,87
112	21,25	32,66	19,04	133,35	5,93	47,46
119	21,98	25,59	-	-	-	-
126	19,32	22,16	-	-	-	-

<sup>(1)</sup>  $TCC_{DAE} = -49,98 + 7,72DAE - 0,06DAE^2$

<sup>(2)</sup>  $TCC_{DAE} = 292,37 + 0,82DAE - 0,01812DAE^2$

<sup>(3)</sup> Cálculo com valores observados.

APÊNDICE 7 - Data, radiação solar global (Rs) e razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação solar global (PAR/Rs) para alguns dias durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Data	Rs (MJ m <sup>-2</sup> )	PAR/Rs <sup>(1)</sup>
18 /12/95	24,74	0,54 ± 0,37
19/12/95	28,96	0,43 ± 0,06
20 /12/95	30,09	0,43 ± 0,05
21 /12/95	26,99	0,47 ± 0,08
23 /12/95	12,06	0,54 ± 0,22
24 /12/95	10,28	0,46 ± 0,10
25 /12/95	10,77	0,44 ± 0,09
26 /12/95	18,53	0,41 ± 0,05
27/12/95	24,47	0,41 ± 0,07
28/12/95	24,47	0,41 ± 0,05
29/12/95	28,91	0,43 ± 0,04
30/12/95	28,51	0,44 ± 0,04
31/12/95	27,92	0,43 ± 0,04
01/01/96	29,44	0,44 ± 0,03
02/01/96	29,65	0,42 ± 0,08
03/01/96	30,64	0,34 ± 0,15
04/01/96	25,75	0,29 ± 0,19
05/01/96	5,52	0,39 ± 0,11
06/01/96	27,60	0,34 ± 0,15
07/01/96	26,78	0,35 ± 0,17
08/01/96	25,97	0,32 ± 0,13
09/01/96	28,07	0,33 ± 0,17
10/01/96	17,09	0,41 ± 0,17
15/01/96	13,05	0,49 ± 0,13
16/01/96	19,32	0,43 ± 0,14
17/01/96	9,16	0,46 ± 0,13
18/01/96	16,21	0,39 ± 0,11
19/01/96	15,38	0,39 ± 0,11
Período	-	0,42 ± 0,07

<sup>(1)</sup> Dados da razão PAR/Rs correspondem a média ± desvio padrão, para o referido dia.

APÊNDICE 8 - Data, eficiência de intercepção ( $\epsilon_i$ ) de PAR, desvio padrão, PAR incidente acumulada ( $\Sigma PAR_{inc}$ ), PAR interceptada acumulada ( $\Sigma PAR_{int}$ ), MS estimada e IAF estimado em função de GD para o milho com irrigação ( $I_4$ ) e sem irrigação ( $I_0$ ). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Data	$\epsilon_i$ de PAR <sup>(1)</sup> $\pm$ desvio padrão		$\Sigma PAR_{inc}$ <sup>(2)</sup> (MJ m <sup>-2</sup> )	$\Sigma PAR_{int}$ <sup>(3)</sup> (MJ m <sup>-2</sup> )		MS estimada (kg ha <sup>-1</sup> )		IAF estimado	
	Tratamentos			Tratamentos		Tratamentos		Tratamentos	
	$I_0$	$I_4$	$I_0$	$I_4$	$I_0$ <sup>(4)</sup>	$I_4$ <sup>(5)</sup>	$I_0$ <sup>(6)</sup>	$I_4$ <sup>(7)</sup>	
30/11/95	0,44 $\pm$ 0,05	0,58 $\pm$ 0,04	276,88	122,87	159,25	1301,43	4231,20	1,48	2,48
01/12/95	0,44 $\pm$ 0,18	0,61 $\pm$ 0,09	287,34	126,25	175,64	1455,21	4623,09	1,55	2,60
02/12/95	0,44 $\pm$ 0,18	0,61 $\pm$ 0,09	298,96	131,35	182,75	1598,87	4974,37	1,61	2,72
03/12/95	0,44 $\pm$ 0,18	0,66 $\pm$ 0,11	309,85	136,08	205,88	1740,08	5307,30	1,67	2,83
04/12/95	0,45 $\pm$ 0,20	0,71 $\pm$ 0,08	322,53	145,32	227,52	1872,69	5609,92	1,73	2,94
05/12/95	0,47 $\pm$ 0,18	0,73 $\pm$ 0,09	335,37	159,17	243,97	2014,02	5922,77	1,80	3,05
06/12/95	0,45 $\pm$ 0,12	0,74 $\pm$ 0,08	348,43	155,64	257,09	2170,76	6259,15	1,87	3,18
07/12/95	0,48 $\pm$ 0,16	0,75 $\pm$ 0,09	359,99	173,15	268,85	2356,44	6644,60	1,92	3,27
08/12/95	0,49 $\pm$ 0,16	0,76 $\pm$ 0,09	371,29	181,27	282,69	2495,91	6925,69	1,96	3,34
17/12/95	0,49 $\pm$ 0,15	0,80 $\pm$ 0,17	479,84	233,10	382,35	3924,89	9492,38	2,43	4,14
18/12/95	0,49 $\pm$ 0,13	0,85 $\pm$ 0,05	490,23	240,70	417,57	4145,64	9849,90	2,48	4,24
19/12/95	0,52 $\pm$ 0,14	0,87 $\pm$ 0,04	502,39	259,35	436,51	4372,33	10208,66	2,53	4,32
20/12/95	0,51 $\pm$ 0,14	0,87 $\pm$ 0,04	515,03	262,80	450,36	4571,00	10516,60	2,59	4,41
21/12/95	0,52 $\pm$ 0,13	0,86 $\pm$ 0,09	526,36	274,72	453,34	4828,63	10907,60	2,64	4,50
22/12/95	0,64 $\pm$ 0,12	0,83 $\pm$ 0,10	535,26	340,17	445,99	5063,58	11256,57	2,69	4,57
23/12/95	0,62 $\pm$ 0,10	0,79 $\pm$ 0,09	540,32	333,23	427,39	5271,12	11559,21	2,73	4,64
24/12/95	0,66 $\pm$ 0,11	0,83 $\pm$ 0,10	544,64	361,91	454,43	5472,51	11848,18	2,77	4,69
25/12/95	0,73 $\pm$ 0,04	0,88 $\pm$ 0,03	549,17	398,93	483,24	5659,50	12112,59	2,80	4,75
26/12/95	0,73 $\pm$ 0,08	0,89 $\pm$ 0,03	556,95	407,67	495,82	5847,39	12374,68	2,84	4,80
27/12/95	0,74 $\pm$ 0,07	0,88 $\pm$ 0,04	567,23	419,16	500,61	6029,85	12625,95	2,87	4,85
28/12/95	0,79 $\pm$ 0,07	0,91 $\pm$ 0,03	577,50	458,33	528,24	6211,52	12873,09	2,90	4,91
29/12/95	0,79 $\pm$ 0,08	0,91 $\pm$ 0,03	589,64	468,17	539,33	6412,32	13142,93	2,94	4,96
30/12/95	0,80 $\pm$ 0,08	0,92 $\pm$ 0,03	601,62	481,36	550,73	6617,70	13415,50	2,97	5,00
31/12/95	0,81 $\pm$ 0,09	0,92 $\pm$ 0,03	613,35	493,86	565,08	6812,00	13670,35	3,00	5,05
01/01/96	0,79 $\pm$ 0,09	0,92 $\pm$ 0,03	625,71	494,39	572,85	7023,91	13945,13	3,04	5,10
02/01/96	0,68 $\pm$ 0,22	0,88 $\pm$ 0,08	638,16	437,04	563,72	7256,31	14242,88	3,07	5,15
03/01/96	0,55 $\pm$ 0,33	0,86 $\pm$ 0,07	651,03	360,72	558,78	7487,09	14535,07	3,10	5,19
04/01/96	0,62 $\pm$ 0,17	0,74 $\pm$ 0,15	661,85	408,31	489,42	7735,10	14845,44	3,13	5,22
05/01/96	0,78 $\pm$ 0,09	0,90 $\pm$ 0,04	664,17	515,74	597,55	7913,76	15066,82	3,15	5,25
06/01/96	0,80 $\pm$ 0,09	0,91 $\pm$ 0,04	675,76	542,08	613,19	8079,20	15270,27	3,17	5,28
07/01/96	0,74 $\pm$ 0,13	0,88 $\pm$ 0,05	687,00	510,85	604,31	8259,01	15489,78	3,19	5,31
08/01/96	0,77 $\pm$ 0,13	0,89 $\pm$ 0,06	697,91	535,98	620,55	8467,66	15742,50	3,22	5,34
09/01/96	0,81 $\pm$ 0,06	0,88 $\pm$ 0,06	709,70	575,80	624,81	8702,11	16024,06	3,24	5,37
10/01/96	0,81 $\pm$ 0,07	0,89 $\pm$ 0,07	716,88	580,05	635,04	8928,78	16294,01	3,34	5,46
15/01/96	0,85 $\pm$ 0,04	0,93 $\pm$ 0,03	758,62	646,78	702,87	10063,07	17616,71	3,36	5,47
16/01/96	0,76 $\pm$ 0,14	0,83 $\pm$ 0,13	766,73	585,80	639,24	10278,85	17863,96	3,37	5,48
17/01/96	0,83 $\pm$ 0,05	0,91 $\pm$ 0,04	770,58	643,30	698,23	10470,50	18082,65	3,38	5,48
18/01/96	0,84 $\pm$ 0,03	0,90 $\pm$ 0,03	777,39	649,60	702,10	10646,21	18282,46	3,39	5,49
19/01/96	0,81 $\pm$ 0,06	0,89 $\pm$ 0,06	783,85	638,20	695,11	10825,67	18485,92	3,40	5,49

<sup>(1)</sup>  $\epsilon_i = 1 - CT$

<sup>(2)</sup>  $\Sigma PAR_{inc} = Rs * 0,42$

<sup>(3)</sup>  $\Sigma PAR_{int} = \Sigma PAR_{inc} * \epsilon_i$

<sup>(4)</sup>  $MS_{GD} = -271,28 - 1,57 * GD + 0,014 * GD^2 - 4,64 * 10^{-6} * GD^3$  ( $r^2 = 0,98$ )

<sup>(5)</sup>  $MS_{GD} = -5514,93 + 24,76 * GD - 0,004 * GD^2 - 2,86 * 10^{-8} * GD^3$  ( $r^2 = 0,94$ )

<sup>(6)</sup>  $IAF_{GD} = -0,84 + 0,0063 * GD - 2,29 * 10^{-6} * GD^2$  ( $r^2 = 0,96$ )

<sup>(7)</sup>  $IAF_{GD} = -1,85 + 0,0119 * GD - 4,86 * 10^{-6} * GD^2$  ( $r^2 = 0,90$ )

APÊNDICE 9 - Análise de variância para rendimento de grãos e produção de matéria seca aérea (MS) em milho, para os tratamentos com irrigação (I<sub>4</sub>) e sem irrigação (I<sub>0</sub>). Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Variável Dependente: Grãos

Causas de variação	GL	Soma de quadrado	Quadrado médio	Valor F	Pr > F
Tratamento	1	6.009.350,40	6.009.350,40	2,61ns	0,1446
Erro	8	18.391.939,20	2.298.992,40		
Total Corrigido	9	24.401.289,60			

ns = não significativo a 5%

Variável Dependente: MS

Causas de variação	GL	Soma de quadrado	Quadrado médio	Valor F	Pr > F
Tratamento	1	291.338.699,00	291.338.699,00	36,62**	3,1·10 <sup>-4</sup>
Erro	8	63.644.112,30	7.955.514,04		
Total Corrigido	9	354.982.811,00			

\*\* = significativo a 1%

APÊNDICE 10 - Data e coeficiente de extinção (k) para o milho sem irrigação (I<sub>0</sub>) e com irrigação (I<sub>4</sub>), em alguns dias durante o período experimental. Eldorado do Sul, RS, 1995/96.

Data	Tratamentos <sup>(1)</sup>	
	I <sub>0</sub>	I <sub>4</sub>
03/12/95	0.59 ± 0.43	0.69 ± 0.28
04/12/95	0.59 ± 0.43	0.76 ± 0.19
06/12/95	0.59 ± 0.43	0.80 ± 0.14
08/12/95	0.61 ± 0.38	0.78 ± 0.16
17/12/95	0.74 ± 0.20	0.98 ± 0.01
19/12/95	0.63 ± 0.35	0.86 ± 0.08
21 /12/95	0.68 ± 0.27	0.98 ± 0.01
24 /12/95	0.98 ± 0.01	0.98 ± 0.01
27/12/95	0.79 ± 0.15	0.87 ± 0.07
29/12/95	0.79 ± 0.15	0.87 ± 0.07
02/01/96	0.73 ± 0.22	0.91 ± 0.05
04/01/96	0.59 ± 0.42	0.83 ± 0.12
07/01/96	0.67 ± 0.30	0.78 ± 0.17
09/01/96	0.75 ± 0.21	0.90 ± 0.06
10/01/96	0.86 ± 0.09	0.95 ± 0.02
16/01/96	0.87 ± 0.08	0.92 ± 0.04
18/01/96	0.91 ± 0.05	0.95 ± 0.03
Período	0.73 ± 0.12	0.87 ± 0.08

<sup>(1)</sup> Dados do coeficiente de extinção (k) correspondem a média ± desvio padrão, para o referido dia.