

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

PARÂMETROS BIOCLIMÁTICOS E RESPOSTAS DA CANOLA AO AMBIENTE  
FÍSICO

Astor Henrique Nied  
Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia/UFSM

Tese apresentada como um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia  
Ênfase em Agrometeorologia

Porto Alegre (RS), Brasil  
Julho de 2013

## CIP - Catalogação na Publicação

Nied, Astor Henrique

Parâmetros bioclimáticos e respostas da canola ao ambiente físico / Astor Henrique Nied. -- 2013.  
136 f.

Orientador: Homero Bergamaschi.

Coorientador: Genei Antonio Dalmago.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. Brassica napus. 2. modelagem. 3. fenologia. 4. crescimento. 5. rendimento de grãos. I. Bergamaschi, Homero, orient. II. Dalmago, Genei Antonio, coorient. III. Título.

ASTOR HENRIQUE NIED  
Engenheiro Agrônomo - UFSM  
Mestre em Agronomia - UFSM

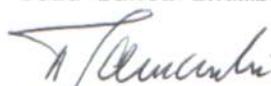
## TESE

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### DOUTOR EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 12.07.2013  
Pela Banca Examinadora

  
HOMERO BERGAMASCHI  
Orientador - PPG Fitotecnia

  
GENEL ANTONIO DALMAGO  
Coorientador - EMBRAPA Trigo

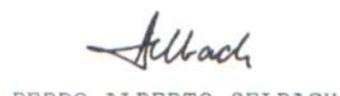
  
BENISE CYBIS FONTANA  
PPG Fitotecnia

  
ARNO BERNARDO HELOWEIN  
UFSM

  
GILBERTO ROCCA DA CUNHA  
EMBRAPA Trigo  
Passo Fundo/RS

Homologado em: 02 SET 2013  
Por

  
GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia

  
PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade  
de Agronomia

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida, esperança e pela família. Agradeço aos valores transmitidos pelos meus pais, Arno (*in memoriam*) e Amanda, que acreditaram e me apoiaram aos estudos. Agradeço à minha esposa e companheira Marta, que também contribuiu neste trabalho e ainda me abençoou neste ano com nosso primeiro filho, o Gustavo, nosso guri. Agradeço ao Sr. Marino e à Sra. Glaci pelo apoio durante esta jornada. A todos os familiares agradeço, em especial ao Sérgio, à Asta e ao Cristian.

Agradeço ao Professor Homero pela amizade, sinceridade, entusiasmo e firmeza na orientação. Agradeço ao Dr. Genei pela orientação e pelo exemplo de profissionalismo, diante dos desafios que a vida nos reserva e sobre os quais nós, humanos, não temos controle. Agradeço à Professora Denise pela participação na comissão de orientação e pela alegria com que conduz seu trabalho. Durante o período deste trabalho, além das questões técnicas da pesquisa, meus orientadores estiveram preocupados com a formação crítica de um profissional, que deve estar comprometido com questões da Sociedade.

Agradeço aos Professores Paulo Vitor e Gilmar Marodin, coordenadores do Programa Pós-Graduação em Fitotecnia, neste período e, pelos quais, agradeço a todos os Professores que atuam no Programa, como de outros Programas da UFRGS que ofereceram disciplinas em que participei. Ao convívio amigável, alegre e profissional dos Professores Renato, Ricardo e Berlato. Às orientações

dos Professores Riboldi e Alessandro, em Estatística. À Marisa pelo apreço e cuidado com todos os trâmites legais. À dona Kátia pela amizade. Aos colegas Rambo, Marinez e Raimundo pelas estadias.

Aos colegas Ana Paula, Daniele, Francisco, Morgana, Loana, Amanda, Bruno, Viviane, Eliana, Pedro pela amizade e ajuda recíproca, mesmo que com opiniões divergentes. Ao Elizandro, em especial, pela ajuda e ensinamentos de culinária, que devemos fazer para nós mesmos. Pela compreensão e espírito solidário da Leosane, na substituição de bolsa.

Aos pesquisadores da Embrapa, Anderson, Gilberto e Mauricio. Ao Douglas, Élisson, Cristian, Aldemir, Sampaio e Carla pela amizade e empenho na condução dos trabalhos. Aos bolsistas e estagiários da EMBRAPA, ao Alexandre, Tiago, Elizandro, Laise, Samuel e ao Diego.

Às Instituições que viabilizaram este trabalho. Inicialmente à UNEMAT, por permitir, mesmo que em partes, a participação na qualificação. À UFRGS, ao PPG Fitotecnia por acreditar e oportunizar a formação qualificada de recursos humanos numa área que envolve a segurança alimentar do Brasil e por permitir vínculo de aluna visitante à minha esposa. À EMBRAPA, por aceitar o desafio em integrar instituições para realizar pesquisa aliada à formação de recursos humanos. Ao CNPq e ao PPG Fitotecnia, pela concessão de bolsa e por custear despesas de execução do projeto de pesquisa.

Para finalizar, agradeço à Sociedade, ao povo do Mato Grosso, aos alunos da UNEMAT que compreenderam e valorizaram meu empenho, reconhecendo publicamente o trabalho, por mais simples que ele seja.

# PARÂMETROS BIOCLIMÁTICOS E RESPOSTAS DA CANOLA AO AMBIENTE FÍSICO<sup>1</sup>

Autor: Astor Henrique Nied

Orientador: Dr. Homero Bergamaschi

Co-orientador: Dr. Genei Antonio Dalmago

## RESUMO

Embora a expansão do cultivo da canola seja expressiva, no Sul do Brasil, poucos são os estudos envolvendo a fenologia e o crescimento das plantas, visando ampliar conhecimentos relativos à elaboração do rendimento de grãos, em resposta ao ambiente físico. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar a fenologia e o crescimento da canola, visando ajustar parâmetros bioclimáticos e avaliar respostas da cultura às variações do ambiente físico. Experimentos de campo foram conduzidos em 2009, 2010 e 2011, com diferentes genótipos de canola semeados de abril a julho, em delineamento de blocos ao acaso. Foram avaliadas as seguintes variáveis: datas dos principais estádios fenológicos, índice de área foliar, matéria seca de hastes, folhas, flores, síliquas e grãos, componentes e rendimento de grãos e parâmetros de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). A partir de dados meteorológicos, foram calculados balanços hídricos climatológicos e necessidade térmica da cultura (graus-dia), para cada ano e data de semeadura. A necessidade térmica variou durante o ciclo e subperíodos da cultura, em função de genótipos e datas de semeadura. A canola apresentou menor índice de área foliar quando semeada em abril e maio, porém, a longevidade do índice de área foliar foi maior do que em semeaduras de junho e julho. Hastes, flores e síliquas interceptaram a maior parte da radiação solar fotossinteticamente ativa após a ocorrência do máximo índice de área foliar. O coeficiente de extinção da cultura para RFA foi de 0,98. A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa variou de 1,9 a 2,8 g MJ<sup>-1</sup>, sendo mais elevada nos ambientes com baixos excessos hídricos, nos quais a cultura também expressou seus maiores rendimentos de grãos. O acúmulo de biomassa da parte aérea das plantas, ao longo do ciclo, não foi limitante à elaboração do rendimento de grãos. O híbrido Hyola 61 apresentou rendimento de grãos superior e mais estável, em diferentes ambientes, do que o Hyola 432. Semeaduras mais precoces, em abril e maio, apresentam maior potencial rendimento de grãos que as tardias, realizadas em junho e julho.

---

<sup>1</sup> Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (136 p.) Julho, 2013.

# BIOCLIMATIC PARAMETERS AND RESPONSES OF CANOLA TO THE PHYSICAL ENVIRONMENT<sup>1</sup>

Author: Astor Henrique Nied  
Adviser: Dr. Homero Bergamaschi  
Co-adviser: Dr. Genei Antonio Dalmago

## ABSTRACT

Although the expansion of rapeseed crops is expressive in Southern Brazil, there are few studies on phenology and growth of plants, aiming to amplify knowledge on the elaboration of the grain yield, in response to the physical environment. This study aimed to evaluate the phenology and growth of rapeseed plants, aiming to adjust bioclimatic parameters and to evaluate crop responses to variations in the physical environment. Field experiments were conducted in 2009, 2010 and 2011, with different genotypes of rapeseeds sown from April to July, in a randomized complete blocks design. The following variables were evaluated: dates of the main phenological stages, leaf area index, dry matter of stems, leaves, flowers, seedpods and grains, grain yield and its components, and interception parameters of photosynthetically active radiation (PAR). From daily meteorological data, climate water balances and thermal requirements of the crop (degree-days) were calculated, for each year and sowing date. The thermal requirements varied during the crop cycle and sub-periods for different genotypes and sowing dates. The lower leaf area index occurred when the crop was sown in April and May, but the longevity of the leaf area index was higher than in the latest sowing dates (June and July). Most of the incident photosynthetically active radiation was intercepted by stems, flowers and seedpods, after the occurrence of the maximum leaf area index. The extinction coefficient of the crop for RFA was 0.98. The use efficiency of photosynthetically active radiation ranged from 1.9 to 2.8 g MJ<sup>-1</sup>, being higher in environments with low water excesses, in which the crop also expressed the highest grain yields. The accumulation of aboveground biomass of plants, throughout the crop cycle, did not limit the grain yields. The hybrid Hyola 61 had higher and more stable grain yields than the Hyola 432, for different environments. The earliest sowing dates, in April and May, promoted the greatest grain yield, compared to the latest ones, held in June and July.

---

<sup>1</sup> Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (136 p.) July, 2013.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1 A cultura da canola .....	5
2.2 Crescimento e fenologia da canola.....	7
2.3 Efeitos da temperatura do ar .....	10
2.4 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA).....	15
2.4.1 Coeficiente de extinção da RFA .....	16
2.4.2 Eficiência de uso da RFA .....	19
2.5 Disponibilidade hídrica.....	20
2.6 Rendimento de grãos .....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	28
3.1 Delineamento experimental .....	28
3.2 Manejo e tratos culturais.....	29
3.3 Variáveis meteorológicas.....	31
3.4 Avaliações fenológicas .....	35
3.5 Avaliações fenométricas .....	36
3.6 Radiação solar fotossinteticamente ativa .....	38
3.7 Componentes e rendimento de grãos.....	42
3.8 Análises estatísticas .....	43
3.8.1 Necessidades térmicas .....	44
3.8.2 Modelagem do índice de área foliar (IAF) .....	44
3.8.3 Coeficiente de extinção (k).....	45
3.8.4 Eficiência do uso da radiação (EUR).....	45
3.8.5 Repartição da matéria seca.....	46
3.8.6 Componentes e rendimento de grãos .....	46

	Página
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
4.1 Condições meteorológicas dos períodos experimentais.....	47
4.2 Necessidade térmica da canola.....	52
4.3 Ajuste de modelos do índice de área foliar.....	63
4.4 Ajuste de modelo energético .....	73
4.5 Repartição da matéria seca.....	86
4.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento de grãos .....	94
4.7 Considerações finais .....	104
5 CONCLUSÕES .....	106
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	108
7 APÊNDICES.....	118

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Estádios fenológicos da canola, adaptados de CETIOM (Fonte: Iriarte & Valetti, 2008).....	36
2. Estatísticas descritivas e correlações de Pearson para temperatura máxima (Tx), média (Tm) e mínima (Tn) do ar, precipitação pluvial, umidade relativa do ar (UR) e duração do brilho solar (insolação) decenal de abril a novembro de 2009, 2010 e 2011 e respectivas médias climatológicas da série de 1961 a 1990 de Passo Fundo, RS. ....	48
3. Acúmulo de graus-dia nos principais subperíodos de desenvolvimento de genótipos de canola e de Brassica juncea L., em diferentes datas de semeadura, no ano de 2009. Passo Fundo, RS. ....	53
4. Acúmulo de graus-dia nos principais subperíodos de desenvolvimento da cultura da canola em diferentes datas de semeadura e genótipos, no ano de 2010. Passo Fundo, RS.....	54
5. Acúmulo de graus-dia nos principais subperíodos de desenvolvimento da cultura da canola em diferentes datas de semeadura e genótipos, no ano de 2011. Passo Fundo, RS.....	55
6. Massa de matéria seca ( $\text{g m}^{-2}$ ) de hastes, folhas, flores, síliquas, grãos e total da parte aérea de plantas de canola, dos genótipos Hyola 61 (H. 61) e Hyola 432 (H. 432), acumulada até e após o florescimento pleno (MSTF e MSTR) e até a colheita dos grãos (MSTM e MSTp), com respectivas frações da matéria seca total e índice de colheita (IC), para quatro datas de semeadura no ano de 2010. Passo Fundo, RS. ....	87
7. Massa de matéria seca ( $\text{g m}^{-2}$ ) de hastes, folhas, flores, síliquas, grãos e total da parte aérea de plantas de canola, dos genótipos Hyola 61 (H. 61) e Hyola 432 (H. 432), acumulada até e após o florescimento pleno (MSTF e MSTR) e até a colheita dos grãos (MSTM e MSTp), com respectivas frações da matéria seca total e índice de colheita (IC), para quatro datas de semeadura no ano de 2011. Passo Fundo, RS. ....	88

8. Densidade de plantas (DP), massa de 1.000 grãos (MMG), número de siliquas por planta (NSP), número de grãos por síliqua (NGS), matéria seca total do dossel (MSTM), matéria seca total por planta (MSTp), índice de colheita (IC) e coeficiente de variação (CV) dos genótipos de canola Hyola 61, Hyola 432, Hyola 43 e Hyola 60 e de Brassica juncea, híbrido Q6501 (padrão canola), em duas datas de semeadura no ano de 2009. Passo Fundo, RS..... 98
9. Densidade de plantas (DP), número de siliquas por planta (NSP) e número de siliquas por metro quadrado (NSM), massa de 1000 grãos (MMG), número de grãos por síliqua (NGS), número de grãos por metro quadrado (NGM) e coeficiente de variação (CV) dos genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432, em quatro datas de semeadura, nos anos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS..... 100

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Média móvel de cinco dias para o excesso hídrico estimado por balanço hídrico diário, de abril a dezembro nos anos de 2009, 2010 e 2011, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo-RS. ....	49
2. Média móvel de cinco dias para a razão entre evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração de referência (ETo) (ETr/ETo), segundo balanço hídrico diário, de abril a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo-RS. ....	50
3. Média móvel de cinco dias para evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração real (ETr) e déficit hídrico, obtidos em balanço hídrico diário, de abril a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.....	51
4. Modelos de ajuste do índice de área foliar (IAF) dos genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432, em função do acúmulo térmico (graus-dia), nas semeaduras de 29/04 (D1), 13/05 (D2), 03/06 (D3) e 08/07 (D4) no ano de 2010. Passo Fundo, RS.....	65
5. Modelos de ajuste do índice de área foliar (IAF) do Hyola 432 (H432), em função do acúmulo térmico (graus-dia), nas semeaduras de 19/05 (D1), 10/06 (D2), 05/07 (D3) e 26/07 (D4) no ano de 2011. Passo Fundo, RS. .	66
6. Modelos de ajuste do índice de área foliar (IAF) do Hyola 61 (H61), em função do acúmulo térmico (graus-dia), nas semeaduras de 19/05 (D1), 10/06 (D2), 05/07 (D3) e 26/07 (D4) no ano de 2011. Passo Fundo, RS. .	67
7. Eficiência de interceptação da radiação solar fotossintenticamente ativa e massa da matéria seca de diferentes estruturas vegetativas e reprodutivas, e índice de área foliar e estatura planta dos genótipos de canola Hyola 61 (H61) e Hiola 432 (H432), semeados em 05/07 do ano de 2011. Passo Fundo, RS.....	74

	Página
8. Coeficiente de extinção (k) médio, representado pelo coeficiente angular da regressão linear entre a radiação fotossinteticamente ativa não interceptada ( $1 - \epsilon_i$ ) e o índice de área foliar para os genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432 nas datas de semeadura dos anos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.....	78
9. Coeficiente de extinção (k), representado pelo coeficiente angular da regressão linear entre a radiação fotossinteticamente ativa não interceptada ( $1 - \epsilon_i$ ) e o índice de área foliar para os genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432 nas semeaduras de 29/04 (1), 13/05 (2), 03/06 (3) e 08/07 (4) do ano 2010 (a) e 19/05 (1), 10/06 (2), 05/07 (3) e 26/07 (4) do ano de 2011 (b). Passo Fundo, RS. ....	80
10. Eficiência do uso da radiação (EUR), representado pelo coeficiente angular da regressão linear entre a matéria seca total (MST) e o acúmulo da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA <sub>i</sub> ) pela canola nas semeaduras de Hyola 61 em 29/04 (1), 13/05 (2), 03/06 (3) e 08/07 (4) em 2010 (a) e de Hyola 61 e Hyola 432 nas semeaduras de 19/05 (1), 10/06 (2), 05/07 (3) e 26/07 (4) do ano de 2011 (b). Passo Fundo, RS.....	82
11. Rendimentos de grãos dos genótipos de canola Hyola 61, Hyola 432, Hyola 43 e Hyola 60 ( <i>Brassica napus</i> ) e de <i>Brassica juncea</i> híbrido Q6501 (padrão canola) em duas datas de semeadura, no ano de 2009. Passo Fundo, RS. ....	95
12. Rendimentos de grãos dos genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432 ( <i>Brassica napus</i> ) em quatro datas de semeadura, nos anos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.....	96

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Dosagens de adubo e momentos de aplicação nos experimentos dos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS. ....	118
2. Resultados* das análises químicas de solo das áreas de instalação dos experimentos com canola em diferentes camadas de solo nos anos de 2009, 2010 e 2011 em Passo Fundo-RS.....	119
3. Localização dos experimentos, nos municípios de Passo Fundo e Coxilha, RS, conduzidos em 2009, 2010 e 2011. Adaptado de Google Earth®, 2012.....	120
4. Atributos físicos do solo, em diferentes camadas, dos locais de realização dos experimentos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.....	121
5. Relações entre a eficiência de interceptação e da absorção da radiação fotossinteticamente ativa na canola e a relação entre a radiação solar global e a fotossinteticamente ativa incidente nos anos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.....	122
6. Representação dos coeficientes que expressam o <i>IAF</i> máximo ( <i>a</i> ), a necessidade térmica para o <i>IAF</i> máximo ( <i>b</i> ) e a longevidade do <i>IAF</i> ( <i>c</i> ) do modelo não-linear para a estimativa do índice de área foliar em função do acúmulo térmico ( <i>GD</i> ) na canola em Passo Fundo-RS, 2013.....	123
7. Número de eventos de geadas fraca, moderada e forte, de maio a setembro (4 a 9) de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo-RS.....	124
8. Média móvel de cinco dias para evapotranspiração real ( <i>ET<sub>r</sub></i> ) obtida em balanço hídrico diário de maio a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo ( <i>SE-IF</i> ), do florescimento ( <i>IF-FF</i> ) e de maturação da cultura da canola ( <i>FF-G5</i> ), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.....	125
9. Média móvel de cinco dias de evapotranspiração de referência ( <i>ET<sub>o</sub></i> ) calculada pelo método de Penman-Montheith de maio a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo ( <i>SE-IF</i> ), do florescimento ( <i>IF-FF</i> ) e de maturação da cultura da canola ( <i>FF-G5</i> ), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS. ....	126

10. Média móvel de cinco dias do déficit hídrico obtido do balanço hídrico diário de maio a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS..... 127
11. Duração, em número de dias, para diferentes subperíodos de desenvolvimento de genótipos de padrão canola, por datas de semeadura, no ano de 2009. Passo Fundo, RS..... 128
12. Duração, em número de dias, para diferentes subperíodos de desenvolvimento de genótipos de padrão canola, por datas de semeadura, no ano de 2010. Passo Fundo, RS..... 129
13. Duração, em número de dias, para diferentes subperíodos de desenvolvimento de genótipos de padrão canola, por datas de semeadura, no ano de 2011. Passo Fundo, RS..... 130
14. Modelos de acúmulo de graus-dia ( $^{\circ}\text{C dia}$ ) em função de dias após a emergência, em diferentes datas de semeadura (D1, D2, D3, D4), nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS..... 131
15. Médias decendiais de radiação solar global ( $R_g$ ,  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) e temperatura do ar ( $T_m$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) de abril a novembro de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS..... 132
16. Modelos de ajuste não linear do índice de área foliar (IAF) para o genótipo de canola Hyola 61 (H61) em função do acúmulo térmico (GD) no ciclo das quatro datas de semeadura (D) no ano de 2011. Passo Fundo, RS. .... 133
17. Correlações de Pearson entre caracteres de rendimento de grãos e de acúmulo e repartição da matéria seca das plantas de canola nos experimentos de 2010 e de 2011. Passo Fundo, RS. .... 134
18. Anomalias (% e GD total) nas estimativas do acúmulo térmico pelos métodos residual e graus-dia para os meses de abril a novembro de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS..... 135
19. Relação entre a radiação global medida na estação meteorológica automática com a estimada pela equação de Ångström-Prescott (Equação 7) nos decêndios dos meses de abril a novembro dos anos de 2010 e de 2011. Passo Fundo, RS..... 136

## 1 INTRODUÇÃO

As perspectivas de incremento no cultivo de canola (*Brassica napus* L. var. oleifera) na Região Sul do Brasil têm aumentado, devido à liquidez da produção, atrelada a um processo produtivo que garante preços equivalentes aos da soja, que é a principal oleaginosa produzida no País. Neste sentido, também contribui o crescimento na demanda de óleos vegetais de elevada qualidade para o mercado de alimentos e biodiesel. Além da extração de óleo dos grãos, o farelo de canola é um subproduto que apresenta qualidade adequada ao mercado da alimentação animal, como componente na produção de rações.

A produção de canola tende a se elevar em função do aumento na demanda de alimentos e biocombustíveis e pela disponibilidade de dois terços das áreas ociosas para cultivo, sem competir com a cultura do trigo ou com espécies de primavera-verão. O cultivo de canola estimula os agricultores à prática da rotação de culturas, por propiciar retorno econômico e permitir o aproveitamento do maquinário disponível na propriedade, sem maiores investimentos. Os aspectos já mencionados estimularam os agricultores e a cadeia produtiva de oleaginosas a realizarem investimentos no cultivo comercial da cultura. Porém, seu cultivo vem sendo respaldado por conhecimentos limitados quanto às necessidades bioclimáticas da canola ou por conhecimentos adaptados de outras culturas.

Os genótipos cultivados a partir do início dos anos 2000 apresentam maior resistência às doenças e potenciais de rendimentos de grãos mais elevados, em comparação às cultivares de colza da década de 1980. Contudo, os rendimentos de grãos das lavouras de canola, no Brasil, apresentaram variação de 680 a 1.503 kg ha<sup>-1</sup>, entre os anos de 1998 a 2008, embora os genótipos cultivados tenham potencial para 4.500 kg ha<sup>-1</sup>. Esta amplitude de variação no rendimento de grãos, entre anos, indica que existe a necessidade de gerar conhecimentos para compreender melhor os processos e fatores envolvidos, que limitam a expressão do rendimento de grãos da canola.

Sendo uma cultura de estação fria, a demanda evaporativa da atmosfera é menor durante o ciclo da canola do que nos cultivos de primavera-verão, embora a precipitação pluvial seja semelhante entre as épocas. Esta diferença climática é importante, pois os riscos de frustrações de safras devido à deficiência hídrica tendem a ser menores em canola do que em cultivos de primavera-verão.

O conhecimento de necessidades térmicas da cultura, para diferentes épocas de semeadura e locais, proporciona maior segurança no planejamento de cultivo. Uma vez conhecida a necessidade térmica para atingir determinado estágio fenológico é possível estimar a sua ocorrência, a partir de registros de temperatura do ar.

A temperatura do ar afeta os processos biológicos, de um modo geral. Nas plantas, ela determina a evolução da área foliar, ao longo do ciclo de uma cultura. Assim, também, o índice de área foliar pode ser estimado a partir de dados de temperatura do ar. Desta forma, a modelagem do crescimento da área foliar, pelo critério de tempo térmico (graus-dia) como variável independente, poderá evidenciar respostas das plantas às condições do ambiente de cultivo.

A radiação solar fotossinteticamente ativa também é fator fundamental, em particular, à fotossíntese. Assim, a produção de biomassa pelas plantas depende da interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa. Com isto, a partir de relações entre a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa e a produção de matéria seca pelas plantas, pode-se inferir sobre o potencial produtivo de uma cultura e identificar possíveis causas de variação no rendimento de grãos.

O conhecimento dos processos envolvidos no crescimento e fenologia da canola, no âmbito das relações clima-plantas, é fundamental para adequar o calendário de semeadura, a fim de explorar o potencial de rendimento de grãos. A partir daí, é possível dar suporte a estudos e aplicações mais adequados às necessidades das culturas, como é o caso do zoneamento agrícola de risco climático.

Este trabalho se baseou nas seguintes hipóteses:

- A necessidade térmica para o desenvolvimento fenológico da canola não varia entre os diferentes ambientes de cultivo do Sul do Brasil;
- A evolução do índice de área foliar apresenta dependência exclusiva do acúmulo térmico durante o ciclo da canola;
- A utilização da radiação solar pela canola varia em função dos ambientes de cultivo;
- O crescimento das plantas e o rendimento de grãos de canola variam em resposta as diferenças do ambiente de cultivo;

O objetivo principal deste trabalho foi ajustar parâmetros bioclimáticos e ecofisiológicos da canola que sirvam de base à modelagem de crescimento, fenologia e rendimento de grãos.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Determinar as necessidades térmicas no ciclo e subperíodos da canola, para condições de cultivo do Sul do Brasil;
- Ajustar modelos para descrever a evolução do índice de área foliar da canola em função da soma térmica (graus-dia);
- Ajustar modelos para estimar a produção de matéria seca em canola, em função da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada;
- Determinar efeitos de ambientes de cultivo sobre a produção de biomassa e o rendimento de grãos da canola.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A cultura da canola

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) é da família Brassicaceae, derivada do cruzamento entre as espécies *Brassica rapa* e a *Brassica oleracea*, sendo que o centro de origem de *B. napus* é o sudeste da Europa (Thomas, 2003; Iriarte & Valetti, 2008; Edwards & Hertel, 2011). Plantas do gênero *Brassica* sp. são herbáceas e anuais, em sua maioria, com folhas inteiras ou, mais frequentemente, compostas, alternas e sem estípulas. As flores são reunidas em inflorescências e se localizam na parte superior da planta. Os frutos são secos, do tipo síliqua, e apresentam um falso septo originado das duas metades do ovário, com vários grãos. A maturação das síliquas ocorre da base para o ápice da planta (Joly, 1993).

A cultura se destina à produção de grãos para produzir óleo vegetal (45 a 52 %), sendo que o resíduo da extração do óleo pode ser destinado à alimentação animal, pelo elevado teor de proteína. A canola é a terceira maior cultura em termos de expressão na produção de óleo vegetal no mundo, sendo superada apenas pela soja e pela palma (Iriarte & Valetti, 2008; UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, 2013).

Em conjunto, os países da União Européia apresentam a maior produção de grãos de canola. Individualmente, o Canadá e a China são os países de maior produção no mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE –

USDA, 2013). De 2009 a 2013, a área cultivada com canola no Brasil passou de 30.917 ha para 43.800 ha. Ela se concentra nos estados do Sul, especialmente no Rio Grande do Sul, com 65 % da área cultivada no Brasil em 2012. Os Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul apresentaram 12.900 e 2.300 ha cultivados em 2012, respectivamente (Conab, 2010; Conab, 2013).

A canola apresenta genótipos denominados de primavera e de inverno, de forma semelhante aos cereais de inverno. Os genótipos de inverno requerem a acumulação de baixas temperaturas do ar durante o período vegetativo, para o processo de vernalização, pelo qual são induzidas ao florescimento (Iriarte & Valetti, 2008; Friedt & Snowdon, 2009). Em geral, esses genótipos apresentam rendimento de grãos mais elevados do que as de primavera (Thomas, 2003). Os genótipos de inverno são cultivados, predominantemente, na Europa e Ásia (Friedt & Snowdon, 2009). Em regiões temperadas, a semeadura da canola de inverno é efetuada no outono, para que possam ter 4 a 6 semanas com temperatura média do ar entre 0 e 7°C, no período vegetativo (Iriarte & Valetti, 2008).

Nos genótipos de primavera não há necessidade da vernalização para o florescimento, permitindo sua semeadura após invernos rigorosos, em elevadas latitudes. No Brasil, são empregados apenas genótipos de primavera (Tomm *et al.*, 2009), entretanto, sua semeadura é efetuada no outono, pois o inverno é mais ameno do que em regiões temperadas, com elevadas latitudes. Os genótipos de primavera são utilizados, com maior expressão, no norte da Europa e Canadá, semeados após o inverno, e na Austrália (Friedt & Snowdon, 2009).

A canola foi desenvolvida no Canadá, a partir do melhoramento genético convencional da colza, visando diminuir os teores de ácido erúxico e glucosinolatos (Thomas, 2003), que apresentam efeitos nocivos à alimentação

humana e animal, respectivamente. O termo canola foi empregado para caracterizar a qualidade diferenciada do óleo e do farelo, produzidos a partir dos grãos, e seu nome deriva da expressão “**Canadian oil low acid**” (Edwards & Hertel, 2011). Assim, para um genótipo ser considerado canola deverá apresentar menos de 2% de ácido erúico e menos de 30  $\mu\text{mol g}^{-1}$  (micromoles por grama de matéria seca) de glucosinolatos nos grãos (Thomas, 2003; Tomm *et al.*, 2009).

Equação 1

A presença do ácido erúico em níveis superiores a 2 % torna o óleo inadequado para a alimentação humana. Entretanto, esta característica é importante para a fabricação de sabonetes, detergentes, lubrificantes, solventes e materiais plásticos (Iriarte & Valetti, 2008). A redução dos níveis de ácido erúico possibilitou o aproveitamento do elevado valor nutricional que o óleo da canola apresenta, como a baixa participação de ácidos graxos saturados na combinação com ácidos graxos não saturados, equiparando sua qualidade àquela do azeite de oliva (Iriarte & Valetti, 2008). Além disso, o farelo que apresentar elevado teor de glucosinolatos é inapropriado para o consumo animal.

Outro aspecto importante da cultura é o fato de pertencer a uma família distinta de outras espécies, normalmente cultivadas na região Sul do Brasil até o início dos anos 2000 (Iriarte & Valetti, 2008; Tomm *et al.*, 2009), contribuindo à implementação de sistemas de rotação/sucessão de culturas, com espécies de maior expressão, como a soja, o milho e o trigo, entre outras.

## **2.2 Crescimento e fenologia da canola**

A canola é uma espécie anual e tem seu ciclo de desenvolvimento descrito através de estádios fenológicos. Os principais estádios da canola são: emergência, formação de roseta, início do alongamento da haste principal, início

do florescimento, florescimento pleno, desenvolvimento de síliquas, formação e maturação de grãos (Iriarte & Valetti, 2008).

O período vegetativo da canola se inicia com a germinação das sementes, para a qual os fatores mais importantes são a profundidade de semeadura, a umidade e a temperatura do solo (Thomas, 2003; Iriarte & Valetti, 2008; Edwards & Hertel, 2011). A emergência ocorre com a exposição dos cotilédones e o ponto de crescimento, acima do solo, o que torna as plântulas mais vulneráveis neste estágio a danos por geadas e insetos do que os cereais de inverno (Dalmago *et al.*, 2010; Edwards & Hertel, 2011). A primeira folha se desenvolve em, aproximadamente, uma semana após a emergência (Iriarte & Valetti, 2008).

Quando as plântulas apresentam a primeira folha verdadeira, inicia-se a formação da roseta, caracterizada pelas folhas mais velhas na base e as mais novas no centro, com entrenós curtos (Iriarte & Valetti, 2008). O rápido desenvolvimento da roseta é importante para a interceptação da radiação solar e para a competição com plantas espontâneas. A síntese de carboidratos pela planta, nesse período, depende da fotossíntese realizada nas folhas, enquanto que a fotossíntese nas hastes e síliquas elevam sua contribuição no período reprodutivo (Thomas, 2003). O final da condição de roseta ocorre com 6 a 8 folhas e com caule de 6 a 8 mm (Iriarte & Valetti, 2008).

O alongamento da haste principal sucede a condição de roseta e permite a emissão de novas folhas, ramificações, flores, síliquas e grãos. Com o alongamento da haste surgem folhas novas até a inserção da primeira flor em cada haste da planta (Morrison *et al.*, 1992; Nanda *et al.*, 1995). A emissão de novas folhas depende da temperatura do ar, sendo que o tempo necessário para o aparecimento de sucessivas folhas varia de 21 a 26 graus-dia (GD) por folha, em genótipos de canola (Kovaleski *et al.*, 2009). O índice de área foliar (IAF)

máximo da canola ocorre no início do florescimento com valores variando de 2 a 5, em função do ambiente (Edwards & Hertel, 2011).

O desenvolvimento da área foliar está associado à temperatura do ar, disponibilidade de radiação solar, estado nutricional e suprimento hídrico. A canola pode reduzir sua área foliar em função de limitações na disponibilidade da radiação solar (Gabrielle *et al.*, 1998) ou por deficiência hídrica (Jensen *et al.*, 1996). O número de folhas na haste principal varia de 20 a 28, dependendo do tempo decorrido entre a semeadura e o início da floração, sendo que as maiores folhas se situam entre o sexto e décimo segundo nó (Nanda *et al.*, 1995). As folhas de estratos superiores são menores que as inferiores (Morrison *et al.*, 1992; Nanda *et al.*, 1995), de modo a permitir maior penetração de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no dossel (Edwards & Hertel, 2011).

O abortamento de flores na canola ocorre naturalmente, no período reprodutivo, com ou sem restrição hídrica, e varia de 45 a 55% do total emitido. Entretanto, o número total de flores que resultam em síliquis, na colheita, é mais elevado na ausência de restrições ao crescimento da cultura (Thomas, 2003). Assim, a taxa de abortamento de flores varia de 11 a 46% em híbridos de canola, dependendo da temperatura do ar e da demanda evaporativa do ar (Battisti *et al.*, 2013).

Apesar das elevadas taxas de abortamento de flores, o florescimento por longos períodos na canola é importante para que ocorram elevados rendimentos de grãos (Thomas, 2003; Iriarte & Valetti, 2008; Tomm *et al.*, 2009). Períodos mais longos de florescimento permitem compensar eventuais condições térmicas ou hídricas desfavoráveis à fecundação das flores ou à formação dos grãos, quando aquelas condições adversas deixarem de afetar a planta. Shamsi *et al.* (2012) observaram que a duração do período de florescimento, em dias,

apresenta correlação positiva com os componentes do rendimento de grãos em cultivares de *Brassica napus*, em latitudes próximas de 43°N.

No enchimento de grãos a fotossíntese realizada em siliques e hastes passa a ser importante para canola (Mogensen *et al.*, 1997; Thomas, 2003; Edwards & Hertel, 2011), compensando, em parte, a redução de IAF neste período. No florescimento pleno da canola esta porção da fotossíntese pode representar 65 % do total realizado pela planta, sendo que no início da maturação dos grãos ela pode ultrapassar 80% da fotossíntese total, segundo Thomas (2003). A atividade fotossintética das hastes e siliques é uma estratégia importante para canola quando há redução de IAF (inclusive por deficiência hídrica), pois aumenta a resistência das plantas a condições adversas (Mogensen *et al.*, 1997).

A abscisão foliar, causada por sombreamento ou estresse abiótico, pode ser consequência do ajuste das relações entre fonte e dreno, para assegurar o enchimento dos grãos (Taiz & Zeiger, 2006). Assim, antes de haver abscisão foliar ocorre a remobilização dos fotoassimilados das folhas para a formação e enchimento dos grãos, próximo ao final do ciclo (Edwards & Hertel, 2011).

### **2.3 Efeitos da temperatura do ar**

A fotossíntese e a respiração são afetadas pela temperatura do ar, sendo que a diferença entre ambas representa a fotossíntese líquida (Taiz & Zeiger, 2006). Entre as temperaturas basais inferior e superior a fotossíntese líquida da planta é positiva, na ausência de limitações por disponibilidade de água e radiação solar. O crescimento da planta cessa quando a temperatura do ar estiver fora dos limites das temperaturas basais inferior e superior (Chang, 1968).

A temperatura mínima basal, usada na determinação da soma térmica na canola, tem sido considerada como 5 °C (Morrison *et al.*, 1989; Nanda *et al.*, 1996; Iriarte & Valetti, 2008; Dalmago *et al.*, 2009). Entretanto, outros autores estimaram que a temperatura mínima basal pode variar de -0,8 a 10,0° C para diferentes subperíodos da canola (Luz *et al.*, 2012), sendo que, na colza, ela varia de 0,3 a 3,5°C (Guerreiro *et al.*, 2008). A temperatura do ar média ótima está situada em 20 °C e a máxima basal é considerada em 30°C (Thomas, 2003).

Entre as temperaturas basais inferior e superior ocorre crescimento e desenvolvimento das plantas. A relação entre a taxa de desenvolvimento das culturas e a temperatura do ar tem sido considerada linear (Arnold, 1959; Streck *et al.*, 2006; Luz *et al.*, 2012). Entretanto, o efeito da temperatura sobre a taxa de desenvolvimento de uma cultura pode não ser linear (Yin *et al.*, 1995; Garnier & Tardio, 1998; Bonhomme, 2000). Além disso, as temperaturas basais podem variar entre diferentes estádios de desenvolvimento da planta (Chang, 1968; Bonhomme, 2000; Streck *et al.*, 2006; Luz *et al.*, 2012). Essas condições, aliadas a outros fatores abióticos limitantes, como a deficiência hídrica, alteram a necessidade térmica de uma cultura.

Em função de dificuldades na medição da temperatura dos tecidos foliares das plantas e do fácil acesso aos dados de estações meteorológicas, tem sido empregada a temperatura do ar (medida em abrigo meteorológico) para avaliar a fenologia e o crescimento das plantas. Com dados de temperatura do ar e das temperaturas cardeais da espécie, podem ser calculados acúmulos térmicos, por diferentes métodos, em particular pelos métodos residual e de graus-dia. Assim, é possível quantificar as necessidades térmicas, desde a emergência de uma cultura até determinados estádios fenológicos (Arnold, 1959; Nanda *et al.*, 1996; Thomas, 2003; Trentin *et al.*, 2008). Apesar das restrições ao uso da necessidade

térmica para estimar a duração dos subperíodos ou do ciclo das culturas, a mesma tem apresentado menor variabilidade do que o emprego do número de dias (Gilmore & Rogers, 1958; Arnold, 1959; Morrison *et al.*, 1989; Trentin *et al.*, 2008)

As necessidades térmicas da canola, verificadas por Kerber *et al.* (2009) em Passo Fundo-RS, foram de 312 GD, 522 GD, 629 GD e 1.155 GD da emergência ao início do estágio de roseta, da emergência ao florescimento, da emergência ao final do florescimento, da emergência à maturação fisiológica e da emergência ao ponto de colheita, respectivamente, usando a temperatura base de 5°C. Com temperatura base de 0°C, no Canadá, Thomas (2003) verificou que a necessidade térmica para a canola atingir o início florescimento e a maturação, a partir da semeadura, foi de 624 e 1.495 GD, respectivamente. Tesfamarian (2004) verificaram necessidade térmica superior ao encontrado por Thomas (2003), sendo 727 e 1.722 GD para o período da semeadura ao início do florescimento e da semeadura ao estágio de enchimento de grãos, respectivamente, usando a mesma temperatura base de 5°C.

Independente de diferenças na necessidade térmica, a elevação da temperatura do ar diminuiu a duração (em dias) dos subperíodos da canola, conforme resultados de Luz *et al.* (2012), com os híbridos Hyola 61 e Hyola 432 em nove datas de semeadura, sem irrigação, em Santa Maria-RS. Assim, o critério do tempo térmico é uma ferramenta importante para estimar a ocorrência de eventos fenológicos, como a data de início do florescimento da canola, conforme observaram Krüger *et al.* (2009) nas condições do Rio Grande do Sul.

Os efeitos da temperatura do ar também podem ser danosos para o desenvolvimento da canola, pela formação de geadas (Thomas, 2003; Iriarte & Valetti, 2008; Dalmago *et al.*, 2009; Dalmago *et al.*, 2010). Temperaturas mínimas

do ar inferiores a 0°C são frequentes no Rio Grande do Sul e, geralmente, estão associadas à formação de geadas, que podem ocasionar danos à canola, especialmente nas partes mais expostas do dossel, como pontos de crescimento, folhas e flores. Contudo, a intensidade dos danos por geada, segundo Tomm *et al.* (2009), Dalmago *et al.* (2009) e Dalmago *et al.* (2010), dependem de um processo de aclimatação das plantas. Assim, a tolerância da canola aos possíveis danos causados por geadas aumenta com a aclimatação das plantas. A aclimatação pode ser revertida por um período de sete dias de calor (Tomm *et al.*, 2009; Dalmago *et al.*, 2009).

Com temperaturas do ar negativas podem ocorrer danos irreversíveis na canola, especialmente, quando a temperatura do ar for igual ou inferior a -6°C no início do crescimento das plantas (Dalmago *et al.*, 2010). Segundo os mesmos autores, temperaturas iguais ou inferiores a -4°C no florescimento determinaram a redução do número de síliquas por planta e do número de grãos por síliqua, reduzindo o rendimento de grãos.

Geadas no florescimento da canola causam abortamento de flores. Porém, como o período de florescimento da canola é amplo, variando de 19 a 83 dias, dependendo do genótipo (Tomm *et al.*, 2007), os efeitos negativos de geadas sobre o rendimento de grãos não são tão intensos como em cereais de inverno (Dalmago *et al.*, 2009).

Temperaturas do ar elevadas também podem afetar o crescimento e o desenvolvimento da canola. Apesar da temperatura máxima basal ser considerada em torno de 30°C, temperaturas a partir de 25°C também podem ocasionar estresses térmicos (Thomas, 2003). Segundo Edwards & Hertel (2011), o crescimento do tubo polínico ocorre com temperaturas entre 10 a 25°C. Entretanto, acima de 25°C, com temperatura noturna elevada, pode ocorrer

esterilidade das flores, redução do período em que as flores são receptivas ao pólen, redução do período de liberação e da viabilidade do pólen. Segundo os mesmos autores, caso as plantas estejam submetidas a déficit hídrico, os danos causados pela temperatura do ar ocorrem com temperaturas inferiores a 25°C.

Segundo Edwards & Hertel (2011), temperaturas do ar superiores a 25°C afetam o processo de fecundação das flores. Porém, Faraji *et al.* (2008) verificaram que temperaturas médias diárias entre 10 e 25°C, no período do florescimento, afetaram negativamente o número de síliquas e a razão síliquas/flores por planta, em experimentos de campo, com diferentes datas de semeadura e sob irrigação. Estes autores atribuíram o efeito negativo da temperatura do ar sobre o número de síliquas por planta à redução do período de florescimento e ao estresse térmico causado pela elevada temperatura do ar, durante o dia.

Com relação ao fotoperíodo, a canola apresenta resposta quantitativa para dias longos (Chang, 1968; King & Kondra, 1986), numa faixa mais frequente de 12 a 14h (Iriarte & Valetti, 2008; Dalmago *et al.*, 2009). Contudo, de acordo com Dalmago *et al.* (2009), os genótipos de canola cultivados no Sul do Brasil, na década de 2000, apresentam menor sensibilidade ao fotoperíodo e maior resposta fenológica à soma térmica, em comparação às variedades de polinização aberta de colza, cultivadas em décadas passadas. Assim, apesar da influência ser pequena, o fotoperíodo pode alterar as necessidades térmicas da canola durante o ciclo (Nanda *et al.*, 1996; Iriarte & Valetti, 2008; Dalmago *et al.*, 2009).

## 2.4 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

O processo de fotossíntese depende, dentre outros fatores, da disponibilidade e da qualidade da radiação solar que incide na superfície das folhas. A radiação solar global apresenta comprimentos de onda entre 300 e 3000 nm, enquanto que a radiação fotossinteticamente ativa se encontra na faixa de 400 a 700 nm (Varlet-Grancher *et al.*, 1989; Taiz & Zeiger, 2006).

Para uma maior interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é necessário que a área foliar das plantas se desenvolva rapidamente (Diepenbrock, 2000; Edwards & Hertel, 2011). Para a canola interceptar 90% da radiação solar global incidente é necessário um IAF próximo a 4 (Edwards & Hertel, 2011).

A disponibilidade de radiação solar depende da época do ano e da latitude, em virtude da variação na declinação solar ao longo do ano (Varejão-Silva, 2006). A declinação solar também afeta o ângulo zenital da radiação solar. No período de outono-inverno o ângulo zenital da radiação solar aumenta, em comparação ao período de primavera-verão. O aumento do ângulo zenital diminui a penetração da radiação solar no dossel das plantas, pois aumenta o sombreamento entre as plantas, na linha e de uma linha sobre as outras (Müller & Bergamaschi, 2005).

A disponibilidade de radiação solar é essencial para qualquer cultura. Segundo Diepenbrock (2000), na Alemanha, a interceptação de radiação solar em *B. napus* L. de inverno, que necessita vernalização, é, provavelmente, o fator mais importante e limitante às taxas de crescimento das plantas, nos estádios iniciais de desenvolvimento e na maturação dos grãos. Além do crescimento das plantas, limitações na disponibilidade de radiação solar podem contribuir no abortamento de flores (Dalmago *et al.*, 2009).

No período vegetativo da canola a interceptação de RFA é realizada pela área foliar. Segundo Mogensen *et al.* (1997), durante o período reprodutivo da cultura ocorre elevada interceptação de RFA pelas estruturas reprodutivas (síliquis, flores e hastes). Esta característica permite que hastes e síliquis realizem fotossíntese. Segundo os autores, além de representar uma estratégia de resistência das síliquis à deficiência hídrica, esse processo tende a compensar perdas na capacidade fotossintética das folhas, pela redução de IAF e pelo sombreamento causado pelas estruturas reprodutivas. Com a realização de fotossíntese nas síliquis e hastes, a canola consegue manter as necessidades fisiológicas da planta e do enchimento de grãos.

Em condições ótimas de disponibilidade hídrica e nutricional, o aproveitamento da radiação solar pelas plantas depende da interceptação e da absorção de RFA. O monitoramento da incidência e da interceptação de RFA, do índice de área foliar e da matéria seca da parte aérea, ao longo do ciclo de uma cultura, permite calcular indicadores importantes do desenvolvimento das plantas (Chang, 1968; Varlet-Grancher *et al.*, 1989). A eficiência de interceptação e o índice de área foliar permitem estimar o coeficiente de extinção (Monsi & Saeki, 1953). A interceptação acumulada de RFA e a produção de matéria seca total pelas plantas, ao longo do ciclo, permitem a estimativa da eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa da cultura (Varlet-Grancher *et al.*, 1989).

#### **2.4.1 Coeficiente de extinção da RFA**

O coeficiente de extinção da radiação solar em um dossel de plantas foi proposto, inicialmente, por Monsi & Saeki (1953), a partir da aplicação da Lei de Beer a comunidades vegetais. Os mesmos consideraram que, na medida em que a radiação solar penetra no dossel de uma comunidade de plantas, ocorre sua

redução de forma exponencial que depende, basicamente, do índice de área foliar (IAF). Com a linearização desta função exponencial é obtido um coeficiente angular que descreve a redução da radiação solar incidente no dossel em função do IAF, o qual se denomina coeficiente de extinção.

A partir do coeficiente de extinção também é possível comparar diferentes espécies de plantas, quanto à interceptação de radiação solar no dossel. Espécies com menor coeficiente de extinção permitem maior penetração da RFA no interior do dossel, e vice-versa (Chang, 1968; Varlet-Grancher *et al.*, 1989; Monsi & Saeki, 1953).

Müller & Bergamaschi (2005) relataram que o coeficiente de extinção da cultura do milho é afetado por diversos fatores. Segundo os autores, genótipos com disposição das folhas mais eretas e de menor tamanho diminuem a interceptação da RFA entre as camadas de folhas em relação a folhas mais decumbentes e com maior tamanho. Ademais, segundo os autores, ajustes insuficientes da densidade de plantas e da distância entre linhas para o genótipo diminuem o coeficiente de extinção. O menor ângulo zenital da radiação solar no período de crescimento do milho permite que maior fluxo de radiação solar incidente seja transmitido pelo dossel da cultura o que, com isso, diminui o coeficiente de extinção.

Conforme Pandolfo (1995), a magnitude do coeficiente de extinção depende do horário de observação. Segundo este autor, medidas efetuadas próximo às 12h resultam em coeficientes de extinção mais baixos, pelo menor ângulo zenital da radiação solar incidente, em relação aos horários de início e fim do dia.

Chang (1968) descreveu que a distribuição da radiação solar no dossel depende da transmissividade da folha, do arranjo e inclinação das folhas, da

altura e densidade de plantas e do ângulo de incidência da radiação solar. Estes fatores contribuem na magnitude do coeficiente de extinção. Segundo o mesmo autor, plantas com folhas mais eretas apresentam coeficiente de extinção menor que plantas com folhas horizontais.

O coeficiente de extinção ( $k$ ) para RFA verificado para a cultura do milho foi de 0,68, em parcelas irrigadas (Müller & Bergamaschi, 2005). A irrigação do milho elevou o coeficiente de extinção de 0,62, na cultura não irrigada, para 0,75 no milho irrigado, com espaçamento de 0,4 m entre linhas (Kunz, 2006). Portanto, o coeficiente de extinção do milho foi reduzido pela deficiência hídrica, pois esta afeta o crescimento e arquitetura das plantas de milho. Resultados de Martorano (2007) não permitiram separar efeitos de sistemas de preparo do solo e da irrigação sobre o coeficiente de extinção em soja, o qual teve média de 0,92, também para RFA. O coeficiente de extinção é mais elevado em soja que em milho, pois as culturas apresentam dosséis com arquiteturas contrastantes. Yunusa *et al.* (1993) verificaram que variações na arquitetura foliar entre genótipos antigos e modernos de trigo não apresentaram efeitos significativos sobre o coeficiente de extinção, que variou de 0,63 a 0,76. Em colza de inverno, Gabrielle *et al.* (1998) utilizaram valores de coeficiente de extinção de 0,75.

Segundo Edwards & Hertel (2011), a canola apresenta índices de área foliar maiores em baixas densidades de plantas (20 plantas  $m^{-2}$ ) do que em elevadas densidades (126 plantas  $m^{-2}$ ). Entretanto, Chavarria *et al.* (2011) observaram que o índice de área foliar foi mais elevado em maiores densidades e espaçamentos das plantas entre linhas. Essas situações indicam que a canola apresenta respostas variadas, por ter hábito de crescimento indeterminado e por possuir elevada capacidade para compensar alterações na densidade de plantas

(Thomas, 2003; Tomm *et al.*, 2009), o que pode reduzir variações no coeficiente de extinção entre genótipos.

#### 2.4.2 Eficiência de uso da RFA

A estimativa da produção da matéria seca pelas plantas pode ser efetuada a partir do acúmulo da radiação fotossinteticamente ativa interceptada. Gosse *et al.* (1986) propôs um modelo linear para estimar a biomassa da parte aérea de alfafa, a partir da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelas plantas. O coeficiente angular da equação linear que estima a produção de biomassa representa a eficiência de uso da RFA (EUR) interceptada pela cultura.

Morrison & Stewart (1995) encontraram diferenças de EUR em função do manejo dado à colza de primavera, considerando o espaçamento entre linhas e a densidade de semeadura. Segundo os autores, foram verificados valores de EUR entre 2,27 e 3,39 g MJ<sup>-1</sup> de RFA, para espaçamentos entre linhas de 15 e 30 cm, respectivamente. Quanto à densidade de semeadura, os autores verificaram que EUR para RFA diminuiu de 3,37 para 2,63 g MJ<sup>-1</sup> quando a densidade de semeadura aumentou de 1,5 para 12,0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em cultivares de colza de primavera e de inverno foram verificados valores de EUR absorvida de 1,95 e 1,83 g MJ<sup>-1</sup> (Gosse *et al.*, 1986), respectivamente. Mendham *et al.* (1981) verificou eficiência de uso de radiação global de 1,16 g MJ<sup>-1</sup> em colza de inverno, o que equivale a EUR de 2,67 g MJ<sup>-1</sup> para RFA (Morrison & Stewart, 1995). Em colza de primavera Mendham *et al.* (1990) verificaram eficiência de uso de radiação global de 1,0 a 1,5 g MJ<sup>-1</sup> em colza de inverno, o que equivale a EUR de 2,22 a 3,33 g MJ<sup>-1</sup> para RFA (Morrison & Stewart, 1995).

Moreira *et al.* (1999) e Moreira *et al.* (2005) encontraram valores de EUR absorvida de 1,85 a 2,66 g MJ<sup>-1</sup> em trigo, semelhantes aos verificados na colza (Gosse *et al.*, 1986). Entretanto, Kiniry *et al.* (1989) obtiveram maiores valores de EUR em trigo, da ordem de 2,6 a 3,1 g MJ<sup>-1</sup> em dois anos distintos.

Na cultura do milho, segundo Kunz *et al.* (2007), foram verificadas EUR em parcelas irrigadas variando de 2,77 a 4,29 g MJ<sup>-1</sup>. No entanto, em parcelas não irrigadas e com deficiência hídrica, apesar do mecanismo fotossintético C<sub>4</sub>, o milho apresentou menor EUR em relação à cultura irrigada, variando de 0,96 a 1,69 g MJ<sup>-1</sup>. Nas culturas do milho, cana-de-açúcar e *Panicum* sp. foram verificados valores de EUR absorvida na ordem de 2,49, 2,65 e 2,39 g MJ<sup>-1</sup>, respectivamente (Gosse *et al.*, 1986).

## 2.5 Disponibilidade hídrica

Os efeitos da disponibilidade hídrica no crescimento e rendimento de grãos, associados aos efeitos de datas de semeadura na *Brassica napus* L. e *Brassica juncea* L. têm sido objeto de vários estudos (Thurling & Kaveeta, 1992; Wright *et al.*, 1995; Wright *et al.*, 1996; Robertson *et al.*, 2004; Robertson & Holland, 2004; Tesfamarian, 2004; Gunasekera *et al.*, 2009). Entretanto, a maior parte dos trabalhos estudou efeitos da deficiência hídrica sobre o rendimento de grãos.

A cultura da canola apresenta sensibilidade, tanto ao déficit quanto ao excesso hídrico (Iriarte & Valetti, 2008; Dalmago *et al.*, 2009; Tomm *et al.*, 2009). Para minimizar os efeitos do excesso, os autores sugerem a escolha de áreas com topografia não sujeitas ao acúmulo de água, pela elevação do lençol freático. Para minimizar efeitos do déficit hídrico, em cultivos não irrigados, é necessário

que o cultivo observe os zoneamentos agroclimáticos (Berlato, 1999; Dalmago *et al.*, 2008).

A ausência de déficit e excesso hídrico na canola favorece tanto a quantidade quanto a qualidade dos grãos produzidos. Segundo Wright *et al.* (1996), a deficiência hídrica afeta mais a canola (*Brassica napus* L.) que a mostarda (*Brassica juncea* L.), pela maior dificuldade em manter o potencial de pressão da água elevado nas células. Segundo os autores, a mostarda mantém o potencial de pressão elevado por mais tempo em elevadas deficiências hídricas, conferindo maior duração na área foliar e maior rendimento de grãos que a mostarda.

Com deficiência hídrica, o crescimento, o rendimento de grãos e os componentes do rendimento de grãos são afetados de forma negativa (Wright *et al.*, 1995; Wright *et al.*, 1996). Na África do Sul, durante a estação seca, o rendimento de grãos de canola ( $3.831 \text{ Kg ha}^{-1}$  com irrigação) foi reduzido significativamente em até 69 % por deficiência hídrica no florescimento (Tsfamariam, 2004).

No Rio Grande do Sul, o ciclo da canola se inicia com semeaduras no outono, em meados de abril, conforme o zoneamento agroclimático (Dalmago *et al.*, 2008), e se estende até meados da primavera. Em condições normais, este período apresenta menor demanda evaporativa da atmosfera em relação ao verão, com precipitações pluviais superiores à demanda evaporativa da atmosfera (Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1989). Esta condição favorece a ocorrência frequente de excessos hídricos, especialmente no inverno (Cordeiro, 2010), sendo que isto se acentua em solos com problemas de drenagem da água. As deficiências hídricas são mais acentuadas no outono e na primavera do que no inverno (Cordeiro, 2010), envolvendo o início e o final do ciclo da canola.

No Rio Grande do Sul, períodos de excesso hídrico podem ser associados ao fenômeno El Niño, os quais tendem a ocasionar precipitações pluviais acima das normais climatológicas (Cunha, 1999; Streck *et al.*, 2009), especialmente durante a primavera, durante os estádios finais e colheita da canola. Excessos hídricos também podem limitar as trocas gasosas no solo (Klein & Libardi, 2002), dificultando a respiração radicular e, assim, afetando o crescimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas.

Além do rendimento, o teor de óleo dos grãos é afetado de forma negativa pela deficiência hídrica (Iriarte & Valetti, 2008), pela temperatura do ar (Canvin, 1955, apud Robertson & Holland, 2004) e pela antecipação da colheita (Borba *et al.*, 1982). Além disso, geralmente, nas condições brasileiras, a ocorrência de déficit hídrico está associada a temperaturas do ar elevadas, que aumentam o estresse das plantas, afetando tanto a qualidade quanto a quantidade de grãos produzidos.

## **2.6 Rendimento de grãos**

A variável de maior interesse agrônomo na canola, como em outras grandes culturas, é o rendimento de grãos. A viabilidade econômica de um cultivo agrícola impulsiona a busca de melhores genótipos, datas de semeadura, locais e práticas de manejo, entre outros fatores, que proporcionem elevados rendimentos de grãos. Apesar da canola ser cultivada com maior expressão em latitudes elevadas, há registros de rendimentos de grãos superiores a 2.000 kg ha<sup>-1</sup> em baixa latitude, como de 6°58' S (Tomm *et al.*, 2008).

O potencial de rendimento de grãos de 4.500 kg ha<sup>-1</sup> foi apontado por Thomas (2003). Entretanto, em resultados experimentais já se verificaram rendimentos de grãos de 4.800 kg ha<sup>-1</sup> na colza, em cultivo irrigado, na Turquia

(Istanbulluoglu *et al.*, 2010). No Brasil, os rendimentos de grãos tanto de colza como de canola, na maioria dos trabalhos, têm sido inferiores a 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (Borba *et al.*, 1982; Barni *et al.*, 1985; Tomm *et al.*, 2004; Müller *et al.*, 2009; Krüger *et al.*, 2011a, 2011b), sendo em sua maioria entre 1.000 e 2.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Resultados obtidos por Barni *et al.* (1985), com dezessete cultivares de colza cultivadas, em cinco locais do Estado do Rio Grande do Sul, apresentaram rendimento médio de 978 Kg ha<sup>-1</sup> em condições experimentais, entre 1981 e 1984. Com a introdução da canola, houve incrementos significativos de rendimento, com resultados experimentais superiores a 2.000 kg ha<sup>-1</sup> em várias regiões do País (Tomm, 2006).

Os rendimentos anuais de grãos das lavouras de canola no Brasil, entre 1998 a 2008, apresentaram níveis médios, mínimos e máximos de 1.111, 680 e 1.503 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tomm *et al.*, 2009). Em 2009, o rendimento médio da cultura, em lavouras comerciais, foi de 1.130, 1.270 e 1.400 kg ha<sup>-1</sup> no Mato Grosso do Sul, Paraná ao Rio Grande do Sul, respectivamente (Conab, 2010). Na Argentina, resultados experimentais indicam rendimentos de grãos de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (Gambaudo & Fontaneto, 2008).

A desuniformidade na maturação tem sido considerada como uma das causas de redução no rendimento de grãos, em lavouras de canola. Ela depende de diversos fatores, como a heterogeneidade do solo, a deiscência natural da espécie, o longo período de florescimento, irregularidades na semeadura e condições de temperatura e umidade do ar (Iriarte & Valetti, 2008). Para minimizar problemas relativos à maturação dos grãos da cultura tem sido recomendados o corte e enleiramento da cultura, antes da trilha (Tomm *et al.*, 2009). Com isso, ocorre uma debulha mais uniforme, na trilha, e menor deiscência natural das síliquis, no campo (Iriarte & Valetti, 2008).

Para as condições brasileiras, existem diferenças entre regiões quanto à melhor data de semeadura da canola, em função das necessidades da cultura e das condições de cada local de cultivo. O período de crescimento da cultura coincide com o final da estação chuvosa nas menores latitudes, em safrinha. Nas maiores latitudes, devido às temperaturas do ar mais amenas, as semeaduras são mais tardias e se iniciam no outono, coincidindo com o calendário do trigo (Tomm *et al.*, 2009).

Em semeaduras de canola efetivadas nos meses de abril e maio, em Três de Maio, RS, foram verificados os melhores rendimentos de grãos (Tomm *et al.*, 2004). Na definição do zoneamento agroclimático da canola para o Rio Grande do Sul, Dalmago *et al.* (2008) indicaram o período entre o segundo decêndio de abril e o terceiro decêndio de junho em, praticamente, todo o Estado. No entanto, em geral, o maior potencial de rendimento de grãos ocorre quando a cultura é semeada no início do período, em abril e maio.

Em colza, semeaduras realizadas nos meses de abril e maio apresentaram rendimentos de grãos superiores às de junho e julho, em diferentes regiões do Rio Grande do Sul, segundo Barni *et al.* (1984). Conforme os mesmos autores, o atraso na data de semeadura determinou aceleração do desenvolvimento da colza, devido à temperatura do ar ter sido mais elevada durante o ciclo. Bolis *et al.* (2008) constaram que a temperatura máxima do ar entre o início e o final do florescimento foi a variável meteorológica determinante para a redução do rendimento de grãos de colza, independentemente de local, cultivar e ano do experimento.

Segundo Müller *et al.* (2009), semeaduras mais tardias da canola, realizadas em 21 de junho e 2 de agosto, apresentaram menor rendimento de grãos em relação às de 18 de abril, 12 e 31 de maio de 2008, no Paraná. Os

mesmos autores também atribuíram o menor rendimento de grãos à temperatura do ar mais elevada nas semeaduras tardias.

As inferências sobre as causas do menor rendimento de grãos em colza e canola em semeaduras tardias, apontados por Barni *et al.* (1984), Bolis *et al.* (2008) e Müller *et al.* (2009), são coerentes com efeitos que a elevação da temperatura do ar proporciona sobre o aumento da fotorrespiração nas plantas. Nesses casos, ocorrem maiores perdas de carboidratos assimilados na fotossíntese com a fotorrespiração (Taiz & Zeiger, 2006).

Segundo Wright *et al.* (1995), o rendimento de grãos foi afetado de forma positiva pela matéria seca total produzida até o florescimento, com baixas deficiências hídricas. Contudo, conforme os mesmos autores, o efeito da matéria seca total no florescimento sobre o rendimento de grãos diminui quando ocorre elevada deficiência hídrica. Conforme os resultados de Thurling & Kaveeta (1992), foram verificadas melhores relações entre o rendimento de grãos da canola e o acúmulo de matéria seca entre o início do florescimento e a maturação dos grãos. A aparente divergência entre resultados de Thurling & Kaveeta (1992) e Wright *et al.* (1995) está relacionada a características distintas entre genótipos, quanto à importância do período de acúmulo de matéria seca total para o rendimento de grãos da canola (Mendham *et al.*, 1990). Apesar disso, os resultados evidenciam a importância do rendimento biológico, ao longo do ciclo, sobre o rendimento de grãos na maturação.

Os componentes do rendimento de grãos primários de *Brassica napus* L. são: densidade de plantas, número de síliquas por planta, número de grãos por síliqua e massa de um grão (Diepenbrock, 2000). A partir de uma densidade de plantas uniforme, a formação dos componentes de rendimento de grãos ocorre

nas hastes principal e secundárias. A emissão de hastes secundárias torna a canola uma planta com hábito de crescimento indeterminado.

O hábito de crescimento indeterminado da canola permite à cultura compensar alterações no arranjo das plantas (Thomas, 2003; Iriarte & Valetti, 2008; Edwards & Hertel, 2011). Apesar da compensação no número de hastes, em função de falhas no arranjo de plantas, o rendimento de grãos decresce em espécies de colza de inverno (Diepenbrock, 2000). As condições de ambiente durante 2 a 3 semanas após o início do florescimento são críticas ao rendimento de grãos, uma vez que, aproximadamente, 75 % das flores da canola são emitidas nos primeiros 11 dias do período (Edwards & Hertel, 2011). Nele, portanto, são definidos dois componentes do rendimento de grãos fundamentais: número de síliquas por planta e número de grãos por síliqua.

Krüger *et al.* (2011b) verificaram 147 a 212 síliquas por planta nos genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432. Os valores médios para número de grãos por síliqua estiveram na ordem de 15 a 25 grãos por síliqua (Edwards & Hertel, 2011) os quais, segundo revisão feita por Diepenbrock (2000), podem chegar a 40 em colza de inverno. Shamsi *et al.* (2012) verificaram 18 grãos por síliqua, na latitude de 45°N. Krüger *et al.* (2011b) obtiveram média de 16 grãos por síliqua, no Rio Grande do Sul.

A densidade de plantas é definida por ocasião da implantação da cultura. A profundidade de semeadura, a temperatura e umidade do solo e a densidade de semeadura afetam a densidade de plantas (Thomas, 2003; Iriarte & Valetti, 2008; Tomm *et al.*, 2009). Ela também pode ser reduzida por efeito de geadas (Dalmago *et al.*, 2010) e pela ação de insetos (Tomm *et al.*, 2009). Para as condições do Rio Grande do Sul, a densidade indicada é de 40 plantas por metro quadrado, segundo Tomm *et al.* (2009). Variações na população de plantas afetam pouco o

rendimento de grãos, pela capacidade da canola em compensar essas variações (Thomas, 2003; Tomm *et al.*, 2009).

A massa de um grão é um componente do rendimento definido após o florescimento da cultura. Krüger *et al.* (2011a) verificaram que pode haver variação na massa dos grãos, em função do genótipo empregado e das condições do ano. A taxa de crescimento do grão varia de 0,08 a 0,12 g por dia, sendo dependente da temperatura (Edwards & Hertel, 2011). Durante a formação do grão, segundo Edwards & Hertel (2011), inicialmente, a proteína é acumulada na formação do embrião e está presente em: 72 % nos cotilédones, 17 % no embrião e 7% no tegumento, enquanto que 80% do óleo está localizado nos cotilédones do grão maduro. O processo de acúmulo de óleo nos grãos predomina entre 35 a 55 dias após o florescimento e estabiliza aos 60 dias após florescimento, com 40% dos grãos tendo a coloração de maturação (Edwards & Hertel, 2011).

O valor médio da massa de mil grãos encontrado por Krüger *et al.* (2011b) foi de 3,5 g, enquanto Thurling (1974) encontrou 4,1 g e Shamsi *et al.* (2012) encontraram 3,4 g. Em colza, foram encontrados valores inferiores, com médias de 3,0 g (Robertson *et al.*, 2004) e 2,8 g, na década de 1980, no Rio Grande do Sul (Borba *et al.*, 1982).

O índice de colheita expressa a fração da matéria seca total da planta contida nos grãos, na maturação. Segundo Degenhardt & Kondra (1981), o índice de colheita é um importante critério para selecionar linhagens de *Brassica napus*, quanto ao rendimento de grãos. Tamagno *et al.* (1999) verificaram valores de índice de colheita entre 20 e 28% para colza de primavera, sob diferentes doses de nitrogênio. Na Austrália, Robertson *et al.* (2004) verificaram que cultivares de *B. napus* de padrão canola apresentaram índice de colheita entre 20 e 35 %, em diferentes datas de semeadura.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram conduzidos em 2009, 2010 e 2011, em áreas experimentais da EMBRAPA Trigo, em Passo Fundo e Coxilha, RS (Apêndice 4). Em 2009, foram instalados dois experimentos com cinco genótipos, em duas semeaduras em Passo Fundo (28°13'36"S; 52°24'10"W; 692 m de altitude; 3,8% de declividade). Em 2010 foi conduzido um experimento com dois genótipos, em quatro datas de semeadura, em área experimental situada no município de Coxilha, RS (28°11'40"S; 52°19'20"W; 713 m de altitude; 6,2% de declividade), a cerca de 9 km da sede da Embrapa Trigo. Em 2011, foi conduzido um experimento com dois genótipos, em quatro datas de semeadura, novamente na sede da Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS (28°13'41"S; 52°24'04"W; 681 m de altitude; 6,0% de declividade).

A região apresenta clima Cfa, segundo a classificação de Köppen, ou seja, subtropical úmido com verão quente, predominante no Estado do Rio Grande do Sul. O solo dos locais de instalação dos experimentos é classificado como Latossolo Distrófico húmico, sendo bem drenado e com aptidão para cultivos de verão e de inverno (Streck *et al.*, 2008).

#### **3.1 Delineamento experimental**

Em 2009, foi avaliado o fator genótipo, em duas datas de semeadura. Em 2010 e 2011, foram avaliados os fatores genótipos e datas de semeadura. Assim,

os estudos de campo foram considerados como sendo dois experimentos em 2009, um experimento em 2010 e outro em 2011.

Os genótipos (híbridos) de canola empregados em 2009 foram: Hyola 432 (ciclo médio/precoce), Hyola 43 (ciclo precoce), Hyola 60 (ciclo longo), Hyola 61 (ciclo médio) de *Brassica napus* e Q6501 (ciclo precoce) da espécie *Brassica juncea* (mostarda, de padrão canola). A caracterização do ciclo dos genótipos de Hyola foi baseada em trabalhos de Tomm *et al.* (2009) e a de Q6501 foi efetuada conforme resultados de Almeida & Tomm (2007). Nos anos de 2010 e 2011, foram avaliados os genótipos Hyola 61 e Hyola 432.

Os experimentos de 2009 foram implantados em 20 de maio e 03 de julho. As datas de semeaduras do experimento de 2010 foram 29 de abril, 13 de maio, 03 de junho e 08 de julho. Em 2011, as datas de semeadura foram 19 de maio, 10 de junho, 5 de julho e 26 de julho. No segundo experimento de 2009, foi avaliada a fenologia de todos os genótipos, porém o rendimento de grãos foi avaliado somente de Hyola 60 e Hyola 61, devido ao comprometimento da densidade de plantas dos demais genótipos, pela ocorrência de geada logo após a emergência das plântulas.

Em todos os experimentos, nos três anos, o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Em 2010 e 2011, os fatores foram datas de semeadura e genótipos, em esquema fatorial. As parcelas tiveram área total de 30 m<sup>2</sup>, com 5 m de comprimento e 6 m de largura, para minimizar o efeito de bordadura.

### **3.2 Manejo e tratos culturais**

O manejo do solo foi em sistema de semeadura direta, tendo como cultura antecessora a soja, em todos os experimentos. A semeadura foi feita

mecanicamente, em 2009, e manualmente, em 2010 e 2011, em espaçamento de 0,2 m entre linhas. Nos dois últimos anos, a abertura do sulco e a cobertura das sementes foram efetuadas manualmente. A distribuição das sementes foi realizada mecanicamente, por sistema dosador de movimento circular, construído especialmente para este fim. O raleio do excesso de plantas foi manual e realizado de 30 a 45 dias após a emergência, para obter uma densidade final de 40 plantas por metro quadrado. O controle de plantas invasoras e insetos foi realizado, quando necessário, conforme Tomm *et al.* (2009).

Nas áreas experimentais foram coletadas amostras de solo para análises químicas. Para cada amostra, foram coletadas oito subamostras, antes da implantação dos experimentos, nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. A adubação da canola foi realizada de acordo com os resultados da análise química de solo (Apêndice 2) e da necessidade da cultura (Tomm *et al.*, 2009). A adubação de base foi feita mecanicamente, nas linhas de semeadura, em todos os experimentos. A adubação de cobertura foi aplicada manualmente em cada parcela, a lanço e em duas aplicações: quando as plantas tinham cinco folhas e no início do florescimento. Em 2011, foi realizada uma aplicação em cobertura, logo após a emergência das plântulas.

As adubações de base e de cobertura, nos dois experimentos de 2009, corresponderam a 60, 60, 81 e 24 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, nitrogênio e enxofre, respectivamente. Em 2010, foram utilizados 60, 60, 185 e 24 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, nitrogênio e enxofre, respectivamente. Em 2011, foram utilizados 80, 80, 152 e 48 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, nitrogênio e enxofre, respectivamente. O parcelamento da adubação está apresentado no Apêndice 1.

Foram realizadas análises físicas do solo nas camadas de 0 a 10, 11 a 20, 21 a 40, 41 a 60 e 61 a 80 cm, nos anos de 2010 e 2011, e nas mesmas

camadas, até 41 a 60 cm, em 2010. Amostras indeformadas de solo foram coletadas em trincheiras, utilizando anéis de Kopect com diâmetro e altura de 5 cm. Determinações de atributos físicos foram realizadas no Laboratório de Física de Água do Solo da Universidade de Passo Fundo (Apêndice 5). Os atributos analisados foram macroporos, microporos, criptoporos e porosidade total, além de densidade do solo e teor de argila, conforme critérios de Klein & Libardi (2002) e EMBRAPA (1997).

### **3.3 Variáveis meteorológicas**

Dados meteorológicos diários foram coletados nas estações meteorológicas convencional e automática (Vaisala) do Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas na sede da Embrapa Trigo (28°15'43"S; 52°24'24"W; 684 m de altitude). Da estação convencional foram coletados dados de temperatura do ar das 9h e 21h, temperaturas máxima ( $T_x$ ) e mínima ( $T_n$ ), umidade relativa do ar ( $UR$ ) das 9, 15 e 21h, duração do brilho solar ( $n$ ) e precipitação pluvial ( $P$ ), dos três anos de experimentos. As distâncias entre as estações meteorológicas e os locais dos experimentos foram de 50, 8.600 e 250m, nos anos de 2009, 2010 e 2011, respectivamente. A precipitação pluvial no ano de 2010 foi medida a 400 m do experimento.

Para caracterizar as condições meteorológicas dos períodos experimentais foram obtidas estatísticas descritivas para períodos decendiais de abril a novembro. Esta caracterização teve por objetivo principal comparar os anos entre si e com médias da série meteorológica histórica de Passo Fundo, considerando dados coletados na estação meteorológica convencional dos anos de 1961 a 1990. A comparação das condições de cada ano e de cada variável

meteorológica com médias climáticas foi efetuada através de análises de correlação de Pearson.

Para caracterizar as condições hídricas do solo foram calculados balanços hídricos diários de 2009, 2010 e 2011, conforme método de Thornthwaite & Mather (1955), descrito por Pereira *et al.* (1997), considerando 75 mm para a capacidade de armazenagem de água disponível (CAD). A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ , mm dia<sup>-1</sup>) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme Pereira *et al.* (1997), desconsiderando o fluxo de calor no solo, conforme a equação:

$$ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} \frac{Rn}{L} + \frac{\gamma \cdot 900}{(\Delta + \gamma^*)(T_m + 275)} U_2 D \quad (1)$$

sendo  $T_m$  a temperatura média diária do ar (°C) calculada pelo método compensado (Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1989),  $\Delta$  é a tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água para a  $T_m$  (kPa °C<sup>-1</sup>),  $\gamma$  a constante psicrométrica (0,0662 kPa °C<sup>-1</sup>),  $\gamma^*$  a constante psicrométrica modificada (kPa °C<sup>-1</sup>),  $Rn$  o saldo de radiação solar (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) calculado pela equação de Brunt Penman (Berlato & Molion, 1981),  $U_2$  a velocidade média diária do vento a 2 m acima do solo (m s<sup>-1</sup>) obtida a partir da velocidade registrada a 10 m de altura, usando o coeficiente de ajuste de 0,747368421 (Pereira *et al.*, 1997),  $D$  o déficit de saturação de vapor d'água do ar (kPa) e  $L$  o calor latente de evaporação (MJ Kg<sup>-1</sup>).

A constante psicrométrica modificada foi calculada em função da velocidade do vento medida a 2 m acima do solo (Pereira *et al.*, 1997). Em velocidades do vento de até 1,07 m s<sup>-1</sup> foi utilizado o valor de 0,0739 kPa °C<sup>-1</sup> e, em velocidades superiores, foi empregada a seguinte equação de estimativa:

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33U_2) \quad (2)$$

sendo  $a$  a constante psicrométrica modificada ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e  $U_2$  a velocidade do vento a 2 m acima do solo ( $\text{m s}^{-1}$ ).

A pressão de saturação de vapor do ar ( $e_s$ , em kPa) foi obtida pela equação de Tétens (Murray, 1967), com coeficientes ajustados conforme recomendação de Fischer *et al.* (1987), pela equação:

$$e_s = 0,6107 e^{((17,2694Tm)/(237,3+Tm))} \quad (3)$$

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

A pressão parcial de vapor ( $e$ , kPa) foi calculada pela equação:

$$e = e_s \frac{UR}{100} \quad (4)$$

sendo  $UR$  é a umidade relativa do ar média diária (%).

O déficit de saturação do ar médio diário ( $D$ , kPa) foi calculado pela equação:

$$D = e_s - e \quad (5)$$

O calor latente de evaporação ( $L$ ) foi estimado pela equação:

$$L = 2,501 - 0,002361Tm \quad (6)$$

A radiação solar global ( $R_g$ ) foi medida na estação automática. Na ausência de medidas, a radiação global foi estimada a partir dos dados de duração do brilho solar (insolação) medido com heliógrafo Negretti Zambra e com a equação de Ångström-Prescott:

$$R_g = Ra(b_0 + b_1 n/N) \quad (7)$$

sendo  $Ra$  a densidade de fluxo de radiação solar global incidente no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $b_0$  e  $b_1$  os coeficientes ajustados para o planalto médio do Rio Grande do Sul por Fontana & Oliveira (1996),  $n$  é a insolação registrada com heliógrafo ( $\text{h dia}^{-1}$ ) e  $N$  o comprimento do dia ( $\text{h dia}^{-1}$ ).

O saldo de radiação ( $Rn$ , MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) foi calculado pela equação de Brunt Penman (Berlato & Molion, 1981) com a seguinte equação

$$Rn = Rg(1 - r) - \sigma(Tm + 273,15)^4 \left(0,56 - 0,0779\sqrt{e}\right) \left(0,1 + 0,9 n/N\right) \quad (8)$$

sendo  $Rg$  a radiação global (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>),  $r$  o albedo da superfície gramada de 0,23 (Allen *et al.*, 1998),  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzman (4,98x10<sup>-9</sup> MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> K<sup>-4</sup>),  $Tm$  a temperatura média diária (°C), e a pressão parcial de vapor (kPa),  $n$  a insolação (h dia<sup>-1</sup>) e  $N$  o comprimento do dia (h dia<sup>-1</sup>).

Dos componentes do balanço hídrico foram avaliados a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), evapotranspiração real ( $ET_r$ ), déficit e excesso hídrico e a razão  $ET_r/ET_0$ . Com os valores diários destes componentes foram calculadas médias móveis de intervalos de cinco dias, a fim de diminuir a variabilidade e facilitar a interpretação dos resultados.

Eventos de geada foram obtidos em registros feitos na estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), também localizada na sede da Embrapa Trigo. Por critérios de observação do INMET, a intensidade de cada evento de geada foi classificada em fraca, moderada e forte, por observação visual e pela temperatura do ar, com notas de 0, 1 e 2, respectivamente. Foram considerados apenas os eventos de geada de abril a setembro, nos três anos.

O cálculo da soma térmica (graus-dia) foi efetuado pelo método residual ( $ST$ , GD), considerando a temperatura base inferior ( $T_b$ ) de 5°C, conforme a equação:

$$ST = \sum_{d=1}^n \left( \frac{T_x + T_n}{2} - T_b \right) \quad (9)$$

sendo  $T_x$  e  $T_n$  as temperaturas do ar diárias máxima e mínima (°C), respectivamente.

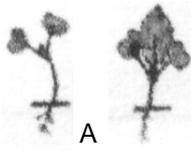
Para caracterizar a condição térmica do ciclo da canola, nas diferentes datas de semeadura e em todos os anos, foram ajustadas equações lineares de primeiro grau da soma térmica em função de dias após a emergência das plantas. O coeficiente angular de cada equação representa o acúmulo térmico médio por dia, em cada data de semeadura.

### **3.4 Avaliações fenológicas**

A caracterização de eventos fenológicos da cultura foi efetuada pela observação das datas de ocorrência dos principais estádios de desenvolvimento da canola, segundo critérios descritos na Tabela 1. As observações foram efetuadas às segundas, quartas e sextas-feiras de cada semana. A mudança de estágio foi considerada quando 50 % das plantas apresentavam a condição estabelecida, na haste principal.

Com as datas de ocorrência dos estádios (Tabela 1) foram definidos os subperíodos: semeadura à emergência (SE-EM); emergência a final de roseta (EM-FR); final de roseta ao início do florescimento (FR-IF); emergência ao início do florescimento (EM-IF); início do florescimento ao estágio G3 (IF-G3); início do florescimento ao final do florescimento (IF-FF); início do florescimento à colheita - G5 (IF-G5); estágio G3 ao final do florescimento (G3-FF); estágio G3 à colheita (G3-G5); final do florescimento à colheita (FF-G5); emergência à colheita (EM-G5).

TABELA 1. Estádios fenológicos da canola, adaptados de CETIOM (Fonte: Iriarte &amp; Valetti, 2008).

Estádio	Caracterização	Subperíodo
S	Semeadura	GERMINAÇÃO
A	Cotilédones visíveis (emergência)	PLÂNTULA
B1	Uma folha verde desenvolvida	
B2	Duas folhas verdes desenvolvidas	
B3 a B6	Três a seis folhas verdes desenvolvidas	ROSETA
C1	Aparecimento de folhas novas (final de roseta)	
C2	Entrenós visíveis e vestígios de ramificações principais	ALONGAMENTO
D1	Inflorescência visível	
D2	Botão coberto com inflorescências secundárias visíveis	
E	Botão separado	
F1	Primeiras flores abertas (início do florescimento)	FLORESCIMENTO
F2	Alongamento do ramo floral com numerosas flores abertas	
G1	Queda de pétalas com 10 primeiras síliquis com 2 cm	
G3	Síliquis com mais de 4 cm	
FF	Final do florescimento	MATURAÇÃO
G4	10% das síliquis com grãos com coloração escura	
G5	90% das síliquis com grãos com coloração escura (colheita)	

\* CETIOM - Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux et du Chanvre.

### 3.5 Avaliações fenométricas

Avaliações fenométricas da canola foram efetuadas na ocasião da coleta semanal de plantas ou, eventualmente, em coletas quinzenais, nas parcelas de cada experimento, em cada ano. Em cada unidade experimental foi coletada, de forma aleatória, uma planta, que foi cortada ao nível do solo. As plantas coletadas foram divididas em folhas, hastes, flores e síliquis. Com as folhas foi determinada a área foliar. Em seguida, as folhas e os demais órgãos da parte aérea da planta foram acondicionados em embalagens de papel, para determinar a massa de matéria seca.

As folhas de cada planta foram dispostas, horizontalmente, e separadas sobre uma superfície plana, com cor contrastante ao verde, para obter fotografias com câmera digital. Para permitir a calibração das fotografias foi considerado um retângulo com 5 e 10 cm de largura e comprimento, respectivamente. A determinação da área foliar foi realizada através do programa Quant.v.1.0.2 (Vale *et al.*, 2002). O índice de área foliar foi determinado pela equação:

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (10)$$

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

Após a determinação da *AF*, os fragmentos das plantas (folhas, hastes, flores e síliquis) foram colocados em estufa com circulação forçada de ar, mantida à temperatura de 65°C, até obtenção de massa constante. As amostras secas foram pesadas em balança com resolução de 0,001g. Após a pesagem, as síliquis foram debulhadas para determinar a matéria seca de grãos, mediante nova secagem em estufa e pesagem. Assim, foi determinada a massa da matéria seca total da parte aérea da planta, das síliquis, das hastes, das folhas, das flores e dos grãos. Todas as determinações de matéria seca seguiram os procedimentos descritos, anteriormente.

Na maturação dos grãos foi determinada a matéria seca total da parte aérea das plantas (*MSTM*) e dos grãos (*MSGM*) a partir da coleta de doze plantas por unidade experimental, cortadas ao nível do solo. Assim, foi possível determinar o índice de colheita (*IC*, em %) pela equação:

$$IC = \frac{MSGM}{MSTM} 100 \quad (11)$$

Para as análises estatísticas de repartição da matéria seca foram utilizadas três observações sequenciais de matéria seca no florescimento pleno, para

caracterizar a condição média do dossel das plantas. O florescimento pleno foi considerado no período de máxima emissão de flores, compreendido entre 100 e 350 GD de soma térmica, após o início do florescimento (Bolis *et al.*, 2009). A estatura do dossel foi determinada, semanalmente, na parte central da unidade experimental, com auxílio de régua graduada.

A matéria seca total produzida após o florescimento pleno (*MSTR*) foi calculada pela diferença entre a matéria seca total das plantas na maturação (*MSTM*) e no florescimento pleno (*MSTF*), pela equação:

$$MSTR = MSTM - MSTF \quad (12)$$

Foram calculadas as relações entre as massas de matéria seca no florescimento pleno e após o florescimento pleno com a matéria seca na maturação, *IMSF* e *IMSR*, respectivamente, pelas seguintes equações:

$$IMSF = \frac{MSTF}{MSTM} \quad (13)$$

$$IMSR = \frac{MSTR}{MSTM} \quad (14)$$

### 3.6 Radiação solar fotossinteticamente ativa

A radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA, 400 – 700 nm) foi medida com conjuntos de barras contendo cinco sensores constituídos por células de silício amorfo, ligadas em paralelo (Chartier *et al.*, 1989; Pandolfo, 1995) e espaçadas em 20 cm. Cada barra foi conectada a um multiplexador de 32 canais, ligado a um datalogger CR1000 de marca Campbell. A RFA foi medida apenas nos experimentos de 2010 e 2011.

A calibração de cada barra foi realizada com um ceptômetro AccuPAR de marca Decagon Devices, em um dia sem presença de nuvens, com os sensores nivelados, longitudinal e transversalmente. As leituras foram realizadas em

intervalos de 30 s e suas médias foram armazenadas a cada 2 min. Cada parâmetro de calibração foi obtido pelo coeficiente angular da respectiva equação linear, passando pela origem, entre o sinal elétrico dos sensores, registrado no datalogger, e RFA medida no ceptômetro.

Para medição da radiação solar fotossinteticamente ativa transmitida pelo dossel da canola ( $RFA_t$ ) foram instaladas três barras a 5 cm do solo e para medição de RFA refletida pelo solo ( $RFA_{rs}$ ) foi instalada uma barra invertida, na mesma posição que as anteriores. Também, foram instaladas duas barras sobre a cultura para medição de RFA refletida pelo sistema solo-cultura ( $RFA_{rsc}$ ). A RFA incidente ( $RFA_{inc}$ ) foi medida por duas barras instaladas acima do topo do dossel de canola. A disposição das barras, no campo, tinha direção transversal às linhas de plantas.

Os dados de RFA foram coletados a cada 30 s e suas médias foram armazenadas a cada 10 min, em datalogger modelo CR1000 de Campbell Scientific, com multiplexador de 32 canais. Assim, foi possível monitorar, de forma contínua, RFA ao longo do desenvolvimento da canola. Para evitar problemas de segurança na área experimental, em 2010, os equipamentos foram instalados no início do dia das segundas, quartas e sextas-feiras de cada semana, e recolhidos ao final de cada dia.

Os dados de RFA foram registrados em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $RFA_m$ ) e transformados para  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  ( $RFA$ ) conforme a metodologia de Thimijan & Heins (1983):

$$RFA = \sum_{\text{diário}} \frac{RFA_m \times t}{4,596 \times 1000000} \quad (15)$$

sendo  $t$  corresponde ao tempo entre duas amostragens consecutivas, em segundos, 4,596 é o fator para a conversão de  $\mu\text{mol}$  para J, ou seja, de  $RFA_m$  em RFA, 1.000.000 é o fator de conversão de J para MJ.

A RFA interceptada pelo dossel ( $RFA_i$ ) foi calculada pela equação:

$$RFA_i = RFA_{inc} - RFA_t \quad (16)$$

sendo  $RFA_{inc}$  a radiação solar fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel e  $RFA_t$  a radiação solar fotossinteticamente ativa transmitida pelo dossel.

A RFA absorvida pelo dossel ( $RFA_a$ ) foi calculada pela equação:

$$RFA_a = RFA_{inc} - RFA_{rs} - RFA_t - RFA_{rsc} \quad (17)$$

sendo  $RFA_{inc}$  a radiação solar fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel,  $RFA_t$  a radiação solar fotossinteticamente ativa transmitida pelo dossel,  $RFA_{rs}$  a radiação solar fotossinteticamente ativa refletida pelo solo e  $RFA_{rsc}$  a radiação solar fotossinteticamente ativa refletida pelo sistema solo e dossel.

Na terceira data de semeadura 2011 (05/07), foram instaladas seis barras com sensores para medir a radiação fotossinteticamente ativa num nível superior à inserção das folhas e inferior às estruturas reprodutivas (hastes, flores e síliquas). Em cada genótipo (Hyola 61 e Hyola 432) foram instaladas duas barras para medição de RFA transmitida pelas estruturas reprodutivas e outra para medir RFA refletida pelas folhas, hastes e solo.

A RFA interceptada pelas estruturas reprodutivas ( $RFA_{ir}$ ) foi calculada pela equação:

$$RFA_{ir} = RFA_{inc} - RFA_{tr} \quad (18)$$

sendo  $RFA_{inc}$  a radiação solar fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel e  $RFA_{tr}$  a radiação solar fotossinteticamente ativa transmitida pelas estruturas reprodutivas.

A RFA absorvida pelas estruturas reprodutivas ( $RFA_{ar}$ ) foi calculada pela equação:

$$RFA_{ar} = RFA_{inc} - RFA_{rsf} - RFA_{tr} - RFA_{rsc} \quad (19)$$

A RFA interceptada pelas folhas e hastes ( $RFA_{if}$ ) foi calculada pela equação:

$$RFA_{if} = RFA_i - RFA_{jr} \quad (20)$$

A RFA absorvida por folhas e hastes ( $RFA_{afh}$ ) foi calculada pela equação:

$$RFA_{afh} = RFA_a - RFA_{ar} \quad (21)$$

Com os dados da RFA incidente, absorvida e interceptada pelo dossel foram determinadas as eficiências de interceptação ( $\varepsilon_i$ ) e de absorção ( $\varepsilon_a$ ), pelas equações 22 e 23, respectivamente:

$$\varepsilon_a = \frac{RFA_a}{RFA_{inc}} \quad (22)$$

$$\varepsilon_i = \frac{RFA_i}{RFA_{inc}} \quad (23)$$

O coeficiente de extinção ( $k$ ) de RFA pelo dossel foi estimado em função das eficiências de interceptação calculadas e do índice de área foliar ( $IAF$ ) observado. Na estimativa de  $k$  foram utilizadas médias de  $\varepsilon_i$  calculadas a partir do período compreendido entre observações de  $IAF$ , sendo considerado da metade do intervalo de observações, antes e após a determinação de  $IAF$ . Na sequência, o coeficiente  $k$  foi obtido pelo ajuste do coeficiente angular “ $b$ ” na linearização da equação de Monsi & Saeki (1953), resultante da adaptação da lei de Beer, na seguinte forma:

$$\ln(1 - \varepsilon_i) = -k IAF \quad (24)$$

sendo  $k$  o coeficiente de extinção,  $\varepsilon_i$  a eficiência de interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa pelo dossel e  $IAF$  o índice de área foliar.

Com o coeficiente de extinção foi possível estimar a eficiência de interceptação ( $\varepsilon_i$ ) em períodos nos quais  $RFA_i$  não foi medida. Para tal, foi estimado o índice de área foliar ( $IAF$ ) em função da soma térmica acumulada (graus-dia) através de modelos não lineares, descritos a seguir. Para estimar a

$RFA_i$ , a eficiência de interceptação ( $\epsilon_i$ ) foi multiplicada por  $RFA_{inc}$  medida ou por  $RFA_{inc}$  calculada a partir de dados horários da radiação solar global medida na estação automática, dependendo da disponibilidade de dados. Neste último caso, a radiação global foi multiplicada pelo coeficiente de 0,3786 (Apêndice 9), obtido a partir da relação entre RFA medida pelo ceptômetro e a radiação global da estação automática. Com isto, foi possível obter  $RFA_i$  para cada horário e dia e determinar seu acúmulo ao longo do ciclo da cultura ( $\sum RFA_i$ ), necessária para calcular a eficiência do uso de RFA ( $EUR$ ), pela seguinte equação:

$$MST = a \sum RFA_i + b \quad (25)$$

sendo  $a$  a  $EUR$ ,  $b$  o parâmetro linear e  $RFA_i$  o acúmulo de radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel.

Para estimar  $EUR$  foram utilizados dados de matéria seca total, com o respectivo somatório de  $RFA_i$  em cada data de observação. Assim, foram ajustadas equações lineares de primeiro grau, tendo a matéria seca total da parte aérea como variável dependente do somatório de  $RFA_i$ . O coeficiente angular da equação linear representa a eficiência do uso de RFA interceptada, considerando a matéria seca total da parte aérea da planta. Em função da disponibilidade de dados, modelos de  $EUR$  foram ajustados para todas as datas de semeadura dos genótipos Hyola 61, em 2010 e 2011, e Hyola 432, em 2011.

### 3.7 Componentes e rendimento de grãos

Em 2009, a avaliação do rendimento de grãos foi realizada pela soma de três subamostras de 1,0 m<sup>2</sup> (1,0 x 1,0 m), constituindo uma área de 3 m<sup>2</sup> por parcela. A área colhida, em 2010 e 2011, foi de 6 m<sup>2</sup> em cada parcela (2,0 x 3,0 m). As plantas foram colhidas manualmente, acondicionadas em sacos de algodão e postas a secar em casas de vegetação com cobertura de vidro. As

plantas foram debulhadas mecanicamente, com equipamento apropriado, e os grãos foram limpos com peneiras operadas manualmente e por ventilação forçada. Com os grãos limpos foi determinada a massa de matéria seca e o rendimento de grãos corrigido à umidade de 8,0 %.

Os componentes do rendimento de grãos determinados foram: densidade de plantas (DP), número de síliquas por planta (NSP), número de grãos por síliqua (NGS) e massa de mil grãos (MMG). A densidade de plantas foi determinada por contagem em duas linhas com três segmentos de 1,0 m de comprimento. NSP foi determinado pela contagem das síliquas contidas em doze plantas, em 2009, e em seis plantas, em 2010 e 2011. Para ser considerada, a síliqua tinha que apresentar, no mínimo, um grão perceptível ao tato.

O número de grãos por síliqua (NGS) foi determinado pela debulha e contagem manual dos grãos contidos em 25 síliquas, extraídas aleatoriamente de cada planta amostrada. A massa de mil grãos (MMG) foi determinada pela pesagem da matéria seca contida em 400 grãos, no ano de 2011, e extrapolada para 1.000 grãos. Os grãos foram coletados nas amostras utilizadas para determinação do rendimento de grãos. Em 2009 e 2011, MMG foi determinada pela massa de matéria seca dos grãos contidos em três e em seis amostragens das 25 síliquas utilizadas para determinar NGS, respectivamente, ou seja, cada subamostra, por parcela, continha 285 grãos, em média. A MMG foi corrigida para a umidade de 8,0 %.

### **3.8 Análises estatísticas**

Utilizando o programa SAS (SAS INSTITUTE INC., 2009), procedeu-se a análise de variância dos dados, segundo o delineamento experimental adotado, através do procedimento "glm" (*general linear models*). Os efeitos simples e as

interações entre fatores foram considerados significativos a 5 % e 25 % de probabilidade de erro, respectivamente (Perecin & Cargnelutti Filho, 2008). As comparações entre médias foram avaliadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro (Storck *et al.*, 2000; Pimentel-Gomes, 2009). Nas análises quantitativas foram empregados os procedimentos "nlin" (*Nonlinear Model*) e "reg" (*regression*).

As análises de correlação de Pearson foram efetuadas com o procedimento "corr" (*correlation*). A significância dos coeficientes de correlação foi considerada com probabilidade mínima de erro de 5%.

### **3.8.1 Necessidades térmicas**

Para cada intervalo considerado, dentro do ciclo da cultura, foi efetuada análise de variância da soma térmica. Nos dados de 2009 os genótipos dos dois experimentos foram analisados individualmente, pois a análise conjunta ficou prejudicada devido à elevada relação entre os quadrados médios dos resíduos, que foi superior a 7, conforme preconiza Pimentel-Gomes (2009). Para 2010 e 2011, foram considerados os fatores genótipo e data de semeadura num delineamento de blocos casualizados, em esquema bifatorial.

### **3.8.2 Modelagem do índice de área foliar (IAF)**

A análise de variância foi efetuada com dados de *IAF* para cada ano, considerando os fatores data de semeadura e genótipo como qualitativos e semana de avaliação como quantitativo. O delineamento considerado para esta análise foi de blocos casualizados em esquema trifatorial, com parcelas subdivididas no tempo. O fator semana de avaliação foi tomado nas subparcelas.

Conforme os resultados das análises de variância foram ajustados modelos não lineares para estimativa de *IAF*, a partir de médias das parcelas e para cada nível dos fatores qualitativos que apresentaram interação com semana de avaliação. Esses modelos foram ajustados para a soma térmica (*ST*, em GD) como variável explicativa, conforme a seguinte equação:

$$IAF = a e^{-0,5 \left[ \frac{\ln \frac{GD}{b}}{c} \right]^2} \quad (26)$$

sendo *IAF* o índice de área foliar, *GD* a soma térmica pelo método residual, *a*, *b* e *c* parâmetros que expressam o *IAF* máximo, a necessidade térmica para o *IAF* máximo (em GD) e a longevidade do *IAF*, respectivamente (Apêndice 6).

O número de modelos, em cada ano, foi definido conforme os resultados das interações na análise de variância. Assim, para cada ano, foram testadas as hipóteses dos modelos não diferirem por estimativa de máxima verossimilhança, aplicando o teste qui-quadrado ao nível de 5 % de probabilidade de erro (Regazzi, 2003).

### 3.8.3 Coeficiente de extinção (*k*)

Os modelos para estimativa do coeficiente de extinção foram ajustados com dados de 2010 e 2011, para cada genótipo, data de semeadura e ano. Para cada ano, foram testadas as hipóteses dos modelos do coeficiente de extinção não diferirem, por estimativas de máxima verossimilhança, aplicando o teste F ao nível de 5 % de probabilidade de erro (Regazzi, 1993, 1996, 2003).

### **3.8.4 Eficiência do uso da radiação (*EUR*)**

Os modelos de *EUR* foram gerados com dados 2010 e 2011, para cada genótipo, data de semeadura e ano, exceto nas datas de semeadura de Hyola 432, em 2011, por limitação de dados. Assim, foram testadas as hipóteses dos modelos de *EUR* em cada ano não diferirem, por estimativas de máxima verossimilhança, aplicando o teste F ao nível de 5 % de probabilidade de erro (Regazzi, 1993, 1996, 2003).

### **3.8.5 Repartição da matéria seca**

A análise de variância da repartição da matéria seca no florescimento pleno e na maturação dos grãos, do índice de colheita, da fração da matéria seca acumulada até florescimento pleno em relação à matéria seca total (*IMSF*) e da fração da matéria seca acumulada após florescimento pleno, em relação à matéria seca total (*IMSR*), foram efetuadas considerando os fatores genótipo e data de semeadura.

### **3.8.6 Componentes e rendimento de grãos**

A análise de variância e a comparação de médias dos componentes e do rendimento de grãos foram efetuadas considerando os fatores genótipo e data de semeadura. Além disso, com todos os dados de 2010 e 2011, foi efetuada análise de correlação de Pearson entre o rendimento de grãos, a repartição da matéria seca e os componentes do rendimento de grãos.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Condições meteorológicas dos períodos experimentais**

Em todos os anos, as correlações entre os valores dos elementos meteorológicos e as respectivas médias de séries históricas foram positivas e significativas (Tabela 2). As correlações positivas indicam que os anos de 2009, 2010 e 2011 seguiram a condição média da região do ponto de vista térmico. A umidade relativa do ar e a insolação também seguiram a condição média, exceto em 2009. Entretanto, a ausência de correlação na precipitação pluvial indica que os anos de 2009, 2010 e 2011 tenderam a uma condição distinta da média da região.

Temperaturas do ar superiores a 30°C e temperaturas médias diárias do ar inferiores a 5°C, prejudiciais ao desenvolvimento da canola (Thomas, 2003), ocorreram em todo período experimental. Nos três anos de estudo, também ocorreram geadas entre maio e setembro, de intensidade variável (Apêndice 7). O ano de 2011 foi o mais severo, com relação à ocorrência de geadas durante o ciclo da canola. Isto indica que, em alguns casos, ocorreram condições térmicas desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura.

Em 2009, houve predomínio de excessos hídricos, conforme pode ser observado na Figura 1. No mesmo ano, foram registrados dois períodos com déficit hídrico durante o ciclo da canola (Figura 2; Apêndice 10). O primeiro deles foi curto e ocorreu no final de agosto, quando as plantas da semeadura de

20/5/2009 estavam em florescimento. Naquele momento, a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência ( $E_{Tr}/E_{To}$ ) foi reduzida até 0,8. O segundo período ocorreu entre meados de outubro e meados de novembro, diminuindo a razão  $E_{Tr}/E_{To}$  a 0,5 (Figura 2). Este período coincidiu com o subperíodo de final do florescimento à maturação dos grãos da semeadura de 03/07/2009.

TABELA 2. Estatísticas descritivas e correlações de Pearson para temperatura máxima (Tx), média (Tm) e mínima (Tn) do ar, precipitação pluvial, umidade relativa do ar (UR) e duração do brilho solar (insolação) decenal de abril a novembro de 2009, 2010 e 2011 e respectivas médias climatológicas da série de 1961 a 1990 de Passo Fundo, RS.

ANO	Temperatura do ar (°C)			Prec. pluvial (mm dec <sup>-1</sup> )	UR (% mês <sup>-1</sup> )	Insolação (h mês <sup>-1</sup> )
	Tx	Tm	Tn			
Média						
2009	27,5	15,8	6,7	72,0	75,2	5,9
2010	26,3	15,3	6,9	48,7	75,7	5,6
2011	27,0	15,4	6,1	57,8	74,3	6,3
1961-1990	26,7	15,6	6,4	50,6	72,5	5,8
Desvio padrão						
2009	4,3	4,0	4,8	65,4	7,3	1,9
2010	3,8	3,3	3,9	59,4	7,2	2,1
2011	3,7	3,6	4,5	46,0	7,4	1,9
1961-1990	2,4	2,5	2,8	12,1	3,2	0,8
Coeficiente de variação (%)						
2009	15,8	25,4	71,7	90,9	9,7	31,5
2010	14,5	21,5	55,6	121,9	9,5	37,5
2011	13,7	23,2	73,3	79,6	9,9	30,2
1961-1990	9,0	16,0	43,4	23,8	4,5	14,2
Correlação de Pearson						
2009	0,82 <sup>***</sup>	0,92 <sup>***</sup>	0,83 <sup>***</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
2010	0,79 <sup>***</sup>	0,73 <sup>***</sup>	0,62 <sup>***</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>***</sup>	0,53 <sup>***</sup>
2011	0,82 <sup>***</sup>	0,85 <sup>***</sup>	0,67 <sup>***</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>***</sup>	0,67 <sup>***</sup>

\*\*\* e <sup>ns</sup> correlação de Pearson significativa a 1% de probabilidade de erro e não significativa pelo teste t, respectivamente.

O ano de 2010 apresentou três períodos de restrição por deficiência hídrica à cultura (Figura 2). Essas limitações foram mais prolongadas e intensas do que em 2009. O primeiro período de déficit hídrico coincidiu com o crescimento

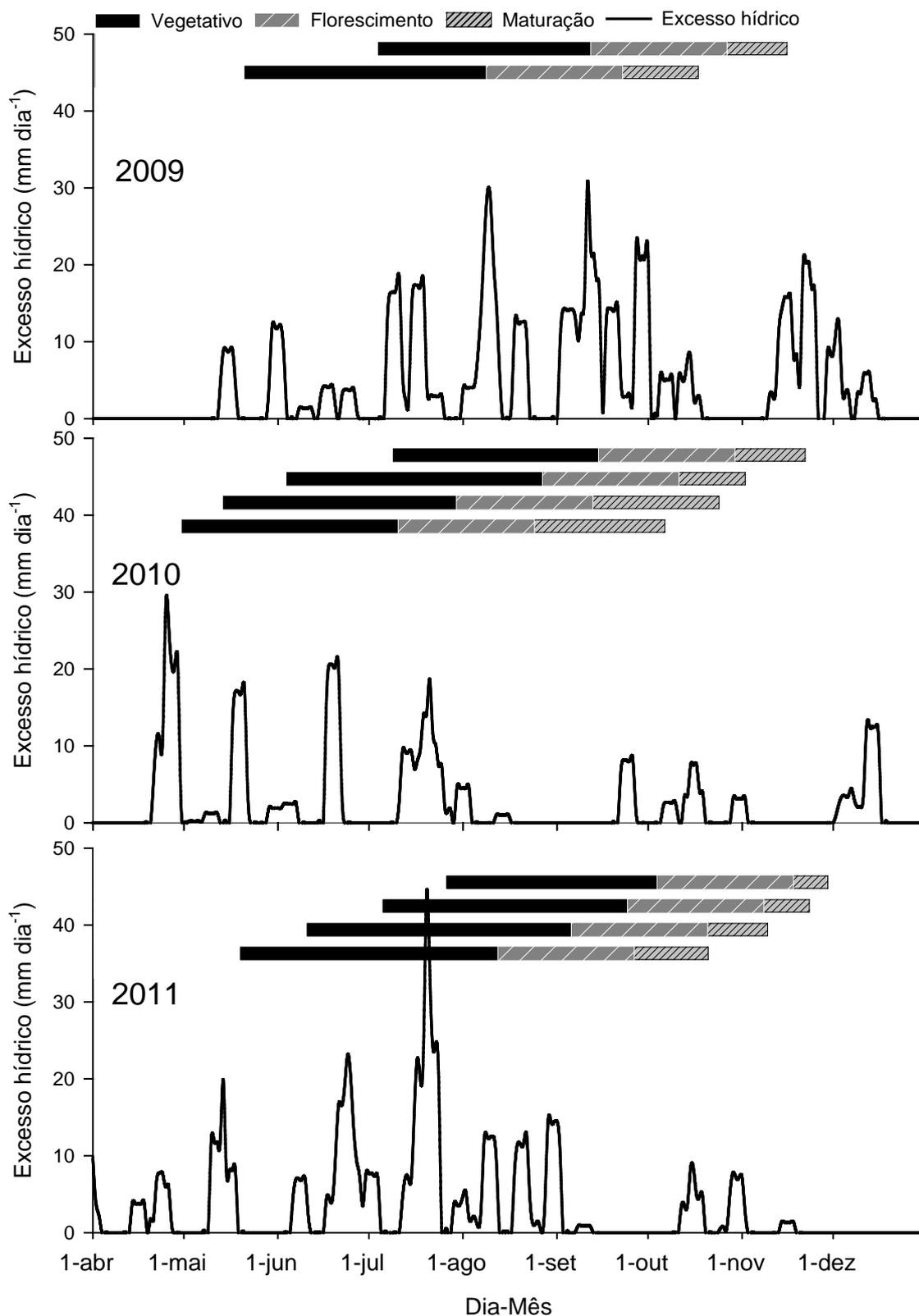


FIGURA 1. Média móvel de cinco dias para o excesso hídrico estimado por balanço hídrico diário, de abril a dezembro nos anos de 2009, 2010 e 2011, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo-RS.

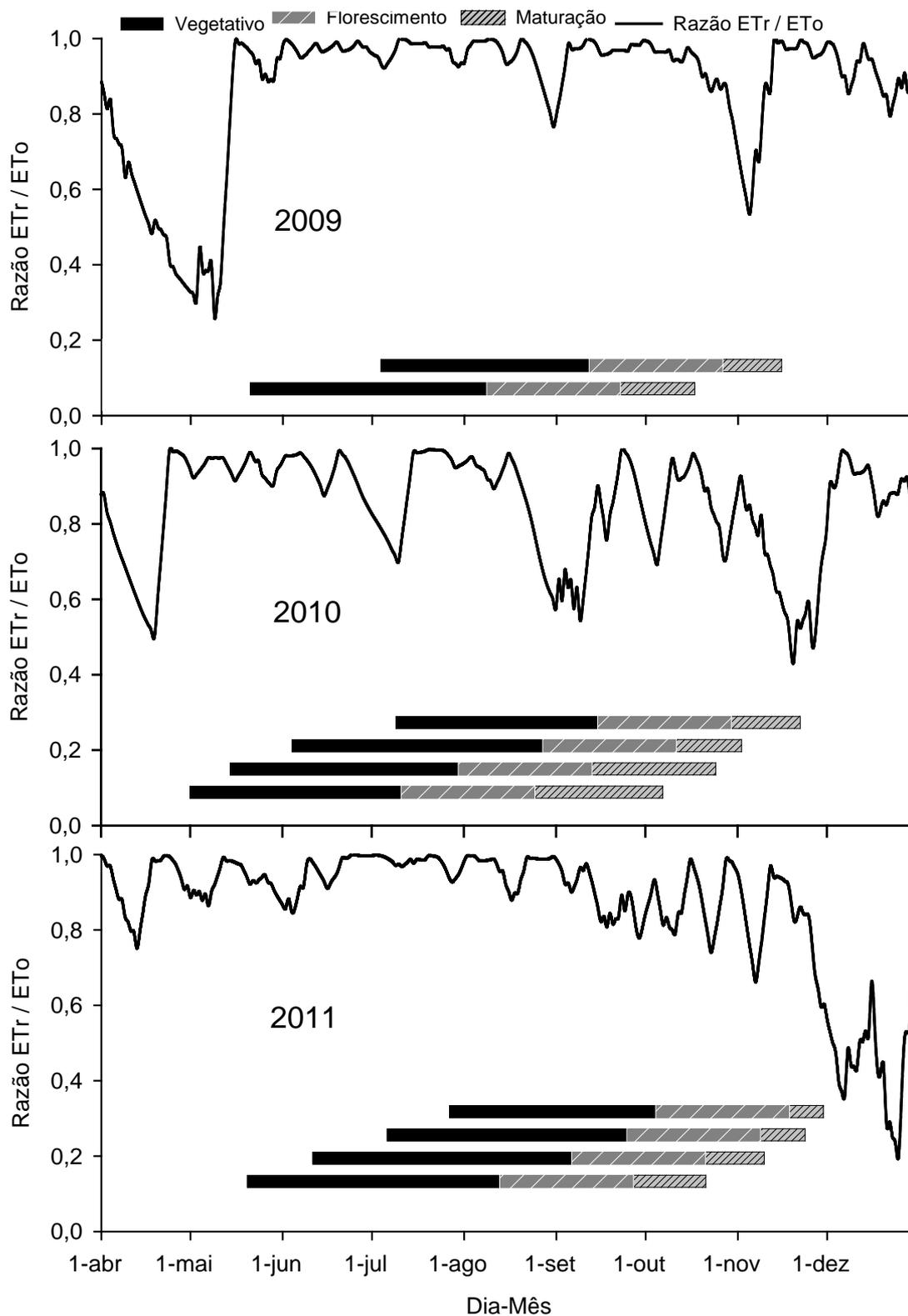


FIGURA 2. Média móvel de cinco dias para a razão entre evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração de referência (ETo) ( $E_{Tr}/E_{To}$ ), segundo balanço hídrico diário, de abril a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo-RS.

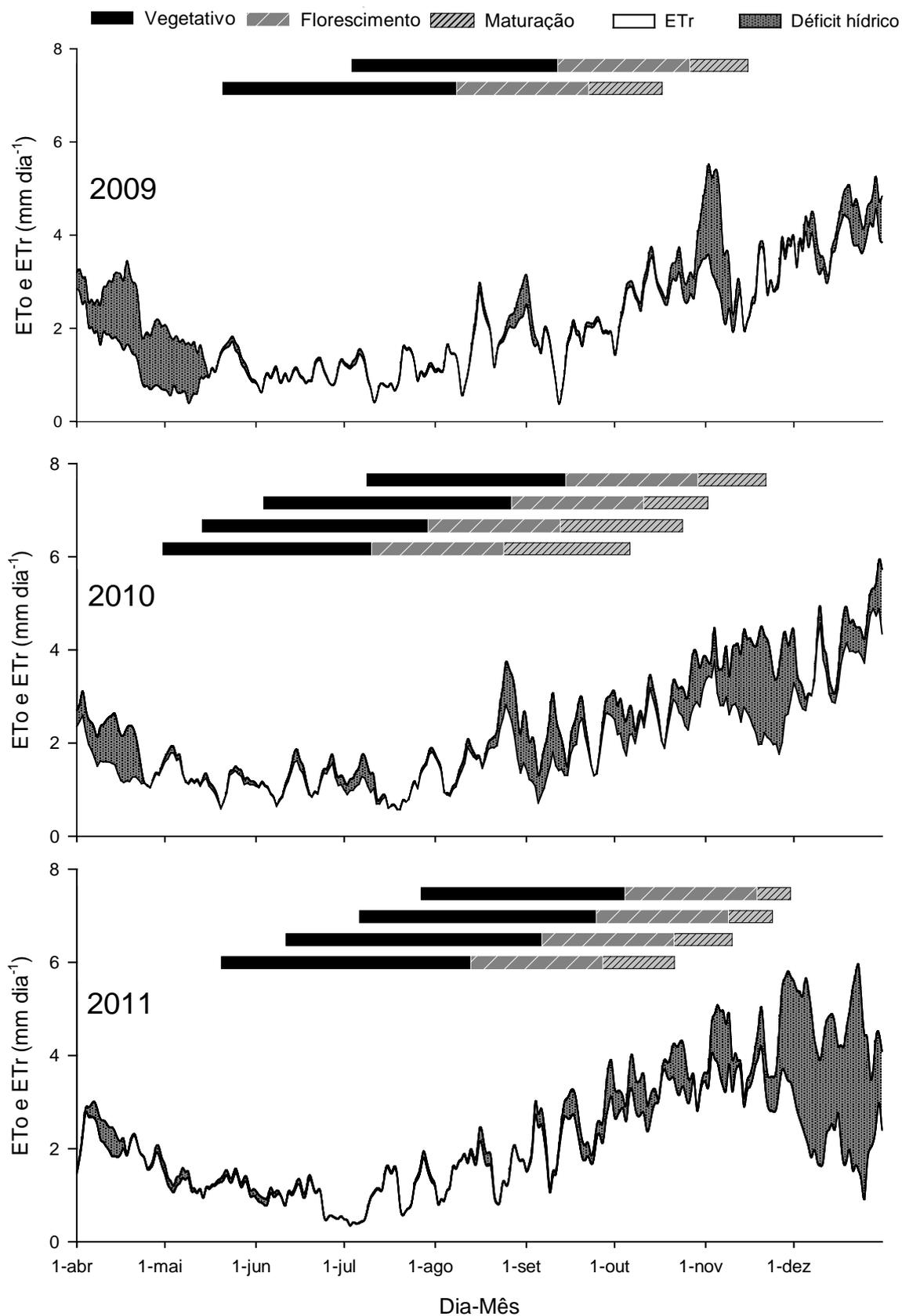


FIGURA 3. Média móvel de cinco dias para evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração real (ETr) e déficit hídrico, obtidos em balanço hídrico diário, de abril a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.

vegetativo da canola, em todas as datas de semeadura. O segundo período coincidiu com o enchimento dos grãos da semeadura de 29/04/2010, com o término do florescimento da semeadura de 13/05/2010, com o início do florescimento da semeadura de 03/06/2010 e com o final do período vegetativo da semeadura de 8/07/2010 (Figura 2). O terceiro período ocorreu do final do florescimento à maturação dos grãos, principalmente, nas semeaduras de 03/06/2010 e 08/07/2010.

Em 2011, houve excessos hídricos mais intensos nos meses de junho, julho e agosto e maior frequência de geadas do que nos anos anteriores. Os excessos hídricos e as geadas ocorreram no período vegetativo da canola, para todas as semeaduras, e se estenderam até a metade do período de florescimento da semeadura de 19/05/2011. Posteriormente, houve elevação contínua e gradativa da demanda evaporativa da atmosfera (Figura 3), com poucos excessos hídricos e deficiências hídricas de menor intensidade do que em 2010.

#### **4.2 Necessidade térmica da canola**

Considerando apenas os valores absolutos médios, relativos às datas de semeadura e aos genótipos Hyola 61 e Hyola 432, em cada ano, verificou-se que a canola necessitou 1.199, 1.263 e 1.475 GD, em 127, 143 e 132 dias, para cumprir o ciclo (EM-G5) nos anos de 2009, 2010 e 2011, respectivamente (Tabela 3; Tabela 4; Tabela 5; Apêndice 11; Apêndice 12; Apêndice 13). Estes resultados indicam que a necessidade térmica da canola variou entre anos. Em 2011, a necessidade de graus-dia foi 23 e 16 % maior que 2009 e 2010, respectivamente, na média dos genótipos e datas de semeadura.

TABELA 3. Acúmulo de graus-dia nos principais subperíodos de desenvolvimento de genótipos de canola e de *Brassica juncea* L., em diferentes datas de semeadura, no ano de 2009. Passo Fundo, RS.

Subperíodo*	Graus-dia** (GD)					Média	CV (%)
	<i>B. juncea</i>	Hyola 43	Hyola 432	Hyola 60	Hyola 61		
..... 20/05/2009.....							
SE-EM	124,8	124,8	124,8	124,8	124,8	124,8	0,0
EM-FR	249,1 b	275,3 a	272,0 a	278,6 a	278,6 a	270,7	2,3
FR-IF	93,8 c	113,4 b	122,4 b	178,9 a	166,6 a	135,0	5,3
EM-IF	342,9 c	388,7 b	394,4 b	457,5 a	445,2 a	405,7	2,2
IF-G3	206,9 a	165,7 a	159,9 a	117,4 c	109,1 c	151,8	6,2
G3-G5	557,3 b	552,8 b	561,2 b	577,4 ab	598,0 a	569,3	2,2
IF-FF	350,5	454,7	467,6	503,6	483,1	451,9	14,7
IF-G5	764,2 a	718,4 b	721,1 b	694,8 b	707,1 b	721,1	1,8
FF-G5	413,7 a	263,7 b	253,5 b	191,3 b	224,0 b	269,2	24,3
SE-G5	1231,9 b	1231,9 b	1240,3 b	1277,1 a	1277,1 a	1251,6	1,0
EM-G5	1107,1 b	1107,1 b	1115,5 b	1152,3 a	1152,3 a	1126,8	1,2
..... 03/07/2009.....							
SE-EM	129,8	129,8	129,8	129,8	129,8	129,8	0,0
EM-FR	278,5	272,7	266,9	267,5	278,5	272,8	5,1
FR-IF	191,2	156,0	140,0	161,1	190,5	167,8	27,2
EM-IF	469,7	428,7	406,9	428,7	469,0	440,6	12,8
IF-G3	162,7	203,8	246,7	225,0	163,4	200,3	31,3
G3-G5	651,8	632,6	592,1	611,4	651,8	627,9	7,6
IF-FF	306,1 b	432,2 ab	453,9 a	432,2 ab	391,8 ab	403,2	14,0
IF-G5	814,5	836,3	838,8	836,3	815,2	828,2	3,8
FF-G5	508,4 a	404,2 b	384,9 b	404,2 b	423,4 b	425,0	8,3
SE-G5	1414,0	1394,8	1375,5	1394,8	1414,0	1398,6	1,7
EM-G5	1284,2	1265,0	1245,7	1265,0	1284,2	1268,8	2,8

\* Subperíodos de desenvolvimento da canola: SE-EM - Semeadura à emergência; EM-FR - emergência a final do período de roseta; FR-IF - final de roseta a início do florescimento; EM-IF - emergência a início do florescimento; IF-G3: - início do florescimento a síliquas com 4 cm; IF-FF - início a final do florescimento; G3-G5 - síliquas com 4 cm à maturação dos grãos; FF-G5 - final do florescimento à maturação dos grãos; EM-G5 - emergência à maturação dos grãos. \*\* Médias com mesma letra minúscula entre genótipos, dentro de cada data de semeadura e subperíodo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV - coeficiente de variação.

Durante o período vegetativo (EM-IF) a canola necessitou 429, 526 e 629 GD em 60, 63 e 69 dias em 2009, 2010 e 2011, respectivamente, na média de cada ano. No período reprodutivo (IF-G5) a soma térmica foi de 771, 823 e 846 GD em 67, 79 e 63 dias em 2009, 2010 e 2011, respectivamente, na média de cada ano. Com esses dados médios, no período vegetativo de 2011 a necessidade térmica foi 47 e 16% superior àquelas ocorridas em 2009 e 2010, respectivamente, enquanto que no período reprodutivo de 2011 ela foi superior em apenas 10 e 3% a 2009 e 2010, respectivamente. A maior necessidade

térmica que ocorreu em 2011, no ciclo da canola, pode ser atribuída a diferenças nas condições térmicas (Apêndice 7; Apêndice 14) e hídricas (Figura 1) ocorridas no período vegetativo (EM-IF), nos três anos de experimentos.

TABELA 4. Acúmulo de graus-dia nos principais subperíodos de desenvolvimento da cultura da canola em diferentes datas de semeadura e genótipos, no ano de 2010. Passo Fundo, RS.

Subperíodo*	Genótipo	Graus dia** (GD)				Média	CV (%)
		29/04/2010	13/05/2010	03/06/2010	08/07/2010		
SE-EM	Hyola 432	83,3	114,1	80,0	81,1	88,5	
	Hyola 61	83,3	116,7	80,0	81,1	90,3	
	Média	83,3b	115,6a	80,0b	81,1b	89,4	4,0
EM-FR	Hyola 432	385,2	353,8	424,5	381,5	388,9	
	Hyola 61	385,2	351,3	424,5	379,7	385,2	
	Média	385,2b	352,4c	424,5a	380,5b	386,9	1,0
FR-IF	Hyola 432	180,8	171,6	158,3	97,9	152,2 A	
	Hyola 61	167,5	150,7	144,3	77,1	134,9 B	
	Média	174,1a	161,2a	151,3a	87,5b	143,5	14,3
EM-IF	Hyola 432	566,0	508,9	582,8	470,4	532,0	
	Hyola 61	552,6	501,9	568,7	456,9	520,0	
	Média	559,3a	505,4b	575,7a	463,7c	526,0	3,8
IF-G3	Hyola 432	367,2	122,4	252,3	243,0	246,2	
	Hyola 61	336,2	112,6	218,8	247,9	228,9	
	Média	351,7a	117,5c	235,5b	245,5b	237,5	20,6
G3-G5	Hyola 432	385,5	706,8	545,1	610,8	575,8	
	Hyola 61	344,4	729,6	579,8	606,3	569,0	
	Média	364,9c	716,6a	564,9b	608,5b	572,4	7,3
IF-G5	Hyola 432	791,5	829,2	825,6	853,7	825,0	
	Hyola 61	743,3	887,0	798,6	854,2	820,8	
	Média	767,4	858,1	812,1	854,0	822,9	7,9
SE-G5	Hyola 432	1357,5	1338,0	1408,3	1324,2	1357,0	
	Hyola 61	1295,9	1388,9	1367,3	1311,1	1340,8	
	Média	1326,7	1363,4	1387,8	1317,6	1348,9	5,3
EM-G5	Hyola 432	1274,2	1232,5	1328,4	1252,9	1276,2	
	Hyola 61	1212,6	1272,2	1287,3	1230,0	1250,5	
	Média	1243,4	1255,2	1307,8	1239,8	1262,5	6,0

\* Subperíodos de desenvolvimento: SE-EM - Semeadura à emergência; EM-FR - emergência a final do período de roseta; FR-IF - final de roseta a início do florescimento; EM-IF - emergência a início do florescimento; IF-G3 - início do florescimento a siliquis com 4 cm; G3-G5 - siliquis com 4 cm à maturação dos grãos; FF-G5 - final do florescimento à maturação dos grãos; EM-G5 - emergência à maturação dos grãos. \*\* Médias com mesma letra minúscula e maiúscula entre genótipos e datas de semeadura, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV - coeficiente de variação.

TABELA 5. Acúmulo de graus-dia nos principais subperíodos de desenvolvimento da cultura da canola em diferentes datas de semeadura e genótipos, no ano de 2011. Passo Fundo, RS.

Subperíodo	Genótipo	Graus dia** (GD)				Média	CV (%)
		19/05/2011	10/06/2011	5/07/2011	26/07/2011		
SE-EM	Hyola 432	92,2	119,0	115,2	110,9	109,3	
	Hyola 61	92,2	129,0	112,5	110,9	111,1	
	Média	92,2 c	124,0a	113,8ab	110,9b	110,2	
EM-FR	Hyola 432	336,5 bA	455,2 aA	428,0aA	382,2abA	406,3	
	Hyola 61	352,9 aA	454,1 aA	445,9aA	427,4aA	422,4	
	Média	344,7	454,7	436,9	408,0	414,4	
FR-IF	Hyola 432	245,5 aA	149,3 bB	214,9 aA	208,3 aA	204,5	
	Hyola 61	264,0 aA	191,4 bA	237,0 abA	193,2 bA	221,4	
	Média	254,8	170,3	225,9	200,7	212,9	
EM-IF	Hyola 432	594,3	604,4	642,9	601,8	610,8B	
	Hyola 61	632,1	655,0	682,8	620,6	647,6A	
	Média	613,2 b	629,7b	662,9a	611,2b	629,2	
IF-FF	Hyola 432	413,1 bA	466,8 bA	446,2 abA	504,2 aA	457,6	
	Hyola 61	346,1 cB	443,9 aA	384,3 bcB	409,5 abB	395,9	
	Média	379,6	455,4	415,2	456,8	426,8	
FF-G5	Hyola 432	429,0	434,5	445,7	386,4	423,9	
	Hyola 61	430,5	379,0	457,2	389,0	413,9	
	Média	429,7 ab	406,7ab	451,4a	387,7b	418,9	
IF-G3	Hyola 432	124,6	186,3	198,3	263,5	193,2A	
	Hyola 61	89,4	160,3	181,7	180,4	153,0B	
	Média	107,0 b	173,3a	190,0a	222,0a	173,1	
G3-FF	Hyola 432	288,5	280,5	247,8	240,7	264,4	
	Hyola 61	256,7	293,9	202,6	229,0	242,3	
	Média	272,6 ab	286,3a	225,2b	234,9ab	253,7	
G3-G5	Hyola 432	717,5	715,0	693,6	627,0	688,3	
	Hyola 61	687,2	662,6	659,8	618,1	656,9	
	Média	702,3 a	688,8ab	676,7ab	622,5a	672,6	
IF-FF	Hyola 432	413,1	466,8	446,2	504,2	457,6A	
	Hyola 61	346,1	443,9	384,3	409,5	395,9B	
	Média	379,6 c	455,4ab	415,2bc	456,8a	426,8	
IF-G5	Hyola 432	842,1	901,3	891,9	890,5	881,4A	
	Hyola 61	776,6	822,9	841,4	798,5	809,9B	
	Média	809,3 b	862,1a	866,7a	844,5b	845,6	
EM-G5	Hyola 432	1436,3	1505,7	1534,8	1492,3	1492,3A	
	Hyola 61	1408,7	1477,9	1524,3	1419,1	1457,5B	
	Média	1422,5 c	1491,8ab	1529,5a	1455,7bc	1474,9	

\* Subperíodos de desenvolvimento: SE-EM - Semeadura à emergência; EM-FR - emergência a final do período de roseta; FR-IF - final de roseta a início do florescimento; EM-IF - emergência a início do florescimento; IF-G3 - início do florescimento a siliquis com 4 cm; IF-FF - início a final do florescimento; G3-G5 - siliquis com 4 cm à maturação dos grãos; FF-G5 - final do florescimento à maturação dos grãos; EM-G5 - emergência à maturação dos grãos. \*\* Médias com mesma letra minúscula e maiúscula entre genótipos e datas de semeadura, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV - coeficiente de variação.

Em 2011, as semeaduras se estenderam até o final de julho. Também neste ano, foi verificado maior número de geadas (Apêndice 7) do que nos anos anteriores, as quais se estenderam até setembro, associadas a frequentes excessos hídricos, acúmulos térmicos mais elevados (Apêndice 14) e maior disponibilidade de radiação global, a partir de meados de setembro (Apêndice 15). As geadas podem retardar e danificar o crescimento de folhas e estruturas reprodutivas de canola (Dalmago *et al.*, 2010) e os excessos hídricos podem limitar as trocas gasosas no solo (Klein & Libardi, 2002), dificultando a respiração radicular, assim, afetando o crescimento do sistema radicular. Somado a isso, os acúmulos térmicos de 2011 foram 5 e 10 % superiores aos de 2009 e 2010. Assim, a maior necessidade térmica para o desenvolvimento das plantas em 2011, em comparação a 2009 e 2010, foi consequência de acúmulos térmicos mais elevados (Apêndice 14), excessos hídricos e geadas, que foram desfavoráveis no período vegetativo da canola.

A duração do ciclo (EM-G5), em dias, dos híbridos de canola utilizados no primeiro experimento de 2009 foi dentro da ordem de grandeza obtida por Tomm *et al.* (2009). No entanto, para o segundo experimento ela está abaixo da duração obtida pelos mesmos autores (Apêndice 11). No mesmo ano de 2009, Luz *et al.* (2012) conduziram um experimento com diferentes datas de semeadura de canola em Santa Maria-RS, com o híbrido Hyola 61 entre outros genótipos e encontraram resultados equivalentes aos que foram obtidos no presente estudo, para datas de semeadura semelhantes, tanto nos subperíodos quanto no ciclo.

A duração do ciclo da canola nas diferentes datas de semeadura de 2010 e 2011, bem como dos genótipos empregados, também foram na ordem de grandeza esperada (Tomm *et al.*, 2009), exceto para a última data de 2011, devido ao maior acúmulo de graus-dia no período (Apêndice 12; Apêndice 13). A

duração média do período vegetativo (EM-IF) foi de 63 dias, nos três anos estudados, estando na faixa de 47 a 77 dias, observada por Tomm *et al.* (2009) para os genótipos Hyola 61 e Hyola 432. O mesmo aconteceu para o subperíodo de florescimento (IF-FF), o qual variou de 28 a 83 dias. Contudo, as diferenças em número de dias, verificados nos subperíodos entre as datas de semeadura, foram maiores e mais frequentes do que àquelas expressas em graus-dia. Tais resultados estão de acordo com Dalmago *et al.* (2009) e permitem inferir que, para a canola, o critério de tempo térmico (graus-dia) é mais indicado que o número de dias para expressar a duração do ciclo.

A necessidade térmica foi 27 e 44 % superior nos períodos da emergência ao início do florescimento e à maturação, em relação aos valores observados por Thomas (2003), respectivamente, quando considerada a mesma temperatura base de 0°C. As maiores necessidades térmicas em Passo Fundo podem ser atribuídas ao fato da temperatura do ar ser superior em relação àquelas observadas por Thomas (2003), no Canadá. Isto indica que parte dos valores de temperatura do ar mais elevadas, em Passo Fundo, foram contabilizadas, mas não contribuíram para o desenvolvimento da cultura, por estarem acima dos valores ótimos à canola (entre 13 a 22°C) (Thomas, 2003; Dalmago *et al.*, 2009; Edwards & Hertel, 2011). Além disso, o fotoperíodo apresenta menor variação em Passo Fundo do que nas condições do Canadá (Thomas, 2003). Apesar do efeito da temperatura do ar ser superior ao do fotoperíodo no desenvolvimento da canola (Dalmago *et al.*, 2009), pode ter havido também indução ao florescimento antecipado no Canadá em relação a Passo Fundo, uma vez que também são genótipos de canola de primavera (Friedt & Snowdon, 2009) .

As necessidades térmicas da canola cultivada nos Estados Unidos (Miller *et al.*, 2001) também foram menores do que em Passo Fundo. Entretanto, as

necessidades térmicas da canola deste estudo foram equivalentes quanto às diferenças entre genótipos Hyola 432 e Hyola 61 e à ordem de grandeza de outros resultados, também obtidos no Rio Grande do Sul (Krüger *et al.*, 2009), em diferentes espaçamentos e em apenas um ano de observação.

O acúmulo de graus-dia da semeadura ao início do florescimento (EM-IF) também está de acordo com dados obtidos por Tesfamariam (2004), na África do Sul, em latitude semelhante à de Passo Fundo, especialmente, se comparados aos do ano de 2011. Da mesma forma, para o período vegetativo (EM-IF), os dados médios dos três anos estiveram na mesma ordem de grandeza aos encontrados por Kerber *et al.* (2009).

Em 2009, houve diferenças entre genótipos na necessidade térmica e em número de dias para completar o ciclo apenas na primeira semeadura (20/05/2009). O primeiro experimento permitiu identificar três grupos de genótipos em relação ao ciclo total e ao período vegetativo. Os híbridos Hyola 60 e Hyola 61 demandaram maior necessidade térmica no ciclo total (SE-G5 e EM-G5) em relação aos demais genótipos e, em decorrência, apresentaram ciclo mais longo (Tabela 2; Apêndice 11). O subperíodo determinante para o prolongamento do ciclo foi o do final da roseta ao início do florescimento (FR-IF).

Os genótipos de canola Hyola 43 e Hyola 432 apresentaram ciclo total intermediário, com médias equivalentes à *Brassica juncea*. Nos períodos vegetativo e reprodutivo foi possível diferenciar os genótipos de *B. juncea* da canola (Hyola 43 e Hyola 432). O genótipo da *B. juncea* apresentou menor necessidade térmica no período vegetativo, em particular no subperíodo do final de roseta ao início do florescimento (FR-IF). Porém, o mesmo apresentou maior necessidade térmica no período reprodutivo, sobretudo do final do florescimento à maturação (FF-G5). Estas diferenças entre genótipos de canola e *B. juncea* se

compensaram ao longo do ciclo, resultando em totais equivalentes em graus-dia acumulados. Isto indica que o genótipo da *B. juncea* apresenta maior precocidade para o início do florescimento, como também verificaram Almeida *et al.* (2008), o que pode ser importante em ambientes cujo déficit hídrico se acentua no final do ciclo, uma vez que *B. juncea* tolera mais o déficit hídrico e temperaturas elevadas do que os genótipos de *Brassica napus* (Wright *et al.*, 1995).

Em 2010, não se observou diferença significativa para o acúmulo de graus-dia da emergência à maturação, tanto para datas de semeadura, quanto para genótipos (Tabela 4). Quanto ao número de dias entre a emergência e a maturação, houve diferenças significativas apenas entre a última data e as primeiras datas de semeadura (Apêndice 12). Estes resultados evidenciam que a soma térmica (graus-dia) apresentou menor variabilidade entre semeaduras que o número de dias para expressar a duração do ciclo, estando de acordo com o verificado em outras culturas por Gilmore & Rogers (1958), Arnold (1959) e Trentin *et al.* (2008).

Entre os genótipos estudados, foram verificadas diferenças significativas somente no subperíodo do final de roseta ao início do florescimento (FR-IF), sendo as necessidades térmicas superiores no Hyola 432 em relação ao Hyola 61. Entretanto, as diferenças entre os genótipos Hyola 432 e Hyola 61 no subperíodo de final de roseta ao início do florescimento (FR-IF) não influenciaram, de forma significativa, as necessidades do período vegetativo de ambos os genótipos. Dessa forma, as diferenças nas necessidades térmicas da canola entre datas de semeadura foram mais importantes do que entre genótipos, pois foram verificadas em todos os subperíodos vegetativos e em todo período vegetativo da canola. A canola da última semeadura de 2010 apresentou a menor necessidade térmica no período vegetativo (EM-IF).

Durante o ciclo da canola da semeadura de 8/07/2010, a razão  $E_{Tr}/E_{To}$  foi próxima da unidade até a metade do período vegetativo. Após, houve diminuição da razão  $E_{Tr}/E_{To}$  até o início do florescimento, evidenciando a ocorrência e a elevação do déficit hídrico (Figura 2; Figura 3; Apêndice 10). O aumento da deficiência hídrica no final do período vegetativo da canola da quarta data de 2010 foi concomitante com maiores acúmulos térmico (Apêndice 14), o que pode ter estimulado o início do período reprodutivo da cultura.

A data de semeadura e os genótipos não apresentaram efeitos sobre as necessidades térmicas de todo período reprodutivo da canola em 2010 (Tabela 4). No entanto, o efeito de data de semeadura passou a ser significativo quando o período reprodutivo foi desmembrado em dois subperíodos distintos. Apesar do coeficiente de variação ser elevado no subperíodo de início do florescimento até as primeiras síliquis (IF-G3), foram verificadas diferenças significativas nas necessidades térmicas entre as datas de semeadura da canola. Nas parcelas semeadas em 29/04/2010, 45,8 % da necessidade térmica do período reprodutivo foi atingida no subperíodo do início do florescimento até as primeiras síliquis (IF-G3), enquanto que para as demais datas de semeadura foi no máximo de 28,7%. A canola semeada em 29/04/2010 entrou em florescimento com déficit hídrico acentuado (Figura 2; Apêndice 10). Além disso, houve geadas fortes em dois dias seguidos que, provavelmente, comprometeram o florescimento das hastes principais da canola. Assim, as plantas emitiram novas hastes para compensar as perdas da haste principal, retardando a ocorrência do estágio G3 e elevando a necessidade térmica no subperíodo IF-G3 da canola semeada em 29/04/2010.

Na semeadura de 13/05/2010, o subperíodo de início do florescimento até as primeiras síliquis com 4 cm de comprimento (IF-G3), apresentou a menor necessidade térmica, em relação às demais datas. Este subperíodo da canola

compreende parte do florescimento e teve razão  $E_{Tr}/E_{Tm}$  elevada por vários dias, desde antes do florescimento até a metade do subperíodo (IF-G3), permitindo a formação de siliquis com mais de 4cm, que caracteriza o estágio G3. Assim, foram atendidas as necessidades hídricas das plantas no subperíodo de início do florescimento até as primeiras siliquis (IF-G3) da semeadura de 13/05/2010, reduzindo a necessidade térmica durante o mesmo, o que está de acordo com observações de Fochesatto (2012).

Nas semeaduras de 3/06/2010 e 8/07/2010 o subperíodo IF-G3 teve déficit hídrico, mas sem geada, resultando em valores intermediários de necessidades térmicas, em comparação às semeaduras de 29/04/2010 e 13/05/2010. Os valores absolutos de acúmulo de graus-dia se inverteram no subperíodo G3-G5 das semeaduras de 3/06/2010 e 8/07/2010, em relação ao subperíodo IF-G3, de forma a compensar as necessidades térmicas de todo período reprodutivo, resultando que a necessidade térmica não apresentou diferenças significativas entre as datas de semeadura.

Em 2011, não houve interação entre as datas de semeaduras e genótipos sobre a necessidade térmica da emergência à maturação (EM-G5). Porém, foram observadas diferenças significativas em EM-G5 entre datas de semeadura e genótipos (Tabela 5). Assim, as necessidades térmicas da canola foram menores na primeira (19/05/2011) e maiores na terceira semeadura (5/07/2011) de 2011. Além disso, o Hyola 432 apresentou maiores necessidades térmicas do que Hyola 61 no ciclo em 2011.

Até a metade do período reprodutivo o desenvolvimento da canola da semeadura de 19/05/2011 ocorreu com razão  $E_{Tr}/E_{To}$  superior a 0,8 (Figura 2), com frequentes excessos e pouca deficiência hídrica (Figura 1). O acúmulo térmico e a demanda evaporativa foram se acentuando nas demais datas de

semeadura, já a partir do início do florescimento da canola semeada em 10/06/2011 e durante o período vegetativo da canola das demais datas de semeadura. Além disso, as geadas fortes e moderadas que ocorreram no início e durante o período vegetativo da canola semeada em 5/07/2011, respectivamente, podem ter contribuído para o maior acúmulo de graus-dia no ciclo, o que também foi verificado no período vegetativo (EM-IF) do mesmo ano e data de semeadura.

O genótipo Hyola 432 apresentou maior necessidade térmica do que o Hyola 61 no ciclo total, em 2011, o que difere dos resultados do primeiro experimento de 2009, em que o Hyola 432 apresentou menor necessidade térmica em relação ao Hyola 61 no ciclo total. Contudo, nos subperíodos reprodutivos, o ambiente da primeira data de semeadura de 2009 apresentou razão  $E_{Tr}/E_{To}$  maior e taxas de acúmulo térmico menores do que em 2011. Assim, as respostas dos genótipos podem ter sido diferentes entre os dois anos, o que pode ser atribuído a diferenças nas condições hídricas (Figuras 1 a 3).

A necessidade térmica da cultura semeada em 5/07/2011 foi maior no período vegetativo (EM-IF), em comparação às demais semeaduras. A mesma representou, em média, 43 % da necessidade do ciclo total. No período vegetativo o Hyola 61 apresentou maior necessidade térmica do que Hyola 432, indicando que Hyola 61 tem menor precocidade para florescimento do que o Hyola 432. No período reprodutivo, do início do florescimento à maturação (IF-G5), a canola semeada em 10/06/2011 e 5/07/2011 apresentaram maiores necessidades térmicas do que aquela semeada em 19/05/2011 e 26/07/2011. Além disso, o Hyola 432 apresentou maior necessidade térmica do que o Hyola 61 na maioria das datas de semeadura, nos subperíodos do início ao final do florescimento (IF-FF) e de início do florescimento à maturação (IF-G5). A maior duração do

florescimento é uma característica importante do Hyola 432, pois permite a expectativa de maiores potenciais de rendimentos de grãos (Tomm *et al.*, 2009).

A elevação da temperatura do ar diminuiu a duração (dias) dos subperíodos da canola, conforme resultados obtidos em 2009 por Luz *et al.* (2012), com nove datas de semeadura dos híbridos Hyola 61 e Hyola 433, sem irrigação, em Santa Maria-RS. Os autores verificaram que a temperatura mínima basal variou entre subperíodos, considerando apenas o Hyola 61, também utilizado neste estudo. Contudo, apesar de ser empregada a temperatura base de 5°C no presente estudo, as diferenças nas necessidades térmicas da canola, verificadas entre datas de semeadura, nos diferentes subperíodos considerados, decorreram de outros fatores. Entre estes, é importante considerar que a relação entre taxa do desenvolvimento de uma cultura e a temperatura do ar pode não ser linear (Yin *et al.*, 1995; Garnier & Tardio, 1998; Bonhomme, 2000) e que o fotoperíodo pode provocar redução das necessidades térmicas (Dalmago *et al.*, 2009). Além disso, segundo Fochesatto (2012), a necessidade térmica da cultura da colza, com genótipos da mesma espécie da canola, se correlacionou positivamente com a deficiência hídrica. Assim, é provável que o déficit hídrico tenha interferido nos resultados deste trabalho.

#### **4.3 Ajuste de modelos do índice de área foliar**

A análise de variância para índice de área foliar (IAF) indicou que houve interação simples ( $P < 0,05$ ) entre datas de semeadura e datas de avaliação do IAF e interação tripla ( $P = 0,16$ ) entre genótipos, datas de semeadura e datas de avaliação, nos resultados de 2010 e 2011, respectivamente (Figura 4; Figura 5; Figura 6). Em 2010, não houve efeito significativo de genótipos (Figura 4), indicando que a evolução da área foliar foi semelhante nos dois híbridos de

canola. Isto é importante para modelagem, pois diminui a necessidade de parâmetros e modelos específicos para cada genótipo, reduzindo possíveis fontes de erros e simplificando o emprego de modelos de estimativa de IAF para a canola.

Houve ajuste significativo para modelos de estimativa de IAF, em função da soma de graus-dia acumulados, nos anos de 2010 e 2011 (Figura 4; Figura 5; Figura 6). Por outro lado, os coeficientes e modelos para a canola semeada em diferentes datas de semeadura e genótipos, nesses dois anos, podem ter sido influenciados pelas condições hídricas e térmicas ocorridas no período experimental. O excesso hídrico prejudicou o desenvolvimento das plantas de colza no período reprodutivo (Barni *et al.*, 1984), afetando o rendimento de grãos. As condições de solo com excesso hídrico devem ser evitadas na canola, devido a sensibilidade da cultura (Tomm *et al.*, 2009; Dalmago *et al.*, 2009; Edwards & Hertel, 2011).

Apesar dos solos de Passo Fundo serem naturalmente bem drenados (Streck *et al.*, 2008), o sistema de manejo em semeadura direta pode proporcionar adensamento superficial devido ao tráfego de máquinas, diminuindo a porosidade de aeração do solo (Klein & Libardi, 2002). A menor porosidade de aeração pode ser mais importante em anos de maior excesso hídrico, pois afeta o crescimento do sistema radicular. Como consequência, o crescimento da parte aérea e o rendimento de grãos podem ser afetados (Klein *et al.*, 2008).

Os modelos de IAF para genótipos não diferiram em cada data de semeadura de 2010. Porém, para 2011, os modelos de IAF da canola foram diferentes entre genótipos e datas de semeadura. Mesmo assim, em ambos os anos foram identificados modelos de IAF que não diferem entre datas de

semeadura. A evolução da área foliar, sem diferenças entre distintas semeaduras, indica que o potencial fotossintético de ambas as semeaduras não diferiu.

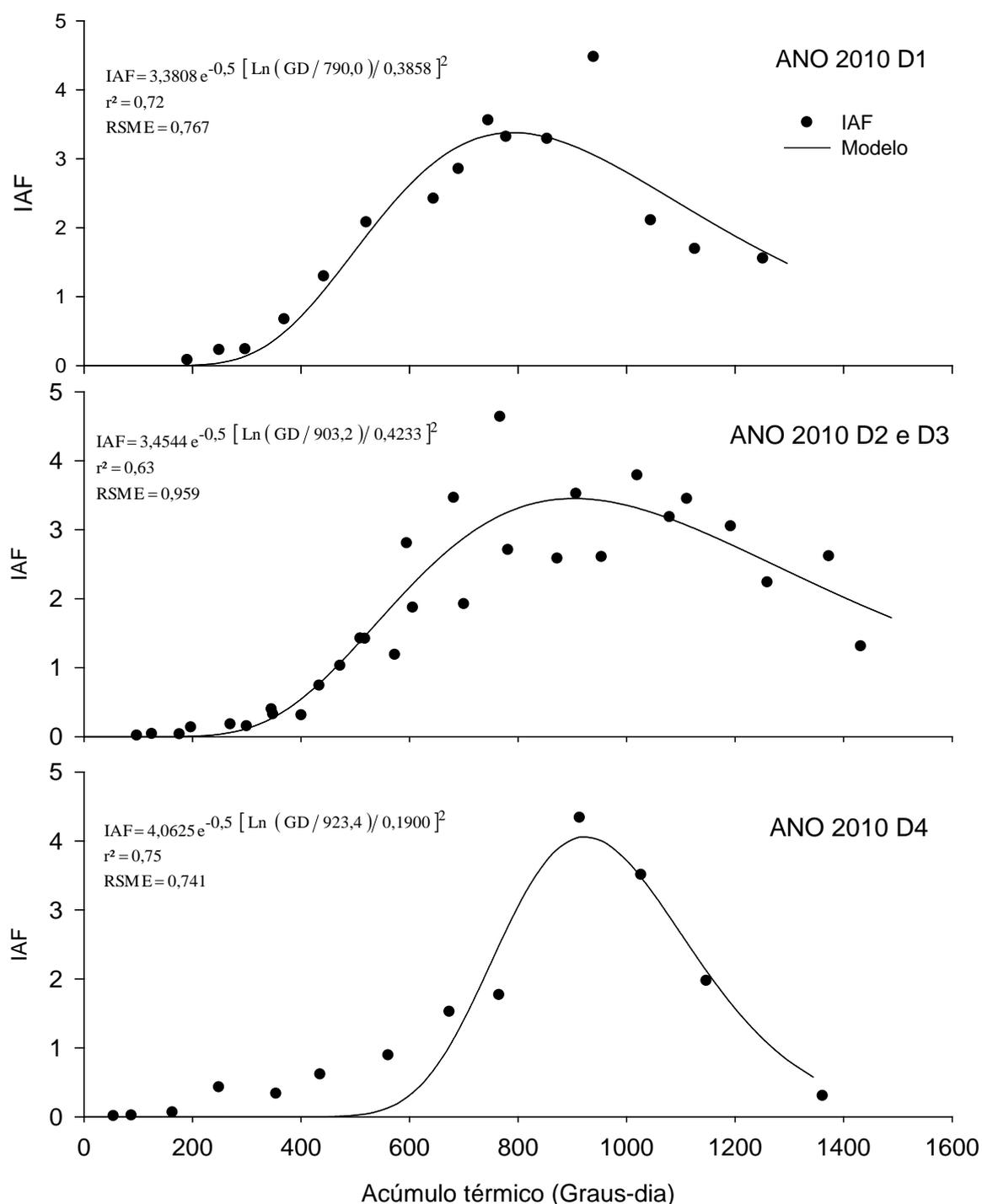


FIGURA 4. Modelos de ajuste do índice de área foliar (IAF) dos genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432, em função do acúmulo térmico (graus-dia), nas semeaduras de 29/04 (D1), 13/05 (D2), 03/06 (D3) e 08/07 (D4) no ano de 2010. Passo Fundo, RS.

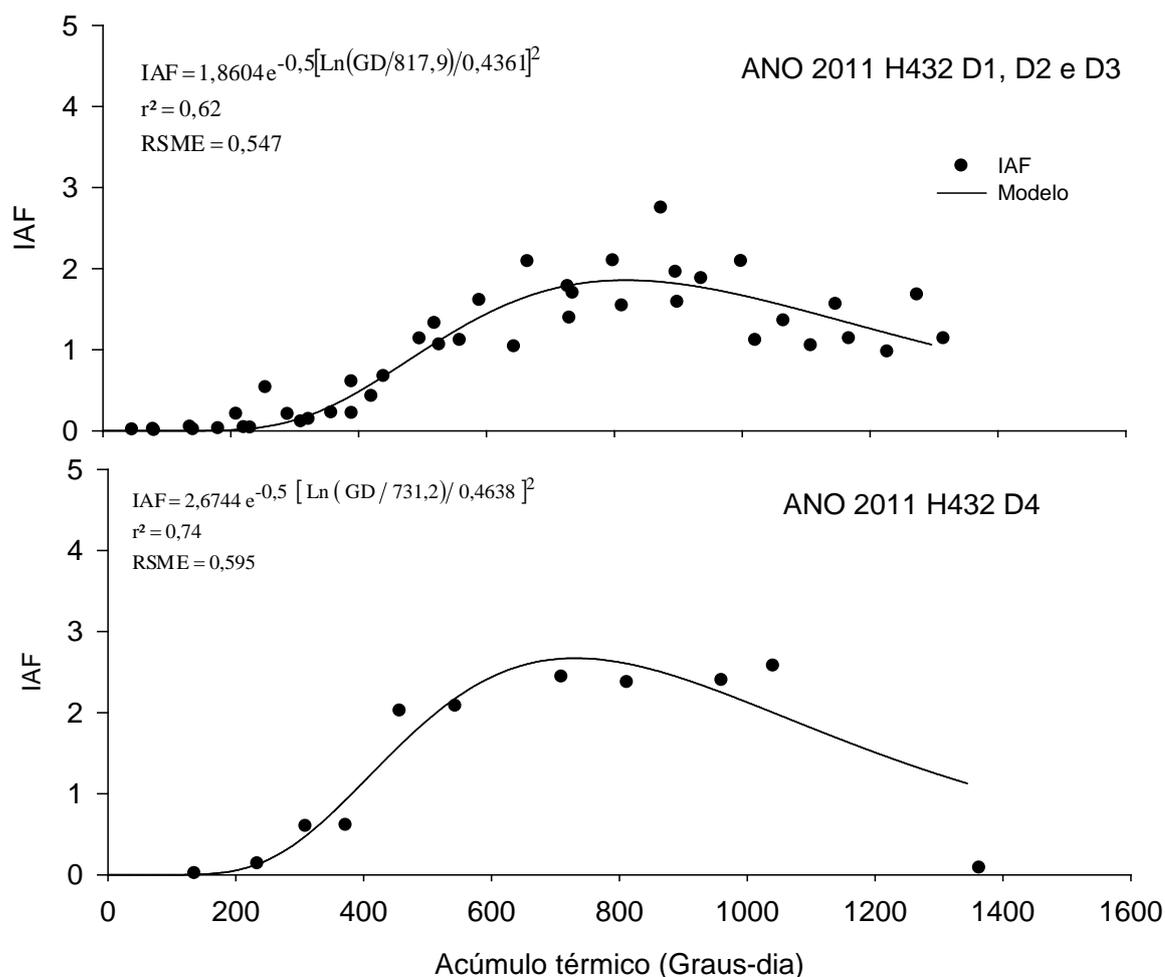


FIGURA 5. Modelos de ajuste do índice de área foliar (IAF) do Hyola 432 (H432), em função do acúmulo térmico (graus-dia), nas sementeiras de 19/05 (D1), 10/06 (D2), 05/07 (D3) e 26/07 (D4) no ano de 2011. Passo Fundo, RS.

As condições meteorológicas foram distintas entre as datas de sementeira de 2010 e 2011 e contribuíram na formação e evolução do IAF da canola. O período experimental de 2010 foi mais seco (Figura 1) e com acúmulos térmicos menores, em 10 %, em comparação a 2011 (Apêndice 14). Além disso, em 2011, houve maiores e mais frequentes excessos hídricos até agosto (Figura 1), em comparação a 2010.

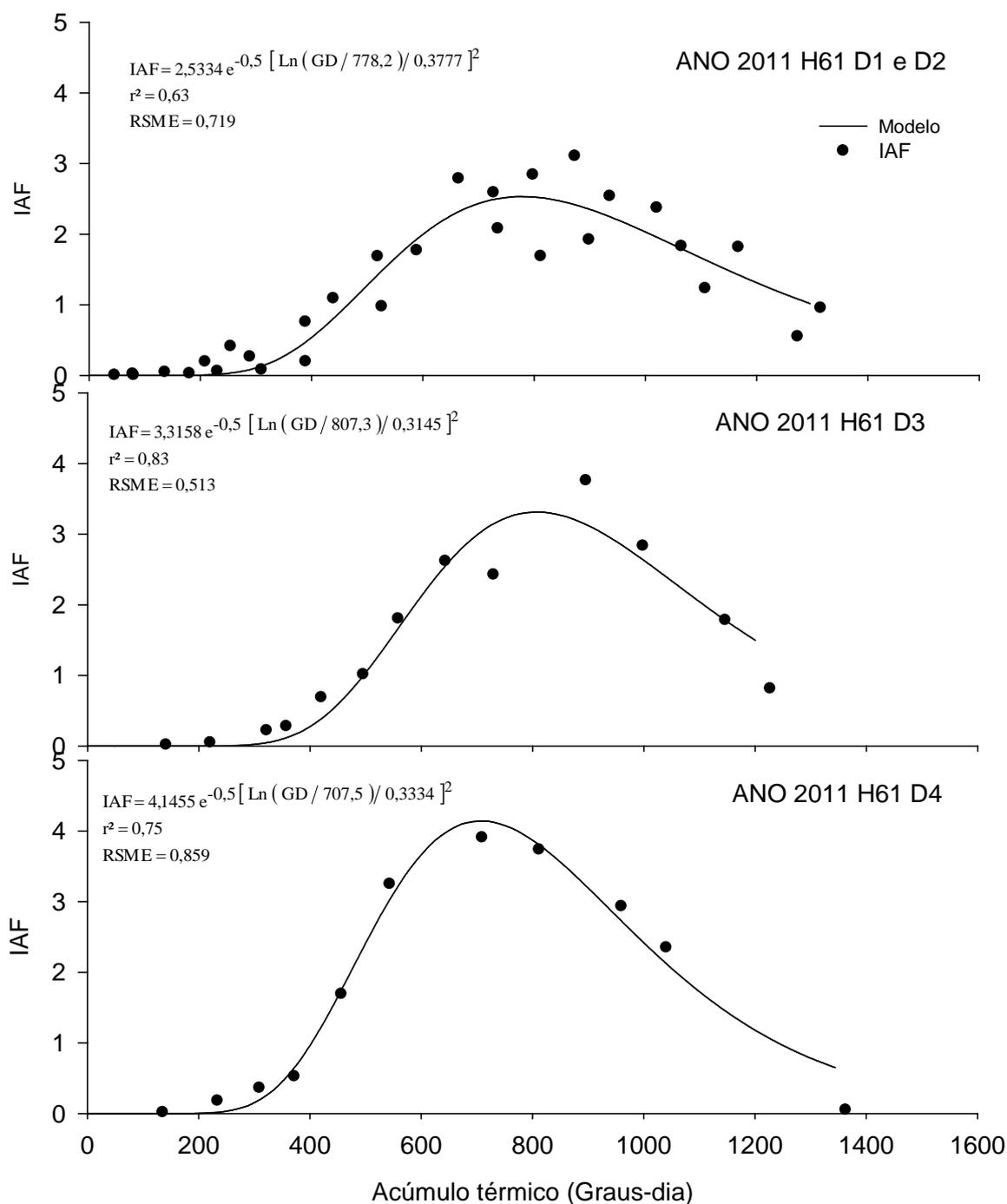


FIGURA 6. Modelos de ajuste do índice de área foliar (IAF) do Hyola 61 (H61), em função do acúmulo térmico (graus-dia), nas sementeiras de 19/05 (D1), 10/06 (D2), 05/07 (D3) e 26/07 (D4) no ano de 2011. Passo Fundo, RS.

Os modelos de regressão não linear da segunda e terceira sementeira de 2010 (13/05/2010 e 03/06/2010) não diferiram. Porém, para a primeira e a última sementeira (29/04/2010 e 08/07/2010) verificou-se a necessidade de modelos específicos para estimativa de IAF da canola. A raiz quadrada do quadrado médio do erro (RSME) e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) demonstram que os modelos

específicos para a primeira e a última semeadura apresentaram menores resíduos, do que para a segunda e a terceira data de semeadura. O uso de um modelo único para estimativa de IAF para a segunda e a terceira data de semeadura elevou o resíduo, mas esta contribuição não foi significativa.

Os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  do modelo não linear empregado para estimativa de IAF da canola em cada semeadura e genótipo, apresentados nas Figura 4, Figura 5 e Figura 6, representam o IAF máximo, a necessidade térmica para o IAF máximo (graus-dia acumulados) e a longevidade de IAF, respectivamente (Apêndice 6). Para diferentes semeadura e genótipos a necessidade térmica média da canola para IAF máximo foi de 872 e 768 GD, em 2010 e 2011, respectivamente. Assim, a menor necessidade térmica para ocorrência de IAF máximo pode ser atribuída a um maior acúmulo térmico, maiores excessos hídricos e maior disponibilidade de radiação solar, especialmente, a partir de setembro (Figura 1; Figura 2; Apêndice 15), em comparação a 2010.

Em 2010, o IAF máximo da canola ocorreu com maior necessidade térmica na quarta semeadura (08/07), em comparação às primeiras semeaduras, porém com menor longevidade de IAF. Isto indica que o IAF cresceu e decresceu num período mais curto do que nas datas de semeadura anteriores. Entretanto, na quarta semeadura de 2010 o modelo subestimou o IAF da canola até 600 GD, devido ao melhor ajuste no período em que IAF cresceu rapidamente.

Os modelos de estimativa do IAF da primeira semeadura de 2010 (29/04/2010) se diferenciaram em relação à segunda, terceira e quarta semeadura (13/05/2010, 03/06/2010 e 08/07/2010), principalmente, quanto à ocorrência do máximo IAF. O máximo IAF da primeira semeadura (13/05/2010) ocorreu com 790 GD, antes da segunda e terceira data de semeadura (13/05/2010 e 03/06/2010), que ocorreram com 903 GD. A necessidade térmica

da canola para a ocorrência do IAF máximo, na primeira semeadura de 2010 foi 8, 16 e 30 % inferior àquelas verificadas na segunda, terceira e quarta semeaduras, respectivamente (Apêndice 14).

Em 2011, os modelos de estimativa do IAF não diferiram entre a primeira e a segunda semeadura (19/05/2011 e 10/06/2011) para o Hyola 61 e entre a primeira, segunda e terceira semeadura (19/05/2011, 10/06/2011 e 05/07/2011) para o Hyola 432 (Figura 5; Figura 6). Para o mesmo ano, os modelos da primeira e terceira semeadura (19/05/2011 e 05/07/2011) do Hyola 61 também não diferiram (Apêndice 16).

Em 2011, o IAF máximo da canola seguiu a tendência verificada em 2010, com maiores valores nas datas de semeadura mais tardias, para ambos genótipos (Figura 4; Figura 5; Figura 6). O valor 1,86 para IAF máximo do Hyola 432 (Figura 5), verificado na primeira, segunda e terceira semeaduras de 2011 (19/05/2011, 10/06/2011 e 05/07/2011), exceto na última semeadura no Hyola 61 (26/07/2011), foi o menor valor verificado entre todos os resultados nos dois anos e genótipos avaliados. Isto indica que os ambientes de 2011 foram mais restritivos ao crescimento do IAF no Hyola 432, do que no Hyola 61. Nesse ano, o IAF máximo da última semeadura (26/07/2011) do Hyola 432 foi superior aos das semeaduras anteriores, mas ainda inferior ao da mesma data de semeadura e ano do Hyola 61.

Em 2011, o IAF máximo no Hyola 61 também foi inferior nas duas primeiras semeaduras, em comparação a datas de semeadura correspondentes em 2010. Entretanto, o maior IAF máximo ocorreu nas semeaduras mais tardias de cada ano, especialmente para o Hyola 61. Isto pode ser atribuído a melhores condições térmicas, hídricas e de disponibilidade da radiação solar nas semeaduras mais tardias (Figura 5; Figura 6). Isto indica que nas semeaduras de inverno a canola

apresenta crescimento mais acelerado, porém, menos duradouro, do que nas semeaduras no período mais indicado, de outono.

A última sementeira de 2011 (26/07/2011) se caracterizou por menores excessos hídricos no início do ciclo, em comparação às semeaduras anteriores. As deficiências hídricas e a demanda evaporativa atmosférica se elevaram no final do período vegetativo e durante período reprodutivo da canola (Apêndice 10; Figura 2; Figura 3). Além disso, a intensidade e frequência das geadas foram menores no período vegetativo da última sementeira (26/07/2011), em relação às anteriores (05/07/2011), em 2011. Quanto ao crescimento de IAF, as plantas do Hyola 61 foram mais responsivas às condições térmica e hídrica e à disponibilidade de radiação solar do que as do Hyola 432, pois as condições foram semelhantes para ambos genótipos, em cada sementeira. Em contrapartida, os valores do parâmetro que expressa a longevidade de IAF foram inferiores para o Hyola 61, em relação ao Hyola 432, em 2011. No entanto, o IAF máximo mais elevado e a maior reposta do IAF do Hyola 61 às condições dos ambientes podem ter repercutido em maior potencial fotossintético das plantas, em relação ao Hyola 432 (Figura 5; Figura 6). Os parâmetros de longevidade do IAF dos modelos de estimativa do mesmo foram equivalentes em 2010 e 2011, à exceção da última data de sementeira (08/07/2010) de 2010, em que o mesmo foi inferior a todos os demais.

Através dos modelos de estimativa de IAF dos dois genótipos, nas oito datas de sementeira de 2010 e 2011, foi possível destacar três intervalos importantes na evolução da área foliar, após a emergência das plantas. O primeiro intervalo compreendeu da emergência até 300 GD após, o segundo foi de 300 GD ao máximo IAF que, na média dos dois anos, ocorreu com 807 GD

após a emergência da canola, e o terceiro que se estendeu do máximo IAF (aos 807 GD) à maturação dos grãos, com 1.369 GD.

O primeiro intervalo de evolução da área foliar, da emergência a 300 GD, se estendeu até o final da formação da roseta, que antecede o alongamento da haste principal, o qual se caracterizou por baixos incrementos de IAF. Neste intervalo, a área foliar é importante para assegurar a síntese e o acúmulo de carboidratos necessários ao alongamento das hastes (Thomas, 2003; Edwards & Hertel, 2011). A síntese de carboidratos, neste período, é essencialmente dependente da fotossíntese realizada nas folhas (Thomas, 2003). Com o alongamento do caule surgem folhas novas que contribuem para manter e aumentar o IAF (Morrison *et al.*, 1992; Nanda *et al.*, 1995). Assim, tornam-se possíveis incrementos de área foliar cada vez maiores no segundo intervalo, até o IAF máximo da cultura, em função de taxas de crescimento mais elevadas nesse intervalo em relação ao primeiro (Chang, 1968).

Nas culturas de milho e soja também foram encontrados incrementos elevados de IAF a partir de, aproximadamente, 300 GD de acúmulo térmico (França *et al.*, 1999; Müller, 2001; Kunz *et al.*, 2007; Martorano, 2007). O IAF máximo também foi observado em milho com acúmulo térmico de 900 GD (Müller, 2001) e 800 GD (Kunz *et al.*, 2007) e em soja com 900 GD (Martorano, 2007). O decréscimo de IAF também foi verificado a partir de 900 GD em soja (Martorano, 2007) e de 800 a 900 GD em milho (Müller, 2001; Kunz *et al.*, 2007). As taxas de crescimento das culturas variam no tempo, em função das prioridades das plantas no desenvolvimento das mesmas, de modo que haja certa semelhança em culturas anuais (Chang, 1968; Monteiro, 2009)

No segundo intervalo de evolução da área foliar da canola ocorreram fortes incrementos de IAF, durante o alongamento da haste principal e início do

florescimento. O acúmulo térmico deste intervalo foi de 578 GD, na média de 2010 e 2011. Mesmo após o início do florescimento, ocorreram pequenos incrementos de IAF, provavelmente, devido à emissão de ramificações. O IAF máximo, ocorrido aos 807 GD, praticamente coincidiu com o início do estágio G3. Este é caracterizado pela presença de siliquis com mais de 4 cm de comprimento na haste principal, também no terço final do florescimento.

O IAF da canola diminuiu durante o terceiro intervalo de evolução da área foliar, até a maturação dos grãos. Neste intervalo ocorreu o terço final do florescimento, seguido pela formação e enchimento de grãos. Nele, as folhas foram, progressivamente, sendo sombreadas pelas estruturas reprodutivas (hastes, flores e siliquis), aumentando a contribuição da fotossíntese realizada nas siliquis e hastes para o enchimento de grãos (Mogensen *et al.*, 1997; Thomas, 2003; Edwards & Hertel, 2011) e compensando, em parte, a redução de IAF. A atividade fotossintética das hastes e siliquis é uma estratégia importante para a canola quando há redução de IAF (inclusive por deficiência hídrica), pois aumenta a resistência das plantas a condições adversas (Mogensen *et al.*, 1997).

Para a canola, na maioria das datas de semeadura, o máximo IAF foi equivalente aos demonstrados por Thomas (2003), exceto para a canola semeada mais tardiamente, em que os valores de IAF obtidos neste estudo tenderam a ser mais elevados em relação às primeiras semeaduras. A necessidade da canola em reduzir a área foliar pode ocorrer em função de limitações na disponibilidade da radiação solar (Gabrielle *et al.*, 1998) ou em função de deficiência hídrica (Jensen *et al.*, 1996). Isto demonstra que a disponibilidade de radiação solar e as condições térmica e hídrica afetaram a magnitude, a longevidade e o momento de ocorrência do máximo IAF na canola (Chang, 1968; Morrison *et al.*, 1992; Wright *et al.*, 1996; Dalmago *et al.*, 2009).

Os menores valores de IAF máximo da canola nas primeiras datas de semeadura de 2011 podem estar associados aos excessos hídricos no início do ciclo da cultura (Figura 1). Por outro lado, a ocorrência do máximo IAF, com maiores necessidades térmicas, em 2010, pode estar relacionada às deficiências hídricas maiores neste ano, em relação a 2011. Além disso, é possível que o maior acúmulo térmico possa ter interferido na manutenção do IAF elevado por períodos mais curtos, nas semeaduras mais tardias em relação às primeiras, de ambos os anos, acelerando a maturação das plantas.

#### **4.4 Ajuste de modelo energético**

A interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pela canola foi afetada pelo IAF e pelas estruturas reprodutivas. Na terceira semeadura de 2011 (05/07/2011) o IAF da canola foi a principal estrutura das plantas responsável pela RFA até a metade do subperíodo de florescimento (IF-FF) da canola (Figura 7). Em apenas 30 dias, a eficiência de interceptação passou de 0,16 para 0,94 aos 40 e 70 dias após a emergência, respectivamente, enquanto que o IAF variou de 0,2 a 1,9. A eficiência de interceptação estabilizou com IAF em torno de 2, que ocorreu no início do florescimento. Mesmo com a estabilização da interceptação de RFA foram constatados incrementos de IAF até o terço final do subperíodo de florescimento.

A participação das hastes, flores e síliquas (estruturas reprodutivas) da canola na interceptação de RFA ocorreu a partir da metade do subperíodo do florescimento. Os valores máximos de interceptação de RFA das estruturas reprodutivas coincidiram com o início da redução do IAF e foram da ordem de 70 a 80% da interceptação total pelo dossel. Após, a eficiência de interceptação de

RFA se manteve constante de 70 a 80% no Hyola 432 e Hyola 61, respectivamente, até o final do ciclo da cultura.

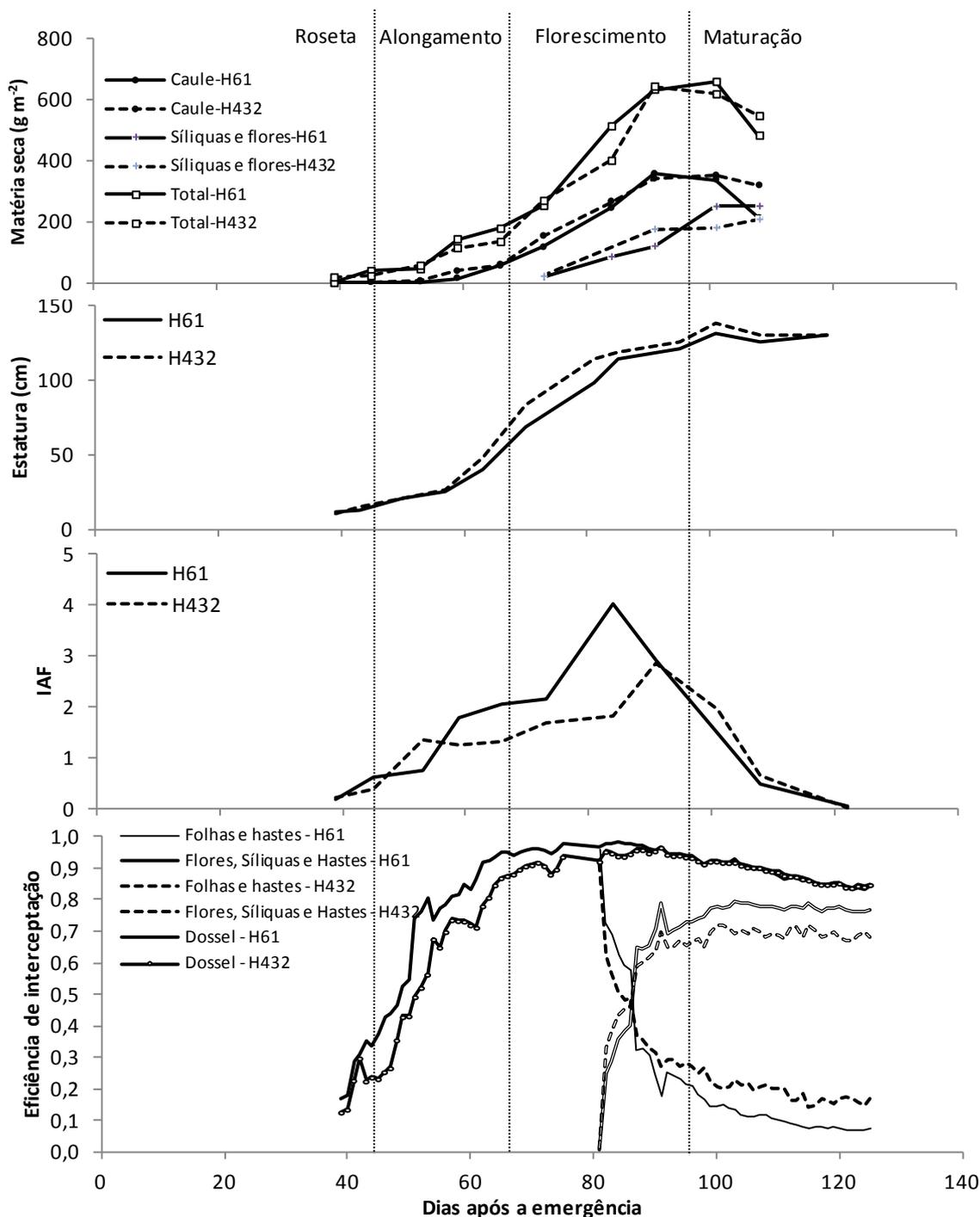


FIGURA 7. Eficiência de interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa e massa da matéria seca de diferentes estruturas vegetativas e reprodutivas, e índice de área foliar e estatura planta dos genótipos de canola Hyola 61 (H61) e Hyola 432 (H432), semeados em 05/07 do ano de 2011. Passo Fundo, RS.

O IAF médio no início do alongamento da haste principal dos dois genótipos de canola foi de 0,5, aos 45 dias após a emergência (DAE). Com o início do alongamento da haste principal foram constatados incrementos elevados na eficiência de interceptação de RFA. Isto ocorreu porque, no período de outono-inverno, a declinação solar aumenta o ângulo zenital da radiação solar, o que favoreceu o sombreamento das plantas, de uma linha sobre as outras (Müller & Bergamaschi, 2005). Assim, pequenos incrementos de IAF e da estatura das plantas de canola tiveram elevada contribuição na interceptação de RFA. Neste caso, o maior ângulo zenital da radiação solar foi determinante para os elevados valores de eficiência de interceptação de RFA.

A data média para início do florescimento dos genótipos de canola, Hyola 61 e Hyola 432 foi concomitante com o início da estabilização da eficiência da interceptação da RFA pelo dossel. Isto ocorreu quando a estatura das plantas e a massa de matéria seca das hastes e do total das plantas tinham cerca da metade dos respectivos valores finais. Tais resultados indicam que a canola acumulou e sintetizou grande parte da matéria seca após o início do florescimento (Figura 7). Com o início do florescimento foram verificados aumentos do IAF até o nível máximo no terço final do florescimento, seguido de um decréscimo acentuado na área foliar.

No florescimento pleno da canola, a fotossíntese realizada por siliquis e hastes pode representar 65 % do total realizado pela planta, sendo que no início da maturação dos grãos esta participação pode ultrapassar de 80% da fotossíntese realizada pela planta, segundo Thomas (2003). A elevada interceptação de RFA pelas siliquis, flores e hastes, além de representar uma estratégia de resistência das siliquis da planta à deficiência hídrica (Mogensen

*et al.*, 1997), tende compensar perdas na capacidade fotossintética das folhas, pela redução do IAF e pelo sombreamento causado pelas estruturas reprodutivas.

A canola apresenta elevada capacidade de remobilização dos fotoassimilados das folhas sombreadas para a formação e enchimento dos grãos, próximo ao final do ciclo (Edwards & Hertel, 2011). Assim, a redução do IAF, com a abscisão foliar causada pelo sombreamento ou por estresse abiótico, pode ser consequência da necessidade do ajuste das relações entre fonte e dreno, para assegurar o enchimento dos grãos (Taiz & Zeiger, 2006). Manter folhas sombreadas pode representar um aumento no dreno, pois tais folhas poderiam ser consumidoras de fotoassimilados diante da redução na transmissão de RFA, causada pela interceptação da mesma pelas estruturas reprodutivas.

A emissão de hastes foi importante para a emissão de novas folhas e flores. Contudo, em dosséis de canola as folhas de estratos superiores são menores que as inferiores (Morrison *et al.*, 1992; Nanda *et al.*, 1995) de modo a permitir maior penetração de RFA no dossel (Edwards & Hertel, 2011). Esta é uma característica importante para que a cultura mantenha sua capacidade fotossintética para atender às necessidades de formação e enchimento de grãos, em conjunto com hastes, siliquas e a remobilização de fotoassimilados de folhas sombreadas.

O genótipo Hyola 61 apresentou maior eficiência de interceptação de RFA do que o Hyola 432, tanto pelas folhas e hastes quanto pelas estruturas reprodutivas (Figura 7). Isto pode ser atribuído ao maior IAF verificado no Hyola 61, em relação ao Hyola 432 (Figura 5; Figura 6; Figura 7). Apesar disso, a evolução da eficiência de interceptação de RFA foi similar em ambos os genótipos, especialmente no terço final do ciclo.

Nos períodos experimentais de 2010 e 2011, o coeficiente de extinção médio para os genótipos de canola e em todas as semeaduras foi de 0,98 (Figura 8), compatível com culturas de folhas horizontais (Monsi & Saeki, 1953; Chang 1968). O coeficiente de extinção ( $k$ ) foi maior do que os verificados para a cultura do milho por Müller & Bergamaschi (2005), Kunz (2006) e Bergamaschi *et al.* (2010). A arquitetura foliar do milho, com folhas mais eretas do que a canola, permite maior penetração da radiação solar, resultando em menor  $k$  para RFA, comparado à canola. Em soja foi encontrado valor médio de 0,92 para o mesmo coeficiente (Martorano, 2007), estando próximo da ordem de grandeza verificada na canola. O valor de  $k$  em canola também pode ser atribuído ao maior ângulo zenital e ao menor fluxo de RFA incidente, durante o ciclo, em relação às culturas de primavera-verão, de soja e milho.

Em trigo foram verificados valores de  $k$  na ordem de 22 % inferiores aos registrados em canola (Yunusa *et al.*, 1993). As diferenças entre os coeficientes  $k$  de trigo e canola também podem ser atribuídas a diferenças na arquitetura foliar das espécies. Em trigo, assim como em milho, folhas mais eretas e menores conferem diferenças na arquitetura foliar dentro da própria espécie, que favorecem a maior penetração da RFA (Yunusa *et al.*, 1993; Müller & Bergamaschi, 2005). As possíveis diferenças nas características das folhas entre os genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432, não apresentaram efeito sobre o  $k$ .

A canola possui elevada capacidade em compensar alterações na densidade de plantas (Krüger *et al.*, 2011a). Segundo Edwards & Hertel (2011), em baixas densidades de plantas (20 plantas  $m^{-2}$ ) a canola apresenta índices de área foliar maiores do que em elevadas densidades de plantas (126 plantas  $m^{-2}$ ). Isto indica que é pouco provável encontrar diferenças no  $k$  entre o Hyola 61 e o Hyola 432.

As datas de semeadura e genótipos não apresentaram efeitos sobre o coeficiente de extinção de luz da canola, em ambos os anos (Figura 9). Os modelos de ajuste do  $k$ , para todos os genótipos de canola nas datas de semeadura estudadas, não diferiram dentro de cada ano. Esta resposta indica que houve similaridade na interceptação da RFA pelo dossel de canola, em cada ano, independentemente da data de semeadura e do genótipo utilizado.

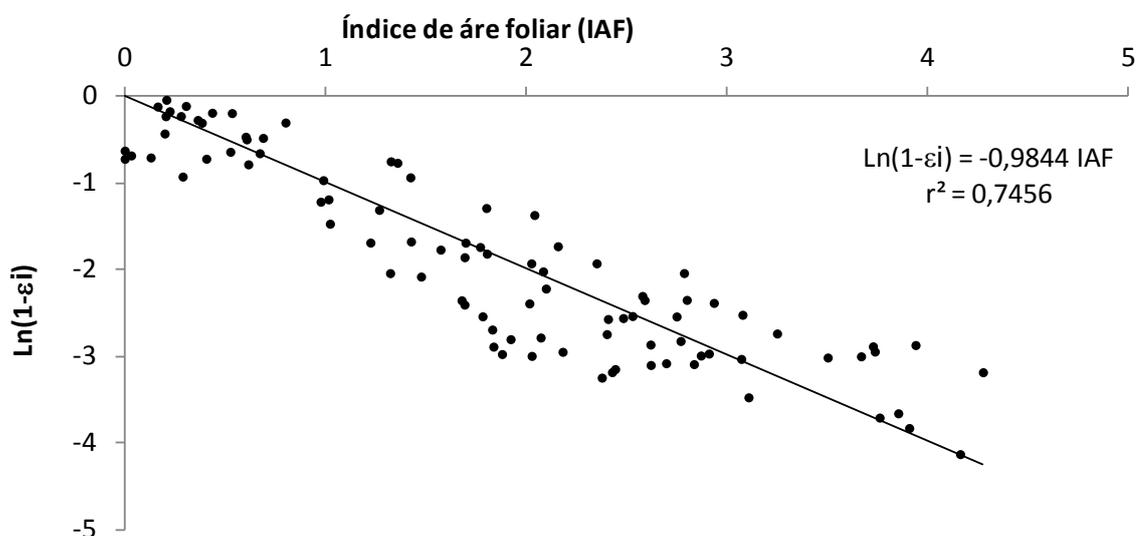


FIGURA 8. Coeficiente de extinção ( $k$ ) médio, representado pelo coeficiente angular da regressão linear entre a radiação fotossinteticamente ativa não interceptada ( $1 - \epsilon_i$ ) e o índice de área foliar para os genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432 nas datas de semeadura dos anos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.

As diferenças de IAF da canola em cada ano (Figura 4; Figura 5; Figura 6) não afetaram o  $k$ . No entanto, embora o IAF seja o principal responsável pela interceptação e absorção da RFA, as siliquis, flores e hastes também contribuíram na interceptação de RFA. Porém, os modelos de ajuste do  $k$  apresentados não consideram a contribuição das siliquis, flores e hastes, por serem função apenas do IAF.

A eficiência de interceptação de RFA pela canola foi máxima com IAF em torno de 2,0, o que equivale a cerca da metade do IAF máximo (Figura 7). Assim, elevado coeficiente  $k$  também pode ser atribuído à disposição alternada das

folhas da canola, sendo que, segundo Nanda *et al.* (1995), as folhas maiores estão situadas na porção mediana da haste principal.

O  $k$  para RFA interceptada pela canola foi de 0,94 e 1,04 nos anos de 2010 e 2011, respectivamente (Figura 9). O valor encontrado em 2011 foi levemente superior ao verificado em 2010. O  $k$  superior a 1,0 decorre de uma impropriedade do modelo que o quantifica, conforme proposto por Monsi & Saeki (1953), pois o modelo apenas considera o efeito de IAF. No caso da canola isto se justifica, uma vez que o dossel não é isotrópico e as hastes, flores e siliquis também interceptam a RFA.

Pelos resultados da Figura 7 é possível verificar que houve pouca elevação no IAF da canola dos 50 aos 70 dias após a emergência. Entretanto, a eficiência de interceptação continuou se elevando até estabilizar aos 70 dias. Após essa estabilização houve nova elevação do IAF, sem afetar a interceptação da RFA.

Justes *et al.* (2000) observaram que a deficiência de nitrogênio em colza de inverno afetou o índice de área foliar, a área das flores e das siliquis, que por sua vez, afetaram a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura. Desta forma, a eficiência de uso da radiação solar (EUR) também é afetada pela interceptação de RFA pelas flores e siliquis. Isto está de acordo com a capacidade de realização de fotossíntese nas siliquis e nas hastes (Mogensen *et al.*, 1997; Thomas, 2003).

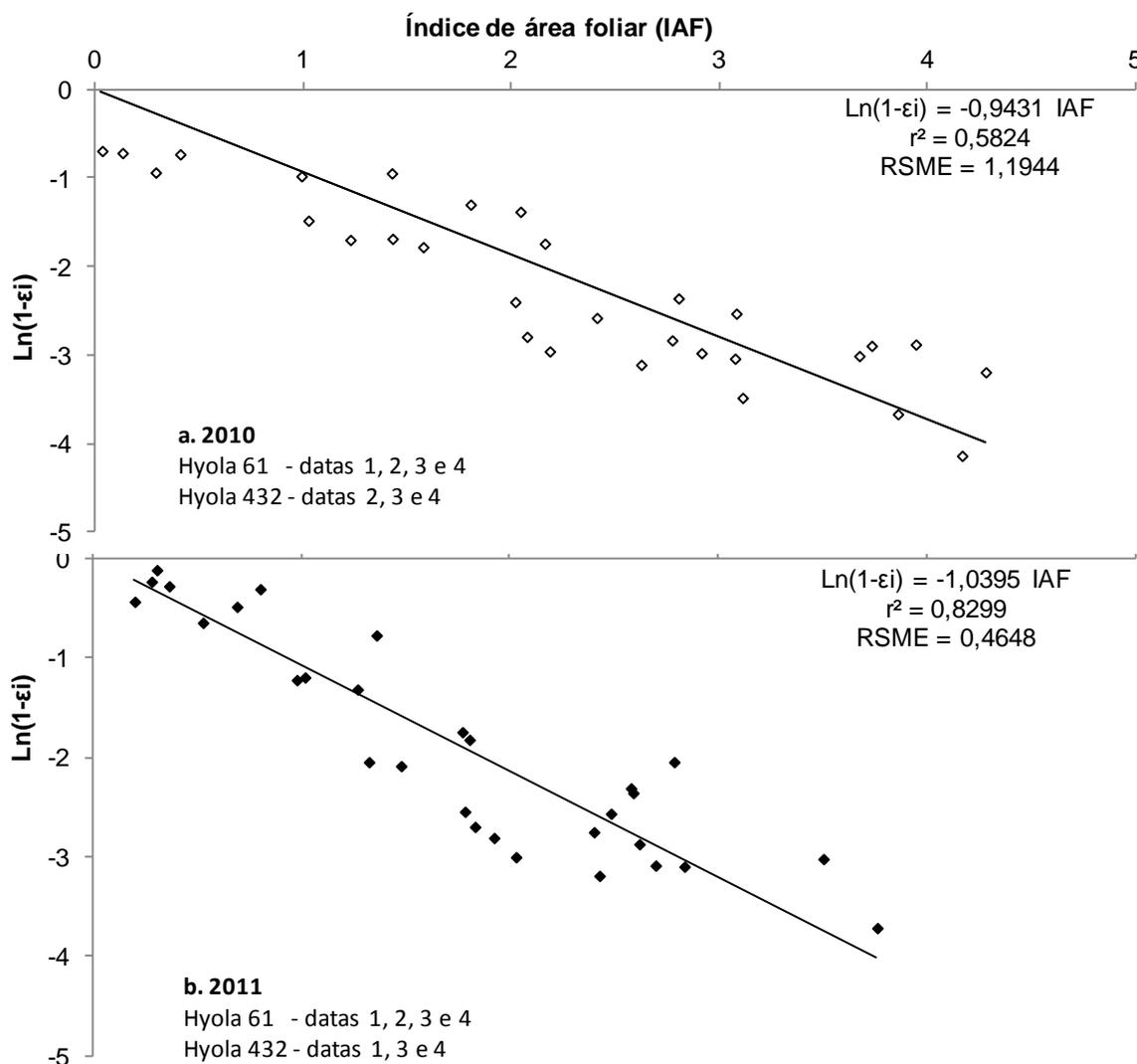


FIGURA 9. Coeficiente de extinção ( $k$ ), representado pelo coeficiente angular da regressão linear entre a radiação fotossinteticamente ativa não interceptada ( $1-\varepsilon_i$ ) e o índice de área foliar para os genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432 nas semeaduras de 29/04 (1), 13/05 (2), 03/06 (3) e 08/07 (4) do ano 2010 (a) e 19/05 (1), 10/06 (2), 05/07 (3) e 26/07 (4) do ano de 2011 (b). Passo Fundo, RS.

O menor coeficiente de determinação para o modelo linear que expressa o  $k$  em 2010, em relação a 2011, também pode estar associado ao fato das medições de RFA terem sido efetuadas em determinados dias e horários, implicando em maior variabilidade. Com as observações contínuas da RFA, em 2011, foi possível obter melhor ajuste para a estimativa do coeficiente de extinção de luz. Além disso, foi verificada maior dispersão dos pontos com valores mais elevados de IAF, especialmente em 2011. Como o IAF é a principal estrutura de interceptação de RFA, a contribuição das siliquis, flores e hastes,

desconsideradas no ajuste dos modelos, pode ter sido uma das causas para a maior dispersão de pontos em maiores valores do IAF.

A modelagem da eficiência de uso de RFA (EUR), em 2010, indicou modelos sem diferenças entre as quatro datas de semeadura para o Hyola 61 (Figura 10). Isto indica que as quatro datas de semeadura de 2010 permitiram acúmulos semelhantes de matéria seca total. A EUR foi de  $2,80 \text{ g MJ}^{-1}$  em 2010, a qual foi equivalente ao verificado por Morrison & Stewart (1995), de  $2,83 \text{ g MJ}^{-1}$  na média de diferentes densidades de semeadura da canola.

Os modelos de EUR não diferiram entre genótipos em cada data de semeadura, em 2011 (Figura 10). Tal situação indica que o acúmulo de matéria seca pelos dois genótipos apresentou reposta semelhante em cada data de semeadura, independentemente das diferenças de IAF entre os mesmos. Entretanto, em 2011, o fator data de semeadura apresentou efeitos significativos na EUR (Figura 10).

Os modelos de estimativa da matéria seca acumulada da canola, em função da RFA interceptada foram diferentes entre algumas datas de semeadura. A segunda e a terceira semeadura de 2011 (10/06/2011 e 05/07/2011, respectivamente) não diferiram quanto à eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa (EUR), mas diferiram da primeira e última semeadura (19/05/2011 e 26/07/2011) (Figura 10).

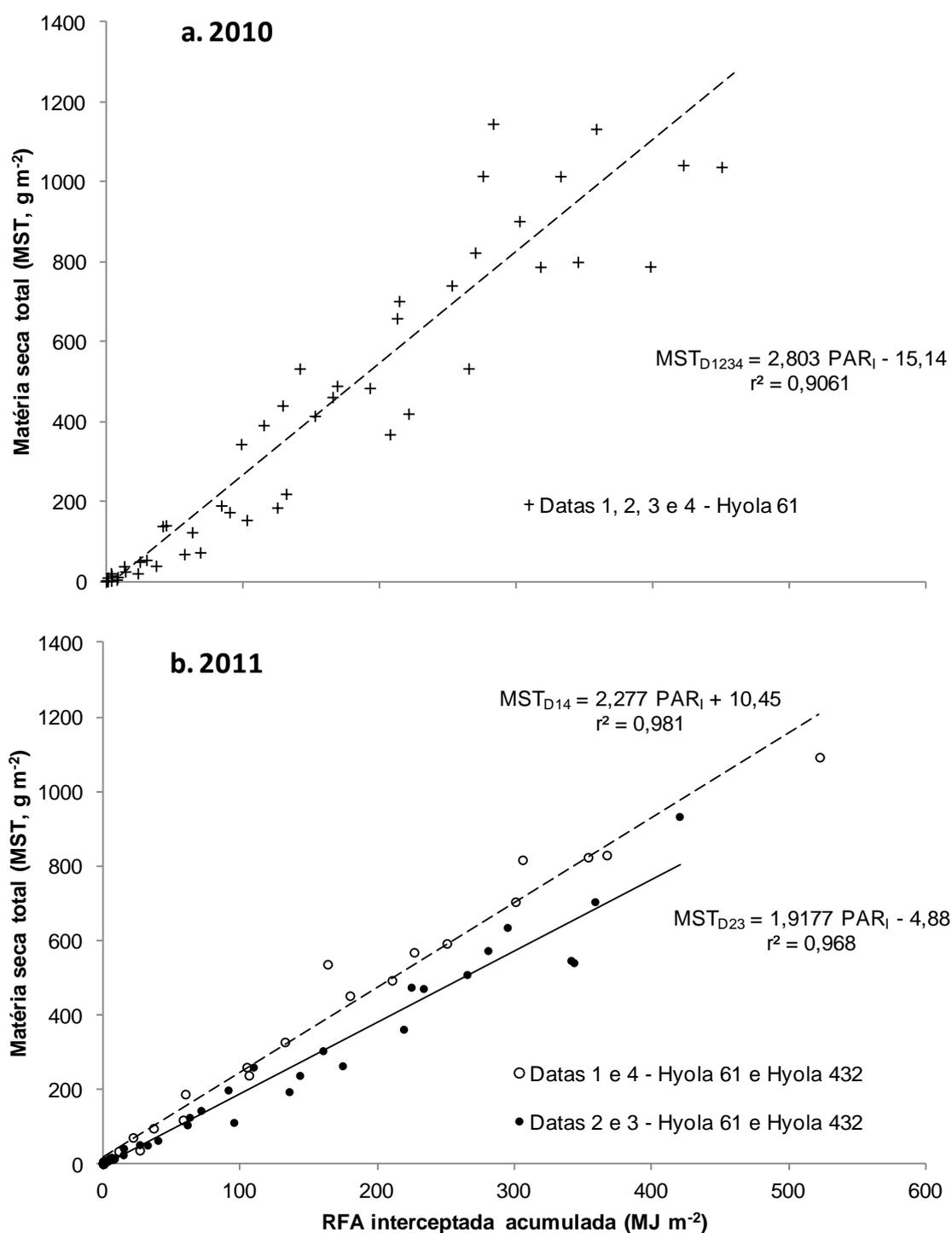


FIGURA 10. Eficiência do uso da radiação (EUR), representado pelo coeficiente angular da regressão linear entre a matéria seca total (MST) e o acúmulo da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA<sub>i</sub>) pela canola nas semeaduras de Hyola 61 em 29/04 (1), 13/05 (2), 03/06 (3) e 08/07 (4) em 2010 (a) e de Hyola 61 e Hyola 432 nas semeaduras de 19/05 (1), 10/06 (2), 05/07 (3) e 26/07 (4) do ano de 2011 (b). Passo Fundo, RS.

O período vegetativo da canola da segunda e terceira semeadura (10/06/2011 e 05/07/2011) se desenvolveu em ambientes com maior excesso

hídrico e com eventos intensos de geada, em relação à primeira e a última semeadura (19/05/2011 e 26/07/2011) (Figura 1; Apêndice 7). O excesso hídrico pode ter intensificado a perda de nitrogênio e potássio por lixiviação, especialmente da adubação na linha de semeadura. Além disso, os danos provocados por geada podem ter demandado reservas da planta para compensar perdas, sobretudo de área foliar (Dalmago *et al.*, 2010). Isto pode explicar diferenças na eficiência no uso da radiação entre as semeaduras de 2011.

Os valores absolutos da EUR pela canola, em 2011 foram de 2,28 e 1,92 g MJ<sup>-1</sup> na primeira e na quarta (19/05/2011 e 26/07/2011), assim como na segunda e na terceira semeadura (10/06/2011 e 05/07/2011), respectivamente. Os valores de EUR foram inferiores a 2,83 g MJ<sup>-1</sup>, verificados por Morrison & Stewart (1995). A EUR da segunda e terceira (10/06/2011 e 05/07/2011) e da primeira e última semeadura (19/05/2011 e 26/07/2011) de 2011, em termos relativos, foram inferiores em 32 e 9 % ao valor de EUR obtido em 2010, respectivamente. Tal condição indica que a canola apresentou maior EUR em ambientes mais secos, como foi verificado em 2010 (Figura 1, Figura 2).

O regime hídrico da região de Passo Fundo é influenciado pela entrada de massas de ar polares que promovem a precipitação pluvial pela passagem de frentes frias (Moreno, 1961) gerando, muitas vezes, excessos hídricos. Após as precipitações pluviais, ocorreram dias com elevados fluxos de radiação solar, com baixas temperaturas do ar associadas à formação de geadas, que podem ter afetado o desenvolvimento das plantas. Temperaturas do ar variando de -10 a 10°C, associadas à disponibilidade de RFA de 8 mol m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, podem promover fotoinibição em plantas de *Brassica napus* de inverno, reduzindo a EUR (Farage & Long, 1991). Em contrapartida, excessos hídricos podem afetar o crescimento do sistema radicular pela menor aeração do solo (Klein & Libardi, 2002). Assim,

baixas temperaturas do ar e excessos hídricos podem ter afetado a EUR das plantas em 2011 mais do que em 2010, especialmente na segunda e terceira semeadura de 2011 (10/06/2011 e 05/07/2011).

Martorano (2007) verificou que a EUR em soja irrigada foi inferior àquela verificada em canola, neste estudo. O cultivo da soja ocorre na primavera e verão, enquanto que a canola é cultivada no outono e inverno. Tanto a soja como a canola apresentam mecanismo fotossintético  $C_3$ , que pode apresentar saturação por radiação solar. Isto pode ocorrer mais facilmente em soja do que em canola, devido à maior densidade de fluxo de radiação solar e a temperatura do ar mais elevada na estação de crescimento da soja, favorecendo perdas na síntese de fotoassimilados, sobretudo por fotorrespiração (Sage & Kubien, 2007). Assim, a maior EUR em canola pode ser atribuída à menor disponibilidade de RFA incidente e à menor temperatura do ar, durante a estação de crescimento da canola, em comparação à soja.

Em milho, Kunz *et al.* (2007) verificaram maiores valores de EUR em relação à canola, em parcelas irrigadas, variando de 2,77 a 4,29 g MJ<sup>-1</sup>. No entanto, em parcelas não irrigadas e com deficiência hídrica, o milho apresentou menor EUR que a canola, variando de 0,96 a 1,69 g MJ<sup>-1</sup>, mesmo tendo mecanismo fotossintético  $C_4$ .

Para genótipos de colza de primavera e de inverno valores de EUR absorvida de 1,95 e 1,83 g MJ<sup>-1</sup>, respectivamente, são citados na literatura (Gosse *et al.*, 1986). Considerando que RFA interceptada é maior que RFA absorvida, os valores de EUR interceptada também serão maiores, na mesma proporção. A eficiência de absorção da RFA na canola, em 2010 e 2011, foi de 11,7 e 9,2 % inferior à eficiência de interceptação da RFA, respectivamente (Apêndice 5). Com os ajustes de EUR absorvida, conforme os coeficientes apresentados na

Figura 10, os valores recalculados foram de 2,48 g MJ<sup>-1</sup> em 2010 e de 2,06 g MJ<sup>-1</sup> para a primeira e última (19/05/2011 e 26/07/2011) data de semeadura e 1,74 g MJ<sup>-1</sup> na segunda e na terceira semeadura (10/06/2011 e 05/07/2011) de 2011. Assim, os valores de EUR obtidos em 2010 foram superiores em 27 % aos referidos para colza de primavera (Gosse *et al.*, 1986), o que pode ser atribuído às condições de ambiente com menores excessos hídricos neste ano, em relação a 2011.

A cultura do trigo apresenta estação de crescimento semelhante à da canola. Moreira *et al.* (1999) e Moreira *et al.* (2005) encontraram EUR absorvida de 1,85 a 2,66 g MJ<sup>-1</sup> em trigo, cujos valores foram semelhantes aos verificados na canola, neste estudo. Kiniry *et al.* (1989), também, verificaram valores de EUR em trigo da ordem de 2,6 a 3,1 g MJ<sup>-1</sup>, em dois anos distintos de experimentos. Tais resultados indicam que a menor disponibilidade de RFA tende a contribuir para maior EUR em culturas de inverno, em comparação a culturas de verão, embora o trigo e a canola apresentem diferentes arquiteturas de planta.

Considerando os elevados valores de EUR para canola é possível afirmar que as condições do ambiente, nas diferentes semeaduras, foram satisfatórias ao acúmulo de matéria seca, embora com pequenas variações na eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa. Ambientes mais secos proporcionaram maiores eficiências de uso de RFA pela canola, com maiores acúmulos de matéria seca total. Além disso, a eficiência de uso de RFA interceptada não diferiu entre os híbridos Hyola 61 e Hyola 432.

#### 4.5 Repartição da matéria seca

Até a metade do subperíodo do florescimento, a matéria seca total acumulada pela canola apresentou apenas efeitos significativos de datas de semeadura, em ambos os anos (Tabela 6; Tabela 7). Em 2010, o maior valor de matéria seca total foi verificado na terceira semeadura (03/06/2010), sendo que na quarta semeadura ocorreu o menor valor. A última semeadura de 2011 (26/07/2011) apresentou o maior valor de matéria seca, enquanto que as duas primeiras semeaduras (19/05/2011 e 10/06/2011) apresentaram os menores valores de matéria seca total.

Desprezando-se a senescência foliar e as raízes, a matéria seca total na maturação (MSTM) representa a fotossíntese líquida que as plantas acumularam ao longo do ciclo. Levando-se em conta a matéria seca do dossel, por ocasião do florescimento pleno da canola, observou-se que as plantas apresentaram, em média, 46 a 54% da matéria seca total na maturação em 2010 e em 2011, respectivamente (Tabela 6, Tabela 7). Isto permite inferir que, cerca da metade da produção de matéria seca da canola ocorreu após o florescimento pleno da cultura. Assim, considerando a elevada contribuição na interceptação RFA pelas hastes, flores e síliquas (estruturas reprodutivas), a formação e o enchimento dos grãos decorrem da elaboração de fotoassimilados pelas estruturas reprodutivas (Mogensen *et al.*, 1997).

Até o florescimento pleno, o acúmulo de matéria seca da canola, em 2011, foi apenas 6,5% inferior ao acúmulo de 2010. No entanto, quando foram considerados os totais acumulados de matéria seca após o florescimento pleno, verificou-se que, em 2011, os valores foram 20% inferiores aos de 2010. Assim, após o início do florescimento, a canola teve condições mais favoráveis em 2010 do que em 2011 para a produção de matéria seca.

TABELA 6. Massa de matéria seca ( $\text{g m}^{-2}$ ) de hastes, folhas, flores, síliquis, grãos e total da parte aérea de plantas de canola, dos genótipos Hyola 61 (H. 61) e Hyola 432 (H. 432), acumulada até e após o florescimento pleno (MSTF e MSTR) e até a colheita dos grãos (MSTM e MSTp), com respectivas frações da matéria seca total e índice de colheita (IC), para quatro datas de semeadura no ano de 2010. Passo Fundo, RS.

Matéria seca	Genótipo	Data de semeadura*				Média	CV (%)
		29/04	13/05	3/06	5/07		
<b>Matéria seca (<math>\text{g m}^{-2}</math>)</b>							
- Hastes	Hyola 432	309,7ab A	201,6bc A	418,9a A	181,2c A	277,8	
	Hyola 61	254,5a A	223,3ab A	295,5a B	124,5b A	224,5	
	Média	282,1	212,4	357,2	152,9	251,1	23,3
- Folhas	Hyola 432	125,7	105,8	130,2	83,3	111,2	
	Hyola 61	150,6	107,6	146,3	88,2	123,2	
	Média	138,1a	106,7ab	138,2a	85,7b	117,2	20,7
- Flores	Hyola 432	23,0	27,9	25,5	17,7	23,5	
	Hyola 61	26,9	25,0	22,3	16,1	22,6	
	Média	25,0ab	26,4a	23,9ab	16,9b	23,0	29,3
- Síliquis	Hyola 432	10,0	12,3	114,0	61,6	49,5	
	Hyola 61	11,8	17,8	107,6	26,5	40,9	
	Média	10,9b	15,0b	110,8a	44,1b	45,2	86,2
- Grãos	Hyola 432	0,0	0,0	15,0	1,6	4,1	
	Hyola 61	0,0	0,0	9,1	0,1	2,3	
	Média	0,0	0,0	12,0	0,9	6,4	167,2
MSTF	Hyola 432	468,4	336,6	686,4	343,9	458,8	
	Hyola 61	443,9	373,7	571,8	252,4	410,4	
	Média	456,1b	355,2bc	629,1a	298,2c	434,6	25,4
MSTR	Hyola 432	514,5	578,4	357,5	622,3	518,2	
	Hyola 61	427,6	568,6	329,3	764,1	522,4	
	Média	471,0b	573,5ab	343,4c	693,2a	520,3	28,8
MSTM	Hyola 432	982,9	915,1	1043,9	966,2	977,0	
	Hyola 61	871,4	942,3	901,1	1.016,6	932,8	
	Média	927,2	928,7	972,5	991,4	954,9	12,0
MSTp ( $\text{g planta}^{-1}$ )	Hyola 432	25,8a A	24,3ab A	23,5ab A	20,0b A	23,4	
	Hyola 61	21,6a B	20,7a B	20,4a A	22,7a A	21,3	
	Média	23,7	22,5	21,9	21,3	22,4	10,1
<b>Frações da matéria seca total</b>							
IMSF	Hyola 432	0,49	0,38	0,66	0,36	0,47	
	Hyola 61	0,51	0,41	0,63	0,25	0,45	
	Média	0,50ab	0,40bc	0,64a	0,30c	0,46	26,6
IMSR	Hyola 432	0,51	0,62	0,34	0,64	0,53	
	Hyola 61	0,49	0,59	0,37	0,75	0,55	
	Média	0,50bc	0,60ab	0,36c	0,70a	0,54	22,6
IC (%)	Hyola 432	27,1	18,4	27,3	27,1	25,0	
	Hyola 61	30,5	24,0	29,5	30,3	28,6	
	Média	28,8a	21,2b	28,4a	28,7a	26,8	10,2

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre datas e genótipos, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV – Coeficiente de variação.

TABELA 7. Massa de matéria seca ( $\text{g m}^{-2}$ ) de hastes, folhas, flores, síliquis, grãos e total da parte aérea de plantas de canola, dos genótipos Hyola 61 (H. 61) e Hyola 432 (H. 432), acumulada até e após o florescimento pleno (MSTF e MSTR) e até a colheita dos grãos (MSTM e MSTp), com respectivas frações da matéria seca total e índice de colheita (IC), para quatro datas de semeadura no ano de 2011. Passo Fundo, RS.

Matéria seca	Genótipo	Data de semeadura*				Média	CV (%)
		19/05	10/06	5/07	26/07		
<b>Matéria seca (<math>\text{g m}^{-2}</math>)</b>							
- Hastes	Hyola 432	188,2	168,8	219,3	352,0	232,1	
	Hyola 61	186,9	179,5	244,4	298,8	227,4	
	Média	187,6b	174,2b	231,8ab	325,4a	229,7	32,7
- Folhas	Hyola 432	78,6	84,6	95,1	115,6	93,5B	
	Hyola 61	106,7	109,3	150,4	188,5	138,7A	
	Média	92,6b	97,0b	122,7ab	152,0a	116,1	25,9
- Flores	Hyola 432	14,9	17,8	19,1	27,3	19,8	
	Hyola 61	16,9	19,2	26,5	29,1	22,9	
	Média	15,9b	18,5ab	22,8ab	28,2a	21,3	32,8
- Síliquis	Hyola 432	19,2	26,2	36,9	64,6	36,7	
	Hyola 61	57,6	40,0	38,9	57,9	48,6	
	Média	38,4	33,1	37,9	61,3	42,7	70,8
- Grãos	Hyola 432	0,1	0,5	2,3	0,4	0,8	
	Hyola 61	3,0	0,8	1,5	1,1	1,6	
	Média	1,6	0,6	1,9	0,8	1,2	168,5
MSTF	Hyola 432	296,0	297,6	368,1	557,9	379,9	
	Hyola 61	368,2	348,0	448,0	565,9	432,5	
	Média	332,1b	322,8b	408,0ab	561,9a	406,2	29,5
MSTR	Hyola 432	410,0	460,1	327,9	200,5	349,6	
	Hyola 61	383,0	335,9	377,9	349,2	361,5	
	Média	396,5	398,0	352,9	274,8	355,6	53,2
MSTM	Hyola 432	706,0	757,7	696,0	758,4	729,5	
	Hyola 61	751,1	683,8	825,9	915,0	794,0	
	Média	728,6	720,8	761,0	836,7	761,7	23,3
MSTp ( $\text{g planta}^{-1}$ )	Hyola 432	20,5	23,9	28,2	19,9	23,1	
	Hyola 61	19,5	21,1	24,0	22,0	21,6	
	Média	20,0b	22,5ab	26,1a	20,9ab	22,4	17
<b>Frações da matéria seca total</b>							
IMSF	Hyola 432	0,44	0,43	0,51	0,73	0,53	
	Hyola 61	0,49	0,47	0,56	0,64	0,54	
	Média	0,47ab	0,45b	0,54ab	0,69a	0,54	30,1
IMSR	Hyola 432	0,56	0,57	0,49	0,27	0,47	
	Hyola 61	0,51	0,53	0,44	0,36	0,46	
	Média	0,53ab	0,55a	0,46ab	0,31b	0,46	34,8
IC (%)	Hyola 432	25,2a A	20,1ab A	11,7b B	14,3b A	17,8	
	Hyola 61	31,7a A	19,4b A	25,4ab A	21,1b A	24,4	
	Média	28,4	19,8	18,5	17,7	21,1	24,2

\* Médias seguidas da mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre datas e genótipos, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV – coeficiente de variação.

Wright *et al.* (1995) encontraram relação positiva e linear entre o rendimento de grãos da canola e a matéria seca total no florescimento, em condições de produção com baixas deficiências hídricas. Contudo, em condições

de produção com elevada deficiência, a relação entre o rendimento de grãos e a matéria seca total no florescimento, diminui. Por outro lado, também foi verificada elevada relação entre o rendimento de grãos da canola e o acúmulo de matéria seca, entre o início do florescimento e a maturação dos grãos (Thurling & Kaveeta, 1992). Os trabalhos de Thurling & Kaveeta (1992) e Wright *et al.* (1995) divergem quanto à importância do período de acúmulo de matéria seca total para o rendimento de grãos da canola.

A matéria seca total no florescimento pleno, em 2010 e em 2011, foi de 435 e 406 g m<sup>-2</sup>, respectivamente (Tabela 6; Tabela 7). Estes valores equivalem à metade da matéria seca acumulada no ciclo dos genótipos de maior rendimento de grãos, utilizados por Thurling & Kaveeta (1992). Apesar das divergências entre os trabalhos de Wright *et al.* (1995) e Thurling & Kaveeta (1992), quanto à importância do período de acúmulo de matéria seca sobre o rendimento de grãos, os totais de matéria seca observados no florescimento foram compatíveis com os rendimentos de grãos obtidos, na ordem de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, tomando-se por base os dados dos dois trabalhos citados.

Esta projeção de rendimento de grãos, na ordem de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, indica que, em 2010 e em 2011, as condições foram favoráveis à canola para obtenção de rendimentos de grãos equivalentes aos observados por Tomm *et al.* (2004) e Müller *et al.* (2009), em experimentos também realizados na Região Sul do Brasil, embora ainda sejam inferiores ao potencial de rendimentos de grãos da canola que é de 4.500 kg ha<sup>-1</sup> (Thomas, 2003).

Nos dois anos (2010 e 2011), a canola das primeiras semeaduras teve menores acúmulos de matéria seca total até o florescimento pleno. Em contrapartida, nas mesmas semeaduras, a canola teve acúmulos maiores de matéria seca após o florescimento. Nas semeaduras mais tardias foram

verificados os maiores acúmulos térmicos no período vegetativo, favorecendo a síntese de matéria seca (Apêndice 14). A temperatura do ar mais elevada foi determinante para acelerar o desenvolvimento da cultura, resultando em maior acúmulo de matéria seca até o florescimento pleno, em relação ao restante do ciclo.

Apesar de haver dependência do rendimento de grãos da produção de matéria seca do período vegetativo como do reprodutivo (Thurling & Kaveeta, 1992; Wright *et al.*, 1995), a maior correlação entre a produção de matéria seca e o rendimento de grãos foi somente de 0,46 (Apêndice 17). Apenas os totais de matéria seca, observados no florescimento pleno e na maturação da canola, apresentaram correlação significativa com o rendimento de grãos, com coeficientes de 0,34 e 0,46, respectivamente (Apêndice 17). As correlações entre o rendimento de grãos e a matéria seca acumulada até o florescimento pleno e no restante do ciclo foram baixa e ausente, respectivamente. Isto indica que o total de matéria seca produzida não foi limitante para o rendimento de grãos da canola, diferindo do observado por Thurling & Kaveeta (1992) e Wright *et al.* (1995).

A explicação para tal observação pode advir da compreensão das relações entre causa e efeito. As causas das variações no acúmulo de matéria seca e no rendimento de grãos podem estar relacionadas a condições de ambiente, como disponibilidade de radiação solar, água e calor, durante a elaboração dos componentes do rendimento de grãos. Assim sendo, tanto a produção de matéria seca como o rendimento de grãos são variáveis que dependem do ambiente físico, conforme foi verificado em outras culturas, como milho (França *et al.*, 1999; Müller & Bergamaschi, 2005; Kunz *et al.*, 2007; Bergamaschi *et al.*, 2010), soja (Murthy, 2003; Martorano, 2007), trigo (Moreira *et al.*, 1999) e girassol (Silva *et al.*, 2012). Ademais, segundo Mendham *et al.* (1990), ocorrem respostas distintas

entre genótipos com relação a importância do período de acúmulo de matéria seca sobre o rendimento de grãos.

As correlações positivas entre o total de matéria seca acumulada pela canola e o rendimento de grãos, embora com baixos coeficientes, indica que o rendimento de grãos teve a tendência de ser mais elevado quando houver maior produção de matéria seca. A ausência de correlação entre as frações de matéria seca acumulada até (IMSF) e após o florescimento pleno (IMSM) e a matéria seca total obtida na colheita, também confirmam que a biomassa total da canola não foi a variável limitante para ocorrência de elevados rendimentos de grãos, nas condições em que foram conduzidos os experimentos.

O índice de colheita (IC) apresentou elevada e significativa correlação ( $r = 0,85$ ) com o rendimento de grãos (Apêndice 17). Isto indica que o índice de colheita permite identificar ambientes mais adequados à produção de grãos de canola. Com efeito, segundo Degenhardt & Kondra (1981) o índice de colheita é um importante critério para selecionar linhagens de *Brassica napus*, quanto ao rendimento de grãos. A matéria seca total da canola na maturação dos grãos não diferiu entre as datas de semeadura, nos anos de 2010 e 2011, porém, nos índices de colheita foram verificadas diferenças significativas. Isto indica que os genótipos apresentavam condições para expressar rendimento de grãos semelhantes, embora isto não tenha sido verificado. Assim, as condições do ambiente físico penalizaram mais fortemente o rendimento de grãos do que o acúmulo de matéria seca total das plantas.

No índice de colheita da canola, em 2011 foi verificada interação ( $P < 0,15$ ) entre datas de semeadura e genótipos (Tabela 6). O IC médio da segunda semeadura (13/05/2010) apresentou menor valor em relação às demais semeaduras de 2010 (Tabela 6). Os índices encontrados estão de acordo com os

citados por Tamagno *et al.* (1999), de 20 a 28%, para colza de primavera sob diferentes doses de nitrogênio. Em latitudes semelhantes a de Passo Fundo, na Austrália, Robertson *et al.* (2004) verificaram que, em cultivares de *B. napus*, o IC foi afetado pela data de semeadura, com valores de 20 a 35 %, equivalentes ou levemente superiores aos verificados neste trabalho.

A massa de matéria seca da haste de canola foi responsável por 51 a 60 % da matéria seca total da parte aérea das plantas, em ambos os anos (Tabela 6, Tabela 7). Isto indica que grande parte das diferenças na matéria seca total podem ser atribuídas às diferenças na matéria seca acumulada nas hastes, por ocasião do florescimento, uma vez que a correlação entre a matéria seca das hastes e a total (MSTR) foi significativa ( $r = 0,96$ ). A matéria seca das hastes apresentou correlação significativa e positiva com o rendimento de grãos e a matéria seca de flores e siliquis no florescimento, com coeficientes de 0,30, 0,68 e 0,59, respectivamente (Apêndice 17).

A matéria seca das folhas de canola, no florescimento, apresentou apenas efeitos de datas de semeadura, em ambos os anos, sendo que, em 2011, também foram constatados efeitos significativos de genótipos. A matéria seca de folhas e de hastes apresentou a mesma discriminação dos seus valores médios entre as datas de semeaduras, em ambos os anos. A correlação entre matéria seca das folhas e das hastes foi elevada ( $r = 0,64$ ) e significativa, indicando que houve associação entre o acúmulo de matéria seca nas hastes e a área foliar. Com a elevada correlação entre a matéria seca de folhas e de hastes é possível afirmar que houve interdependência ente os processos de acúmulo de biomassa nesses órgãos.

No florescimento pleno, considerando apenas a matéria seca de hastes e folhas foram verificadas frações de 0,66 e 0,34, respectivamente, para a média de

anos, datas de semeadura e genótipos. Estes valores divergem de 0,40 e 0,60 para as frações entre a matéria seca das hastes e folhas, indicados por Edwards & Hertel (2011), respectivamente. A fração de matéria seca nas folhas de 0,34 foi menor em comparação aos 0,60 indicados por Edwards & Hertel (2011), o que pode estar relacionado ao momento de ocorrência e dimensão do índice de área foliar máximo. O índice de área foliar máximo na cultura da canola foi verificado entre o florescimento pleno e o início de enchimento dos grãos (estádio G3), diferente da observação de Edwards & Hertel (2011), para os quais, o IAF máximo ocorreu no início do florescimento. Portanto, é provável que tenha havido limitações hídricas, térmicas ou de disponibilidade de radiação solar ao acúmulo de matéria de folhas, nos anos de 2010 e 2011 (Chang, 1968; Morrison *et al.*, 1992; Wright *et al.*, 1996; Dalmago *et al.*, 2009).

Dados de matéria seca acumulada pela canola até a maturação dos grãos, não demonstraram efeitos de datas de semeadura ou genótipos, em 2010 e em 2011. Entretanto, foi constatada forte interação entre datas de semeadura e genótipos ( $P < 0,05$ ) para a matéria seca total por planta (MSTp), em 2010, e efeito de data de semeadura, em 2011 (Tabela 6; Tabela 7). Em 2010, as plantas de canola das duas primeiras semeaduras (29/04/2010 e 13/05/2010) do Hyola 432 apresentaram maior MSTp do que para o Hyola 61, na colheita (Tabela 6). O genótipo Hyola 432 apresentou plantas com menor MSTp na última semeadura (08/07/2010), em comparação à primeira semeadura (29/04/2010), enquanto que, para o Hyola 61, as diferenças de MSTp entre datas de semeadura não foram significativas.

No experimento de 2011 a matéria seca total por planta de canola foi maior na terceira semeadura (05/07/2011) do que na primeira (19/05/2011) (Tabela 7). De maneira geral, considerando os dois anos, o genótipo Hyola 432 apresentou

maior acúmulo de MSTp até a colheita da canola das primeiras semeaduras, em comparação às últimas semeaduras. Além disso, as datas de semeadura e os genótipos não afetaram a matéria seca das plantas de canola na maturação (MSTM), ao contrário do que foi verificado no florescimento pleno. Assim, é possível inferir que, dentro de cada ano, as diferentes datas de semeadura proporcionaram condições ambientais semelhantes para a formação da matéria seca total até a maturação dos grãos.

Os valores de matéria seca total por planta (MSTp) até a maturação dos grãos foram 10 e 7 % superiores para o Hyola 432, em comparação aos do Hyola 61. Porém, no índice de colheita ocorreu o contrário, pois este foi maior no Hyola 61 do que no Hyola 432 em 14 e 37 % para médias dos anos de 2010 e 2011, respectivamente (Tabela 6; Tabela 7). O rendimento de grãos do Hyola 61 foi superior ao do Hyola 432 em 6 e 33 %, para respectivas médias das semeaduras de 2010 e de 2011. Estes resultados demonstram que o genótipo Hyola 61 foi mais eficiente do que o Hyola 432 na repartição de matéria seca total das plantas. Como o Hyola 432 tem apresentado maior potencial de rendimento de grãos do que o Hyola 61 (Tomm *et al.*, 2009), pode-se inferir que, provavelmente, os excessos hídricos, verificados em 2011, foram mais limitantes ao rendimento de grãos do Hyola 432 do que do Hyola 61.

#### **4.6 Rendimento de grãos e componentes do rendimento de grãos**

O rendimento de grãos da canola em 2009, 2010 e 2011 foi afetado pelas datas de semeadura. Em 2010, o rendimento de grãos foi 33 e 6 % superior ao verificado em 2011 e em 2009, respectivamente. O ano de 2010 teve menos excessos hídricos do que 2009 e 2011, em junho, julho e agosto, quando a demanda evaporativa da atmosfera foi baixa (Figura 1; Figura 3). É provável que,

em períodos de maiores excessos hídricos, associados com baixa demanda evaporativa da atmosfera, a menor aeração do solo tenha afetado o crescimento do sistema radicular da canola (Klein & Libardi, 2002).

Em 2009, o rendimento de grãos apresentou diferença significativa entre genótipos, apenas, na segunda semeadura (03/07/2009) (Figura 11). O genótipo Hyola 60, de ciclo mais longo e maior potencial produtivo, do que os demais genótipos utilizados (Tomm *et al.*, 2009), apresentou rendimento de grãos inferior em 19,6%, comparado ao Hyola 61, não confirmando a expectativa de maior rendimento de grãos, em relação aos demais genótipos. Os rendimentos de grãos do Hyola 61 foram superiores a 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, tanto na primeira (20/05/2009), quanto na segunda data de semeadura (03/07/2009).

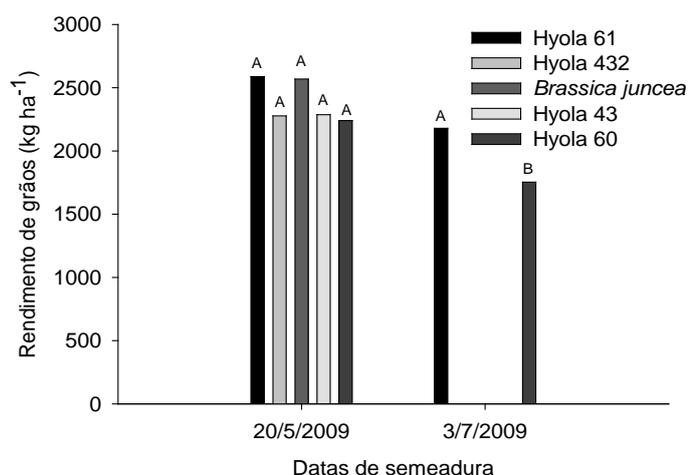


FIGURA 11. Rendimentos de grãos dos genótipos de canola Hyola 61, Hyola 432, Hyola 43 e Hyola 60 (*Brassica napus*) e de *Brassica juncea* híbrido Q6501 (padrão canola) em duas datas de semeadura, no ano de 2009. Passo Fundo, RS. Para cada data de semeadura, médias de genótipos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. O rendimento de grãos foi corrigido para 8% de umidade.

O rendimento de grãos da *Brassica juncea* foi elevado e não diferiu dos demais genótipos de canola, indicando que este apresenta elevado potencial para cultivo no Sul do Brasil. Esta potencialidade é esperada, por se tratar de uma espécie (*Brassica juncea* - padrão canola) que tem tolerância a elevadas

temperaturas do ar, associadas à deficiência hídrica (Wright *et al.*, 1995; Thomas, 2003).

No rendimento de grãos da canola foram verificadas interações entre datas de semeadura e genótipos em 2010 e 2011 (Figura 12). Para o Hyola 432 foram encontradas diferenças significativas de rendimento de grãos entre a maioria das datas de semeadura, enquanto que para o Hyola 61 só houve diferenças entre algumas datas de semeadura. Isto indica que o Hyola 61 foi mais estável quanto ao rendimento de grãos, além de apresentar maiores rendimentos de grãos nos três anos, em comparação ao Hyola 432. Isso confere com resultados apresentados por Tomm *et al.* (2009).

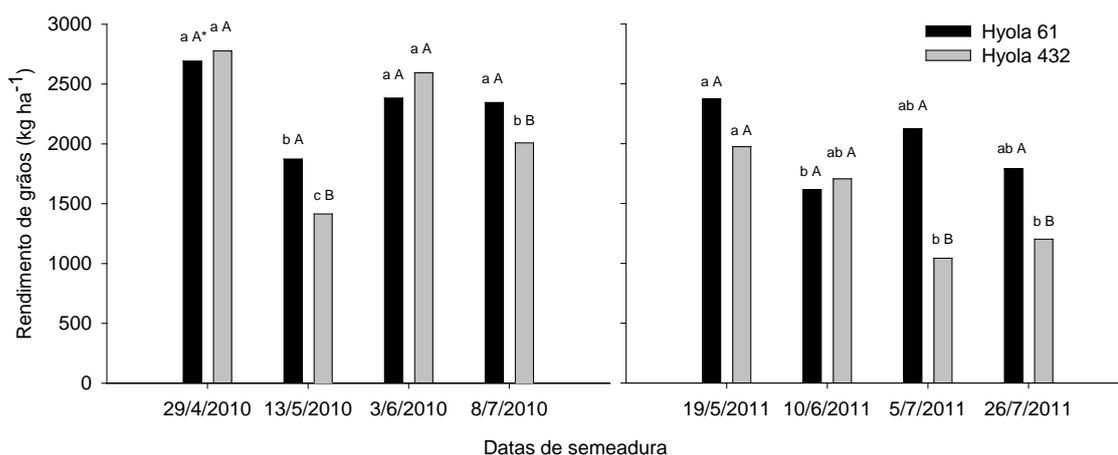


FIGURA 12. Rendimentos de grãos dos genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432 (*Brassica napus*) em quatro datas de semeadura, nos anos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.

Médias com mesma letra minúscula e maiúscula não diferem entre datas de semeadura e genótipos, respectivamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. O rendimento de grãos foi corrigido para 8% de umidade.

Em 2010, o rendimento de grãos obtido na primeira semeadura (29/04/2010) foi superior em 17 e 29 % aos melhores resultados observados nos experimentos de 2009 e 2011, respectivamente. A diferença entre a maior e a menor média de rendimento de grãos, considerando todas as semeaduras, nos três anos de experimento, foi de 172 % para o Hyola 432 e de apenas 70 % para o Hyola 61. Apesar disso, o Hyola 61 e o Hyola 432 apresentaram rendimentos de

grãos que não diferiram entre as primeiras datas de semeadura, em que ocorreram os maiores rendimentos de grãos de cada ano.

Na média dos genótipos, as primeiras datas de semeadura apresentaram rendimentos de grãos superiores às demais em 22, 38 e 18 % em 2009, 2010 e 2011, respectivamente. Estes valores indicam que houve redução no rendimento de grãos devido ao atraso na data de semeadura. Com o atraso na data de semeadura também houve um desenvolvimento mais rápido da cultura, devido ao maior acúmulo térmico.

Nas semeaduras mais tardias a temperatura do ar foi mais elevada e houve elevação da demanda evaporativa da atmosfera (Figura 3), especialmente pela maior disponibilidade de radiação solar, a partir de agosto. Neste período, a elevação da temperatura do ar acompanhou o aumento da radiação solar incidente, sendo que ambos atuam na elevação da demanda evaporativa da atmosfera. Além disso, a duração do período de florescimento (em dias) foi menor, com temperatura do ar mais elevada, contribuindo para um menor rendimento de grãos. Shamsi *et al.* (2012) observaram que a duração do período de florescimento em canola teve correlação positiva e significativa com os componentes do rendimento de grãos em cultivares de *Brassica napus*, em latitudes próximas de 43°N.

Nos três anos de experimento os rendimentos médios de grãos da maioria dos genótipos estudados foram superiores aos observados por Tomm *et al.* (2004) e Müller *et al.* (2009), embora tenham sido inferiores ao potencial produtivo de 4.500 kg ha<sup>-1</sup>, apontado por Thomas (2003) para a canola, e aos verificados por Tomm *et al.* (2007), no Uruguai, e por Tesfamariam (2004), na África do Sul. Assim, a escolha adequada da data de semeadura e do genótipo é importante

para que sejam obtidos rendimentos de grãos de canola mais elevados, nas condições da região de Passo Fundo, RS.

Em 2009, os componentes do rendimento de grãos da canola diferiram, apenas, quanto ao número de síliques por planta (NSP) e número de grãos por síliqua (NGS) na primeira e segunda data de semeadura, respectivamente (Tabela 8). O número de síliques por planta foi maior na *Brassica juncea* do que nos demais genótipos, na primeira data de semeadura de 2009. Na segunda semeadura o número de grãos por síliqua foi maior no Hyola 61 do que no Hyola 60.

TABELA 8. Densidade de plantas (DP), massa de 1.000 grãos (MMG), número de síliques por planta (NSP), número de grãos por síliqua (NGS), matéria seca total do dossel (MSTM), matéria seca total por planta (MSTp), índice de colheita (IC) e coeficiente de variação (CV) dos genótipos de canola Hyola 61, Hyola 432, Hyola 43 e Hyola 60 e de *Brassica juncea*, híbrido Q6501 (padrão canola), em duas datas de semeadura no ano de 2009. Passo Fundo, RS.

Variável	Data	Genótipo					Média	CV (%)
		<i>B. juncea</i>	Hyola 61	Hyola 60	Hyola 43	Hyola 432		
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	20/5	36,2	38,9	38,7	34,7	37,7	37,3	12,1
	3/7		76,7	66,8			71,8	19,5
NGS	20/5	12,2	12,8	9,8	12,9	11,5	11,9	12,9
	3/7		13,6A	9,3B			11,5	4,6
MMG (g)**	20/5	3,40	3,16	4,31	4,03	3,16	3,57	26,0
	3/7		3,44	3,85			3,65	15,7
NSP	20/5	330,0A	215,3B	228,7B	220,5B	231,7B	245,2	11,9
	3/7		82,8	96,3			89,6	19,4
MSTp (g planta <sup>-1</sup> )	20/5	36,1A	29,8AB	23,6B	25,1B	26,3B	28,2	11,5
	3/7		8,8	9,4			9,13	17,1
MSTM (g m <sup>-2</sup> )	20/5	1.272,1A	1.157,6AB	903,7C	864,6C	973,0BC	10,3	10,3
	3/7		662,5	626,4			6,4	9,3
IC (%)	20/5	30,2A	26,7AB	19,8D	25,6BC	21,9CD	24,8	8,1
	3/7		27,5	22,4			24,9	14,8

\* Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre genótipos, para cada data de semeadura, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

\*\* Corrigido para 8% de umidade.

O número de síliques por planta da segunda data de semeadura foi 173 % inferior em relação à primeira, devido às diferenças nas densidades de plantas (DP) e aos acúmulos térmicos diferenciados. A correlação negativa e significativa

entre número de siliquas por planta e a densidade de plantas ( $r = -0,42$ ) (Apêndice 17) foi consequência da capacidade da canola em compensar alterações e falhas na distribuição de plantas, sobre o rendimento de grãos, estando de acordo com Tomm *et al.* (2009). Além disso, o maior acúmulo térmico induziu à menor duração do período de florescimento em 16 % (6 dias) nas plantas da segunda data de semeadura (03/07/2009), em comparação à primeira semeadura (20/05/2009). Assim, grande parte da redução no rendimento de grãos obtido na última data de semeadura (03/07/2009) decorre do efeito das elevadas temperaturas do ar, que reduziram o número de siliquas por planta (Faraji *et al.*, 2008) e a duração florescimento (Shamsi *et al.*, 2012).

Quanto ao índice de colheita (IC), matéria seca total por planta (MSTp) e matéria seca total do dossel (MSTm) na maturação, foram observadas apenas diferenças significativas entre genótipos de canola na primeira data de semeadura (20/05/2009). A *Brassica juncea*, avaliada apenas na primeira data de semeadura (20/05/2009), apresentou as maiores médias de IC e MSTp, mas não diferiu do Hyola 61. Em 2009, a matéria seca total (MSTm) na maturação, permitiu maior discriminação entre os genótipos do que a matéria seca total por planta (MSTp).

Para os componentes do rendimento de grãos foi constatada interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre datas de semeadura e genótipos na variável densidade de plantas, em 2010. Quanto ao número de grãos por síliqua, foi verificada interação significativa ( $P = 0,15$ ) entre data de semeadura e genótipos, em 2011 (Tabela 9). O efeito da data de semeadura foi significativo somente para massa de mil grãos (MMG), em 2010, e massa de mil grãos (MMG), densidade de plantas (DP) e número de grãos por metro quadrado (NGM) em 2011. Em 2010, o efeito de genótipos foi significativo no número de grãos por síliquas (NGS).

TABELA 9. Densidade de plantas (DP), número de síliquas por planta (NSP) e número de síliquas por metro quadrado (NSM), massa de 1000 grãos (MMG), número de grãos por síliqua (NGS), número de grãos por metro quadrado (NGM) e coeficiente de variação (CV) dos genótipos de canola Hyola 61 e Hyola 432, em quatro datas de semeadura, nos anos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.

Variável	Genótipo	Data de semeadura				Média	CV (%)
		29/abril	13/maio	3/junho	8/julho		
..... ano de 2010 .....							
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	Hyola 432	38,1bc A	37,5c B	45,0ab A	48,3a A	42,2	
	Hyola 61	40,3a A	45,3a A	44,4a A	45,0a A	43,8	
	Média	39,2	41,4	44,7	46,7	43,0	8,7
NGS	Hyola 432	12,4	11,0	11,1	11,6	11,5B	
	Hyola 61	14,1	12,8	12,5	13,4	13,2A	
	Média	13,3	11,9	11,8	12,5	12,4	10,3
MMG (g)**	Hyola 432	3,9	4,3	4,7	4,2	4,3	
	Hyola 61	4,0	3,9	4,3	3,8	4,0	
	Média	3,9a	4,1ab	4,5a	4,0b	4,1	9,1
NSP	Hyola 432	158,0	156,4	171,5	125,6	152,9	
	Hyola 61	167,3	130,0	156,8	152,7	151,7	
	Média	162,6	143,2	164,1	139,2	152,3	17,8
NSM (síliquas m <sup>-2</sup> )	Hyola 432	6.083,0	5.877,3	7.726,9	6.069,0	6.439,1	
	Hyola 61	6.726,6	5.911,1	6.936,1	6.878,4	6.613,1	
	Média	6.404,8	5.894,2	7.331,5	6.473,7	6.526,1	21,5
NGM (grãos m <sup>-2</sup> )	Hyola 432	75.597,7	65.299,2	86.228,4	70.882,5	74.501,9	
	Hyola 61	94.179,0	75.205,9	87.418,9	91.935,3	87.184,7	
	Média	84.888,3	70.252,5	86.823,6	81.408,9	80.843,3	24,3
..... ano de 2011 .....							
		19/maio	10/junho	5/julho	26/julho		
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	Hyola 432	34,4	31,1	24,6	38,5	32,2B	
	Hyola 61	38,6	34,5	34,1	41,3	37,1A	
	Média	36,5ab	32,8ab	29,3b	39,9a	34,6	17,8
NGS	Hyola 432	12,5a A	9,6b A	9,0b B	10,1b A	10,3	
	Hyola 61	13,4a A	9,8b A	11,9ab A	11,7ab A	11,7	
	Média	13,0	9,7	10,4	10,9	11,0	10,1
MMG** (g)	Hyola 432	3,8	4,2	3,5	3,5	3,7	
	Hyola 61	3,9	3,8	3,2	3,1	3,5	
	Média	3,8a	4,0a	3,4b	3,3b	3,6	10,2
NSP	Hyola 432	181,5	179,3	170,8	139,5	167,8	
	Hyola 61	205,1	222,9	190,7	159,8	194,6	
	Média	193,3	201,1	180,7	149,7	181,2	23,2
NSM (síliquas m <sup>-2</sup> )	Hyola 432	6.161,2	5.483,8	4.214,1	5.526,0	5.346,3B	
	Hyola 61	7.891,0	6.879,8	6.570,4	6.606,2	6.986,9A	
	Média	7.026,1	6.181,8	5.392,2	6.066,1	6.166,6	21,8
NGM (grãos m <sup>-2</sup> )	Hyola 432	77.475,6	52.513,2	38.050,3	59.368,0	56.851,8B	
	Hyola 61	105.716,1	67.947,1	77.786,3	78.315,7	82.441,3A	
	Média	91.595,8a	60.230,1b	57.918,3b	68.841,9ab	69.646,5	26,6

\* Médias com mesma letra minúscula e maiúscula entre datas e genótipos, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.; \*\* corrigidos para 8% de umidade.

Diferenças na densidade de plantas foram verificadas em 2010 e em 2011, sendo levemente superiores e inferiores, respectivamente, à população preconizada para a canola, que é de 40 plantas por metro quadrado (Tomm *et al.*, 2009). Em 2011, a densidade de plantas foi afetada por eventos de geadas, que tiveram maior intensidade e frequência do que em 2010. As geadas comprometeram as plântulas em estádios iniciais de desenvolvimento, especialmente nas semeaduras em que se verificaram as menores densidades de plantas.

Segundo Dalmago *et al.* (2010), eventos de geadas com temperaturas do ar de  $-6^{\circ}\text{C}$  determinam a morte de plântulas de canola, se as mesmas não tiverem aclimação prévia ao frio, em estágios iniciais de desenvolvimento. Em plântulas de canola o ponto de crescimento se encontra mais exposto que nos demais estádios, sendo mais suscetível a danos pelo frio. Tal condição pode ter contribuído para reduzir a densidade de plantas, em 2011. Contudo, pela elevada capacidade de compensação da canola, o rendimento de grãos permaneceu pouco afetado por alterações na densidade de plantas (Thomas, 2003; Tomm *et al.*, 2009; Krüger *et al.*, 2011b).

O número de síliquas por planta foi o único componente do rendimento de grãos que não diferiu entre datas de semeadura e genótipos de canola, nos experimentos de ambos os anos (2010 e 2011). Como houve diferenças no rendimento de grãos, seria esperado que houvesse diferenças no número de síliquas por planta, pela elevada capacidade da canola em compensar alterações na população de plantas (Thomas, 2003; Tomm *et al.*, 2009). A ausência do efeito da data de semeadura e dos genótipos sobre o número síliquas por planta indica que foram irrelevantes os efeitos das alterações na densidade de plantas. A ausência de correlação entre o número de síliquas por planta e o rendimento de

grãos da canola, indica possíveis efeitos indiretos do número de síliquis por planta sobre os demais componentes do rendimento de grãos, como foi verificado em cultivares de *B. napus* (Thurling, 1974).

Para todas as datas de semeadura e genótipos adotadas nos experimentos de 2010 e 2011, o número médio de síliquis por planta foi 47 e 24 % inferior à média de 224 síliquis por planta obtida nos mesmos genótipos, na primeira data de semeadura de 2009 (20/05/2009), respectivamente. O número de síliquis por planta encontrado neste trabalho estiveram dentro da faixa de 147 a 212 síliquis por planta observada por Krüger *et al.* (2011b), com os mesmos genótipos semeados em maio, em dois anos experimentais, com as mesmas densidade de plantas e espaçamento deste trabalho.

O número de síliquis por planta afeta diretamente o rendimento de grãos quando os genótipos de canola, utilizados neste trabalho, encontram-se sob diferentes espaçamentos e densidades de plantas (Krüger *et al.*, 2011b). Com cultivares de *B. napus*, Thurling (1974) verificou que o número de hastes com síliquis e o número de síliquis por haste apresentaram correlações indiretas e negativas com o número de grãos por síliqua, mascarando as correlações entre o número de grãos por síliqua e o rendimento de grãos. Neste trabalho, o número de síliquis por planta não apresentou correlação com o rendimento de grãos (Apêndice 17). Isto pode ser atribuído aos possíveis efeitos indiretos do número de síliquis por planta sobre o rendimento de grãos, através de alterações no número de grãos por síliqua, conforme verificou Thurling (1974).

Em 2010, na terceira data (06/06/2010) e nas duas primeiras datas de semeadura de 2011 (19/05/2011 e 10/06/2011) a massa de mil grãos foi superior àquela observada nas demais datas de semeadura, em cada ano. Os valores mais elevados de MMG podem estar relacionados a condições hídricas e térmicas

mais favoráveis e maior disponibilidade de radiação solar, para o enchimento dos grãos. Os valores médios de MMG foram de 3,6 g em 2009 e 2011 e de 4,1 g em 2010, os quais estão de acordo com valores obtidos em outros locais: 4,1 g por Thurling (1974), 3,5 g por Krüger *et al.* (2011b) e 3,4 g por Shamsi (2012). Por outro lado, os mesmos são superiores às médias de 3,0 g encontrada por Robertson *et al.* (2004) e de 2,8 g obtida em cultivares de colza, na década de 1980, no Rio Grande do Sul (Borba *et al.*, 1982).

Em 2010, o número de grãos por siliqua apresentou diferenças significativas apenas entre genótipos, sendo superior no Hyola 61, em comparação ao Hyola 432. Em 2011, apesar de pouco significativa (Percin & Cargnelutti Filho, 2008) houve interação ( $P = 0,12$ ) entre datas de semeadura e genótipos para o número de grãos por siliqua. Nesse ano, as médias do número de grãos por siliqua foram menos discriminadas entre datas de semeadura para o Hyola 61 do que para o Hyola 432. Nos três anos, o número médio de grãos por siliqua no Hyola 61 foi 15 % superior aquele do Hyola 432, com valores de 13 e 11, respectivamente.

Os valores médios de número de grãos por siliqua, para ambos os genótipos, foram inferiores aos esperados para canola, que estão na ordem de 15 a 25 grãos por siliqua (Edwards & Hertel, 2011). O rendimento de grãos obtido por Shamsi *et al.* (2012) foi de 2.853 kg ha<sup>-1</sup> com 18 grãos por siliqua, enquanto que neste trabalho o rendimento foi de 2.020 kg ha<sup>-1</sup> com apenas 12 grãos por siliqua, na média geral de 2010 e 2011.

O número de grãos por siliqua de canola, verificado por Tamagno *et al.* (1999) variou de 29 a 31, com rendimento de grãos entre 2.400 e 3.000 kg ha<sup>-1</sup>. Porém, quando o rendimento de grãos foi à metade deste valor, o número de grãos por siliqua também diminuiu para valores entre 10 e 16 grãos por siliqua.

Em experimento realizado no Rio Grande do Sul, com rendimento de grãos na ordem de  $1.010 \text{ kg ha}^{-1}$ , Krüger *et al.* (2011b) obtiveram média de 16 grãos por síliqua.

O número de grãos por síliqua foi o componente do rendimento de grãos que apresentou a maior correlação ( $r = 0,59$ ) com o rendimento de grãos (Apêndice 17). O rendimento de grãos de canola obtidos neste trabalho foi inferior aos  $4.500 \text{ kg ha}^{-1}$  apontados por Thomas (2003). O menor número de grãos por síliqua verificado neste trabalho, em relação aos citados na literatura em elevados rendimentos de grãos (Tamagno *et al.*, 1999; Istanbuluoglu *et al.*, 2010; Edwards & Hertel, 2011; Shamsi *et al.*, 2012;), indica que este componente do rendimento de grãos foi o mais afetado pelas condições físicas de cada data de semeadura.

#### **4.7 Considerações finais**

Os três anos de realização dos experimentos a campo mostraram que ocorreram, tanto excessos quanto deficiências hídricas, em momentos distintos do desenvolvimento da canola. As condições de temperatura do ar também foram distintas entre as datas de semeaduras. Além disso, as deficiências hídricas ocorreram com temperaturas do ar elevadas e maior disponibilidade de radiação solar, que intensificam os efeitos do déficit hídrico e dificultam a separação dos efeitos de cada variável sobre desenvolvimento da canola.

Os anos de 2010 e de 2011 foram contrastantes, do ponto de vista hídrico. O ano de 2010 foi o mais seco dos três e teve os rendimentos de grãos mais elevados em relação a 2011. Em 2011, foram verificados os maiores excessos hídricos dos três anos e os rendimentos de grãos foram menores, em relação a 2010. As evidências do efeito do excesso ou deficiência hídrica sobre a canola,

indicam que são necessários estudos que quantifiquem o efeito da condição hídrica sobre o crescimento, desenvolvimento e o rendimento de grãos.

Apesar da menor demanda evaporativa da atmosfera e de precipitações pluviais frequentes, no período de cultivo da canola, ocorre deficiência hídrica no solo, que pode afetar a canola. Entretanto, a intensidade e frequência das deficiências são menores no período de cultivo da canola do que ocorrem com cultivos de verão. Assim, os riscos de frustrações de safra por deficiência hídrica são inferiores no período de cultivo da canola, do que das culturas de verão. Com a ocorrência de excessos hídricos, a produção de matéria seca e o rendimento de grãos foram, aparentemente, menores que em períodos de deficiência hídrica.

Neste estudo, as sementeiras de canola deste estudo foram realizadas entre os meses de abril e julho e os resultados mostraram que, nas primeiras sementeiras, a cultura apresentou os maiores rendimentos de grãos, em relação às mais tardias. Este resultado, em partes, confirma as indicações de datas de sementeira do zoneamento agroclimático da cultura (Dalmago *et al.*, 2008). Entretanto, como as sementeiras iniciaram apenas em abril é possível que sejam obtidos rendimentos de grãos superiores com sementeiras de março. Para tanto, são necessários mais estudos que avaliem o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento de grãos da canola com sementeiras realizadas em março.

Ficou evidente que a região Sul do Brasil apresenta condições adequadas para cultivo da canola. Além disso, a região apresenta disponibilidade de área para a expansão da cultura. Entretanto, a canola deve ser considerada como uma das espécies a serem cultivadas em rotação com as demais culturas. Assim, para a consolidação da canola na cadeia produtiva são necessários investimentos em pesquisa, para explorar melhor o seu potencial no contexto da rotação de culturas, ampliando o conhecimento sobre processo produtivo.

## 5 CONCLUSÕES

A necessidade térmica (acúmulo de graus-dia) para o ciclo total e subperíodos da canola varia em função de genótipos e ambientes de cultivo.

A duração do ciclo da canola apresenta menor variabilidade entre ambientes quando expressa em graus-dia do que em número de dias.

Canola semeada no outono apresenta menor necessidade térmica para completar o ciclo que em semeaduras de inverno.

As necessidades térmicas da canola no período vegetativo são mais influenciadas pelas condições do ambiente de cultivo do que no reprodutivo.

O índice de área foliar da canola apresenta dependência à soma térmica, expressa em graus-dia.

Em semeadura de outono, a *Brassica juncea* padrão canola apresenta maior precocidade para florescimento e período reprodutivo mais longo do que *Brassica napus* (canola).

Em semeaduras de outono a canola desenvolve menor índice de área foliar, mas com maior longevidade do que em semeaduras de inverno.

O índice de área foliar da canola é dependente do genótipo.

O índice de área foliar da canola é máximo por ocasião do florescimento pleno.

Após o índice de área foliar máximo da canola, hastes, flores e siliques interceptam a maior parte da radiação solar fotossinteticamente ativa.

O coeficiente de extinção da canola para radiação solar fotossinteticamente ativa independe de ambientes (anos e datas de semeadura) e de genótipos.

A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa independe de genótipos de canola.

A produção de biomassa da parte aérea da canola independe de datas de semeadura.

O rendimento de grãos de canola depende das condições dos ambientes de cultivo.

A canola expressa maior rendimento de grãos em semeaduras de outono do que nas de inverno.

Em semeadura de outono, o rendimento de grãos de *Brassica juncea* padrão canola não difere ao da canola (*Brassica napus*).

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ALMEIDA, J. L.; TOMM, G. O. Comportamento de híbridos de canola em Guarapuava, Paraná, 2007 In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA E BIOTECH FAIR, 3., 2008, Pinhais. **Anais...** Disponível em: <[www.porthuseventos.com.br/site/eventos/2008/bioenergia/congressos/trabalhos/genotipos\\_canola\\_2007\\_pronto.doc](http://www.porthuseventos.com.br/site/eventos/2008/bioenergia/congressos/trabalhos/genotipos_canola_2007_pronto.doc)> Acesso em: 03 abr. 2013.

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear unit system **Journal of the American Society Horticultural Science**, Boston, v. 74, n. 1, p. 430-445, 1959.

BARNI, N. A. et al. Desempenho de cultivares de colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* Metzg.) em resposta a épocas de semeadura e locais. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 11-44, 1984.

BARNI, N. A. et al. Introdução e avaliação de cultivares de colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* Metzg.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 21-54, 1985.

BATTISTI, R. et al. Dinâmica floral e abortamento de flores em híbridos de canola e mostarda castanha **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 174-181, 2013.

BERGAMASCHI, H. et al. Intercepted solar radiation by maize crops subjected to different tillage systems and water availability levels. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1331-1341, 2010.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul In: BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1999. p. 11-24.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 96 p. (IPAGRO. Boletim técnico, 7).

BOLIS, L. et al. Rendimento de grãos de colza em função de épocas da semeadura – síntese de resultados. In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA TRIGO, 4., 2008, Passo Fundo. **Resumos...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. Sessão de fitossanidade, fitotecnia & solos, resumo 14. (Embrapa Trigo. Documentos online, 94). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do94.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do94.htm)> Acesso em: 15 jun. 2013.

BOLIS, L. M. et al. Modelagem da floração da canola em resposta a soma térmica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Campinas: SBA; Viçosa: UFV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 1 CD-ROM. Tema do evento: Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável.

BONHOMME, R. Bases and limit's to using 'degree.day' units. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, p. 1-10, 2000.

BORBA, C. da S. et al. Época de colheita, rendimento de grãos e qualidade fisiológica das sementes de colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* Metzg.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 30-58, 1982.

CHANG, J. **Climate and agriculture**. Illinois: Aldine Publishing Company, 1968. 304 p.

CHARTIER, M. et al. Utilization des cellules au silicium amorphe la mesure du rayonnement photosynthiquement activ (400-700 nm). **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 281-284, 1989.

CHAVARRIAI, G. et al. Índice de área foliar em canola cultivada sob variações de espaçamento e de densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2084-2089, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2009/2010, nono levantamento, junho 2010**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento - Conab, 2010. 45 p. Disponível em: <[www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8graos\\_6.5.10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8graos_6.5.10.pdf)> Acesso em: 20 jun. 2010

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2012/2013, oitavo levantamento, maio 2013**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, 2013. 30 p. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_05\\_09\\_09\\_29\\_16\\_boletim\\_graos\\_maio\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_05_09_09_29_16_boletim_graos_maio_2013.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2013.

CORDEIRO, A. P. A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado no Rio Grande do Sul**. 2010. 273 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CUNHA, G. R. da El Niño – Oscilação do sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 277-284, 1999.

DALMAGO, G. A. et al. **Zoneamento agroclimático para a canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 76 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 9).

DALMAGO, G. A. et al. Canola. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola** Brasília, DF: INMET, 2009. p. 131-149.

DALMAGO, G. A. et al. Aclimação ao frio e dano por geada em canola **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 933-943, 2010.

DEGENHARDT, D. F.; KONDRÁ, Z. P. The influence of seeding date and seeding rate on seed yield and yield components of five genotypes of *Brassica napus* **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 61, n. 2, p. 175-183, 1981.

DIEPENBROCK, W. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 67, p. 35-49, 2000.

EDWARDS, J.; HERTEL, K. **Canola growth and development**. 2011 Disponível em: <<http://www.dpi.nsw.gov.au/aboutus/resources/bookshop/canola-growth-and-development>>. Acesso em: 30 mar. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

FARAGE, P. K.; LONG, S. P. The occurrence of photoinhibition in an over-wintering crop of oil-seed rape (*Brassica napus* L.) and its correlation with changes in crop growth. **Planta**, Berlin, v. 185, p. 279-286, 1991.

FARAJI, A. et al. Effect of high temperature stress and supplemental irrigation on flower and pod formation in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars at mediterranean climate. **Asian Journal of Plant Science**, Bholakpur, v. 7, n. 4, p. 343-351, 2008.

FISCHER, G. et al. Thermodynamical and dynamical structures of the global atmosphere. In: HELLWEGE, K.-H., MODELUNG, O. (Ed.). **Numerical data and functional relationships in science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 491 p.

FOCHESATTO, E. **Fenologia da colza em diferentes ambientes no Rio Grande do Sul**. 2012. 54 f. Relatório de Estágio (Graduação) - Curso de Graduação em Agronomia, Instituto de Desenvolvimento Educacional do Alto Uruguai – IDEAU, Getúlio Vargas, 2012.

FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 87-91, 1996.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.

FRIEDT, W.; SNOWDON, R. Oilseed rape. In: VOLMANN, J.; RAJCAN, I. (Ed.). **Oil crops**. New York: Springer, 2009. Disponível em: <[http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-0-387-77594-4\\_4.pdf](http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-0-387-77594-4_4.pdf)> Acesso em: 20 maio 2013.

GABRIELLE, B. et al. A model of leaf area development and senescence for winter oilseed rape **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 57, p. 209-222, 1998.

GAMBAUDO, S; FONTANETTO, H. Fertilization de colza en la región central de Santa Fé In.: IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. **Cultivo de colza**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária – INTA, 2008. p. 77-85.

GARNIER, C.; TARDIEU, F. Is thermal time adequate for expressing the effects of temperature on sunflower leaf development? **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 21, p. 695-703, 1998.

GILMORE, E. C. Jr.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, n. 10, p. 611-615, 1958.

GOSSE, G. et al. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 6, n. 1, p. 47-56, 1986.

GUERREIRO, J. C. et al. Temperatura base e graus-dia para a colza – síntese de resultados In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA TRIGO, 4., 2008, Passo Fundo. **Resumos...** Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do94\\_21.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do94_21.htm)>. Acesso em: 01 maio 2013.

GUNASEKERA, C. P. et al. Comparison of the response of two Indian mustard (*Brassica juncea* L.) genotypes to post-flowering soil water deficits with response of canola (*B. napus* L.) cv. Monty. **Crop & Pasture Science**, Collingwood, v. 60, p. 251-261, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Pallotti, 1989. 102 p.

IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. **Cultivo de colza**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária – INTA, 2008. 156 p.

ISTANBULLUOGLU, A. et al. Effect of deficit irrigation regimes on the yield and growth of oilseed rape (*Brassica napus* L.) **Biosystems Engineering**, London, v. 105, p. 388-394, 2010.

JENSEN, C. R. et al. Leaf photosynthesis and drought adaptation in field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) **Australian Journal Plant Physiology**, Collingwood, v. 23, p. 631-644, 1996.

JOLY, A. B. **Botânica**: introdução a taxonomia vegetal. 11. ed. São Paulo: Ed. USP, 1993. 777 p. v. 4.

JUSTES, E. et al. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. **European Journal of Agronomy**, Montrouge Cedex, v. 13, p. 165-177, 1997.

KERBER, T. L. et al. Soma térmica de subperíodos de desenvolvimento da canola In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA TRIGO, 5., 2009, Passo Fundo. **Resumos...** Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do115\\_18.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do115_18.htm)> Acesso em: 01 mai. 2013.

KING, J. R.; KONDRÁ, Z. P. Photoperiod response on spring oilseed rape (Brassica napus L. and B. campestris). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 13, p. 367-373, 1986.

KINIRY, J. R. et al. Radiatio-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five-crop species. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 20, p. 51-64, 1989.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 857-867, 2002.

KLEIN, V. A. et al. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.

KOVALESKI, S. et al. Filocrono de diferentes genótipos de canola cultivados a campo. In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA TRIGO, 5., 2009, Passo Fundo. **Resumos...** Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do115\\_13.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do115_13.htm)>. Acesso em: 01 maio 2013.

KRÜGER, C. A. M. B.; MEDEIROS, S. L. da; SILVA, J. A. G. Soma térmica e seus efeitos nos caracteres adaptativos e de produção na cultura da canola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV, 2009. p. 1-5. 1 CD-ROM.

KRÜGER, C. A. M. B. et al. Arranjo de plantas na expressão dos componentes da produtividade de grãos de canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.11, p.1448-1453, 2011a.

KRÜGER, C. A. M. B. et al. Herdabilidade e correlação fenotípica de caracteres relacionados à produtividade de grãos e à morfologia da canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1625-1632, 2011b.

KUNZ, J. H. **Distribuição da radiação solar na cultura do milho em função de manejo do solo, arranjo de plantas e condição hídrica**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

KUNZ, J. H. et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos de solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, 2007.

LUZ, G. L. da et al. Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1549-1555, 2012.

MARTORANO, L. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. 2007. 151 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MENDHAM, N. J.; SHIPWAY, P. A.; SCOTT, R. K. The effects of delayed sowing and weather on growth, development and yield of winter oil-seed rape (*Brassica napus*). **The Journal of Agricultural Science**, London, v. 96, p. 389-416, 1981.

MENDHAM, N. J.; RUSSELL, J.; JAROSZ, N. K. Response to sowing time of three contrasting Australian cultivars of oilseed rape (*Brassica napus*). **The Journal of Agricultural Science**, London, v. 114, p. 275-283, 1990.

MILLER, P.; LANIER, W.; BRANDT, S. **Using growing degree days to predict plant stages**. Bozeman, MT: Montana State University: MSU Extension Service, 2001. 8 p. (Extension Service MT200103 AG 7/2001). Disponível em: <<http://msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/MT200103AG.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2013

MOGENSEN, V. O. et al. Pod photosynthesis and drought adaptation of field grown rape (*Brassica napus*). **European Journal of Agronomy**, Montrouge Cedex, v. 6, p. 295-307, 1997.

MONSI, M.; SAEKI, T. The light factor in plant communities and its significance for dry matter production. **Japanese Journal of Botany**, Tokyo, v. 14, p. 22-52, 1953.

MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2009. 530 p.

MOREIRA, M. A.; ANGULO FILHO, R.; RUDORFF, B. F. T. Eficiência do uso da radiação e índice de colheita em trigo submetido a estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 3, p. 597-603, 1999.

MOREIRA, M. A. et al. Variação espectral e eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa em ensaio com genótipos de trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 331-338, 2005.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46p.

MORRISON, M. J.; McVETTYI, P. B. E.; SHAYKEWICH, C. F. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of westar summer rape. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v. 69, p. 455-464, 1989.

MORRISON, M. J.; STEWART, D. W.; MCVETTYI, P. B. E. Maximum area, expansion rate and duration of summer rape leaves. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 72, n. 1, p. 117-126, 1992.

MORRISON, M. J.; STEWART, D. W. Radiation use efficiency in summer rape. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 1139-1142, 1995.

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

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

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas e verificação do modelo energético de estimativa da massa seca acumulada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, p. 27-33, 2005.

MÜLLER, A. L. et al. Produtividade de híbridos de canola em relação a diferentes épocas de semeadura na região oeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV, 2009. p. 1-5. 1 CD-ROM.

MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapour pressure. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 6, n. 1, p. 203-204, 1967.

MURTHY, V. R. K. Crop growth modeling and its applications in agricultural meteorology. In: SATELLITE REMOTE SENSING AND GIS APPLICATIONS IN AGRICULTURAL METEOROLOGY, 2003, Dehra Dun. **Proceedings...** Dehra Dun: Training Workshop Held, 2003. p. 235-261. Disponível em: <[http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/AGM8\\_en.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/AGM8_en.php)>. Acesso em: 15 abr. 2011.

NANDA, R.; BHARGAVA, S. C.; RAWSON, H. M. Effect of sowing date on rates of leaf appearance, final leaf numbers and areas in *Brassica campestris*, *B. juncea*, *B. napus* and *B. carinata*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 42, p. 125-134, 1995.

NANDA, R. et al. Phenological development of *Brassica campestris*, *B. juncea*, *B. napus* and *B. carinata* grown in controlled environments and from 14 sowing dates in the field. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 46, p. 93-113, 1996.

PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa* L.)**. 1995. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimentos em interações de experimentos fatoriais. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 68-72, 2008.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: FEALQ, 2009. v. 15. 451 p.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 40, n. 228, p. 176-195, 1993.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 1-17, 1996.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003.

ROBERTSON, M. J.; HOLAND, J. F.; BAMBACH, R. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 55, p. 525-538, 2004.

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, Malden, v. 30, p. 1086-1106, 2007.

SAS Institute Inc. **SAS/STAT® 9.2 user's guide**. 2nd ed. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2009.

SHAMSI, M. et al. Study of the effects of planting date on the phenological and morphological features, the seed yield, and the components of the yield of oilseed rape. **International Journal of Biology**, Toronto, v. 4, n.1, p. 49-56, 2012.

SILVA, A. R. A. et al. Morfologia e fitomassa do girassol cultivado com déficits hídricos em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 959-968, 2012.

STORCK, L. (Org.) **Experimentação vegetal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2000. 198 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

STRECK, N. A. et al. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1086-1093, 2006.

STRECK, N. A. et al. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1553-1561, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006, 719 p.

TAMAGNO, L. N.; CHAMORRO, A M.; SARANDÓN, S. J. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. spp *oleifera* forma *annua*): efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 104, n. 1, p. 25-34, 1999.

TESFAMARIAM, E. H. **Modelling the soil water of canola *Brassica napus* L (Hyola 60)**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Department of Plant Production and Soil Science, Faculty of Natural and Agricultural Science, University of Pretoria, Pretoria, 2004.

THIMIJJAN, R. W.; HEINS, R. D. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. **HortScience**, Alexandria, v. 18, n. 6, p. 818-822, 1983.

THOMAS, P. **Canola: grower's manual**. Winnipeg: Canola Council of Canada, 2003. Disponível em: <[http://www.canolacouncil.org/canola\\_growers\\_manual.aspx](http://www.canolacouncil.org/canola_growers_manual.aspx)>. Acesso em: 24 mar. 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**, Centerton, v. 3, n. 10, 104 p., 1955.

THURLING, N. Morphophysiological determinants of yield in rapeseed (*Brassica campestris* and *Brassica napus*). I Growth and morphological characters. **Australian Journal Agricultural Research**, Melbourne, v. 25, p. 697-710, 1974.

THURLING, N.; KAVEETA, R. Yield improvement of oilseed rape (*Brassica napus* L.) in a low rainfall environment. II. Agronomic performance of lines selected on the basis of pre-anthesis development. **Australian Journal Agricultural Research**, Melbourne, v. 43, p. 623-633, 1992.

TOMM, G. O. et al. **Efeitos de épocas de semeadura sobre o desempenho de genótipos de canola em Três de Maio, RS**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 11 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 17). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p\\_ci17.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci17.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2010.

TOMM, G. O.; ELIZARZÚ, M. A.; ÁRIAS, G. **Desempenho de genótipos de canola em Tarariras, Uruguai, 2006**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 14 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 51). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp51.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp51.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2010.

TOMM, G. O. et al. **Desempenho de genótipos de canola (*Brassica napus* L.) no Nordeste do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 11 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 65). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp65.pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp65.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2013.

TOMM, G. O. et al. **Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 88 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 92).

TRENTIN, R. et al. Soma térmica de subperíodos do desenvolvimento da planta de melancia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2464-2470, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Oilseeds: world markets and trade**. [S.l.], 2013. (Circular series, FOP 045-13). Disponível em: <<http://usda01.library.cornell.edu/usda/fas/oilseed-trade//2010s/2013/oilseed-trade-05-10-2013.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2013.

VALE, F. X. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; LIBERATO; J. R. QUANT – a software for plant disease severity assessment. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 8., 2002, Christchurch. **Proceedings...** Christchurch, New Zeland, 2002, p. 105.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. 2. Ed. Recife: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2006. 449 p. Disponível em: <[www.agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br)>. Acesso em: 29 ago. 2009.

VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v.9, p. 419-439, 1989.

WRIGHT, P. R. et al. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: yield and yield components. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 42, p. 1-13, 1995.

WRIGHT, P. R.; MORGAN; J. M., JESSOP, R. S. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: plant water relations and growth. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 49, p. 51-64, 1996.

YIN, X. et al. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 7, p. 1-16, 1995.

YUNUSA, I. A. M. et al. Effect of canopy structure on efficiency of radiation interception and use in spring wheat cultivars during the pre-anthesis period in a mediterranean-type environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 35, p. 113-122, 1993.

## 7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Dosagens de adubo e momentos de aplicação nos experimentos dos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.

Fonte	Momento de aplicação (Kg ha <sup>-1</sup> )				Total
	Semeadura	1 folha	5-6 folhas	Início do Florescimento	
.....2009.....					
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	60	-	-	-	60
Potássio (K <sub>2</sub> O)	60	-	-	-	60
Nitrogênio	15	-	21	45	81
Enxofre	-	-	24	-	24
.....2010.....					
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	60	-	-	-	60
Potássio (K <sub>2</sub> O)	60	-	-	-	60
Nitrogênio	36	-	81	68	185
Enxofre	24	-	-	-	24
.....2011.....					
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	60	10	10	-	80
Potássio (K <sub>2</sub> O)	60	10	10	-	80
Nitrogênio	15	48	45	45	152
Enxofre	-	-	48	-	48

APÊNDICE 2. Resultados\* das análises químicas de solo das áreas de instalação dos experimentos com canola em diferentes camadas de solo nos anos de 2009, 2010 e 2011 em Passo Fundo-RS.

Camada (cm)	Argila	MO	P			K		H+Al	S	V
	g cm <sup>-3</sup>	%	mg dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>		mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%
.....2009 antes da implantação do experimento.....										
0 - 10	510	27	B	25,4	MA	292	EA	38,9	96,4	71,3
0 - 20	530	28	B	22,5	MA	218	MA	43,6	102,9	70,2
.....2010 antes da implantação do experimento.....										
0 - 10	500	37	M	53,1	EA	206	MA	109,3	71,5	40,0
11 - 20	570	28	B	8,6	A	108	A	69	73,2	51,5
21 - 40	620	82	B	3,2	B	50	M	69	64,5	48,3
.....2010 após a colheita do experimento.....										
0 - 10	420	28	B	62,9	EA	104	A	109,3	58,0	35,0
11 - 20	510	20	MB	11,0	A	50	M	69	76,3	52,5
21 - 40	560	16	MB	1,9	MB	16	MB	69	58,0	45,7
41 - 60	640	12	MB	1,3	MB	16	MB	97,4	35,8	27,0
.....2011 antes da implantação do experimento.....										
0 - 10	510	31	B	23,4	MA	316	EA	43,6	94,7	68,5
11 - 20	540	27	B	9,3	A	206	MA	43,6	87,5	66,7
21 - 30	510	25	MB	4,5	B	130	MA	61,5	60,7	49,7
31 - 40	510	24	MB	2,4	MB	80	A	86,8	45,4	34,4
.....2011 após a colheita do experimento.....										
0 - 10	512	34	B	39,4	MA	233	MA	64,3	85,2	57,0
11 - 20	587	26	B	8,9	M	148	MA	58,6	78,6	57,6
21 - 40	630	25	MB	3,0	MB	84	A	95,2	54,6	39,3

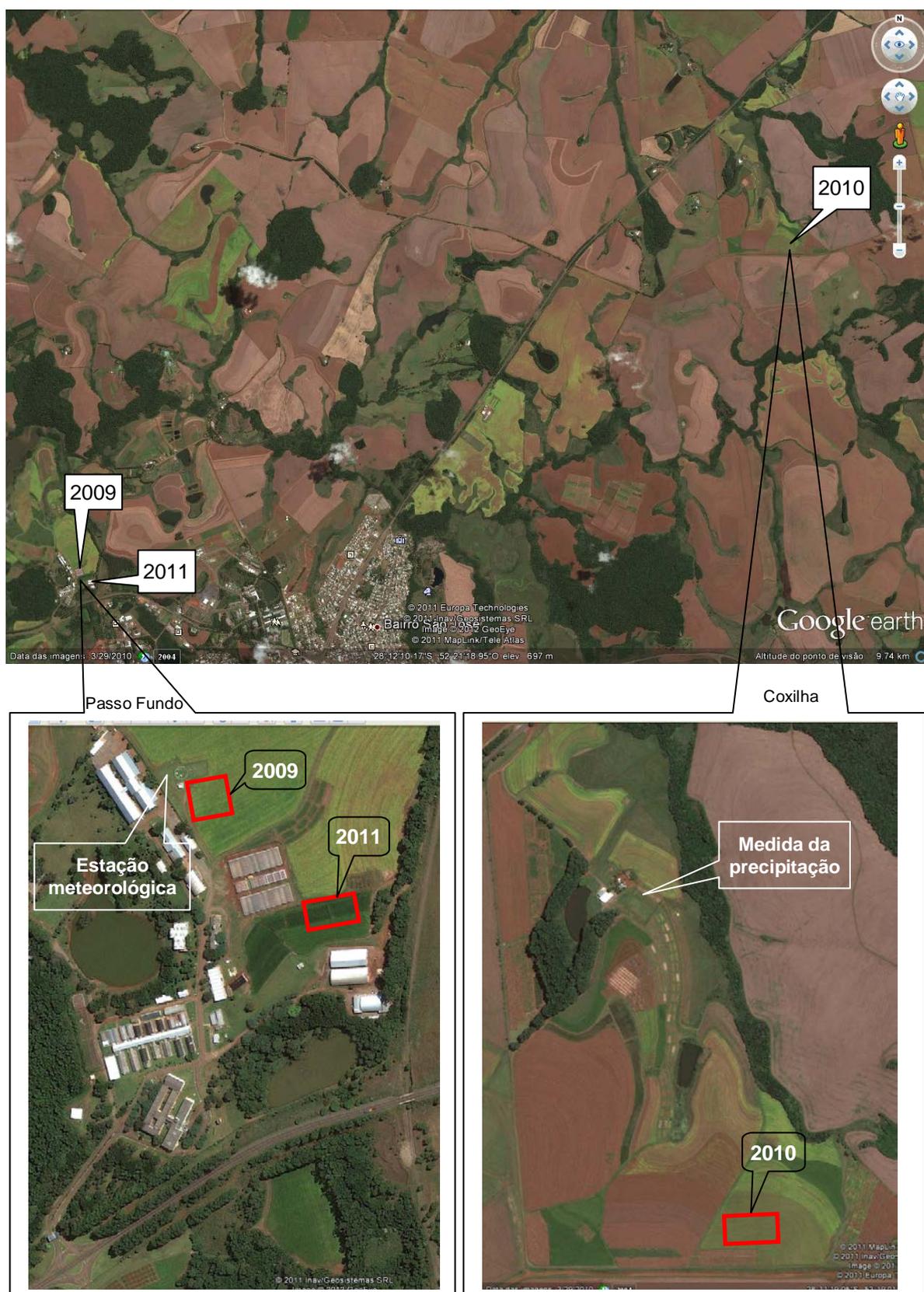
\* efetuadas pelo laboratório de solo da CNPT da Embrapa Trigo de Passo Fundo;

Interpretação: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto; MA = muito alto.

P em função de argila e K em função da CTC;

Métodos: Argila – densímetro; P e K - Mehlich-I; MO – combustão úmida; Al, Ca e Mg – trocável em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>;

APÊNDICE 3. Localização dos experimentos, nos municípios de Passo Fundo e Coxilha, RS, conduzidos em 2009, 2010 e 2011. Adaptado de Google Earth®, 2012.



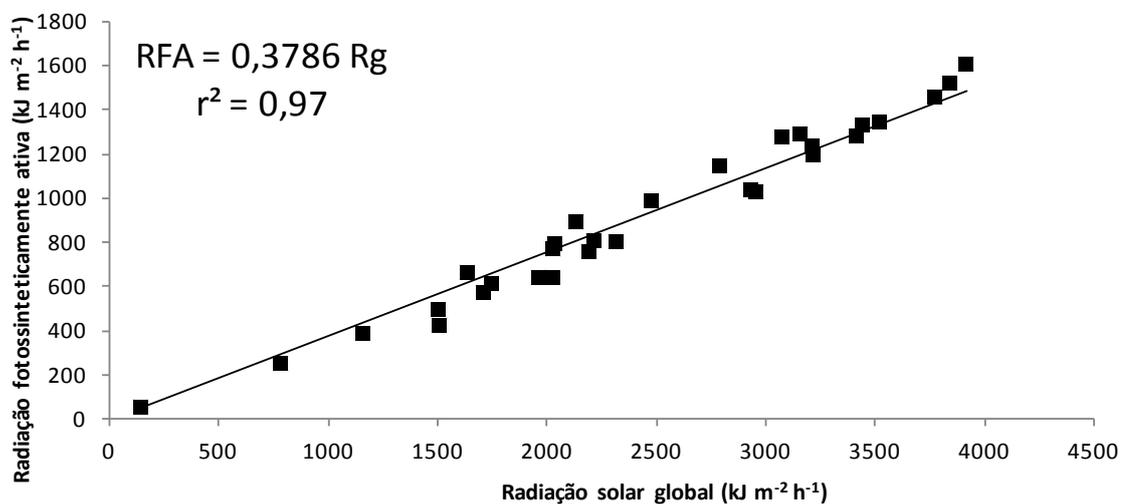
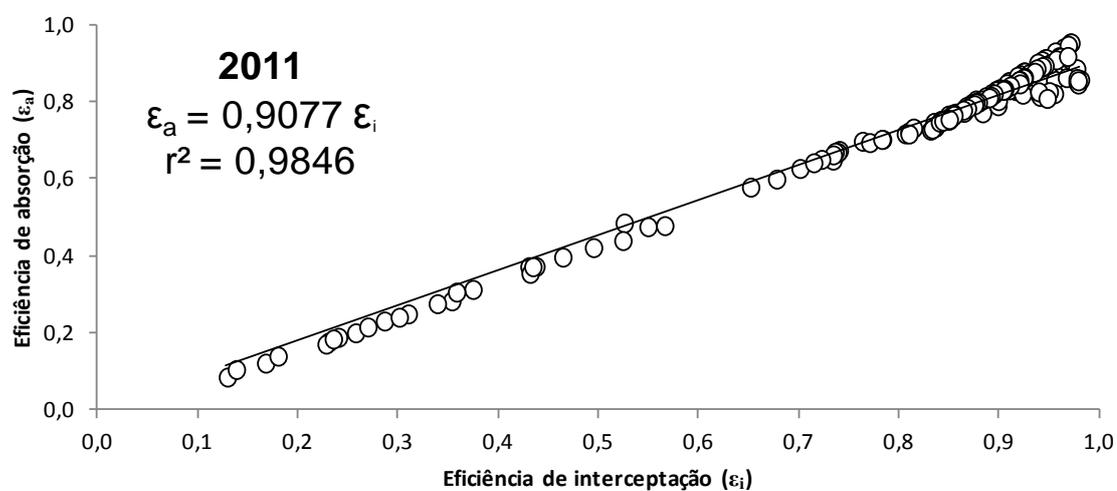
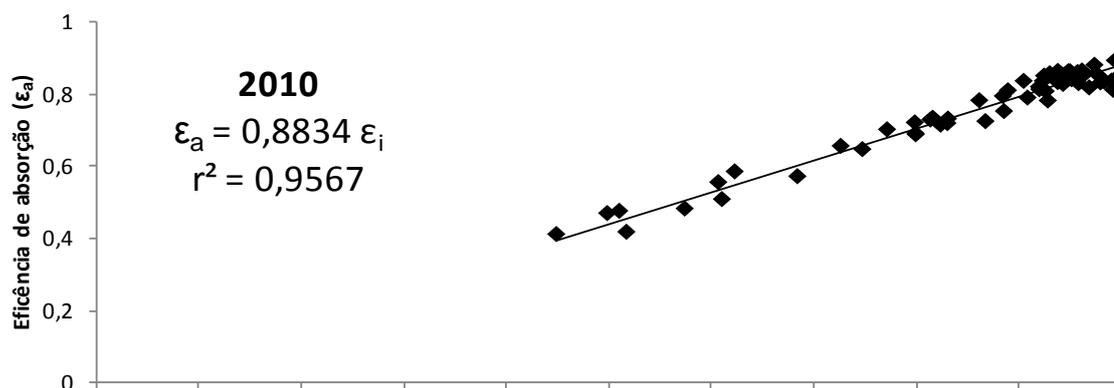
APÊNDICE 4. Atributos físicos do solo, em diferentes camadas, dos locais de realização dos experimentos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.

Camada	N	Porosidade* (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )				Densidade do solo (g dm <sup>-3</sup> )	Argila %
		Macroporos	Microporos	Criptoporos	Total		
..... <b>2010</b> .....							
0-10	3	0,111	0,135	0,235	0,482	1,374	46
11-20	3	0,096	0,094	0,264	0,454	1,446	54
21-40	3	0,090	0,142	0,267	0,499	1,329	59
41-60	3	0,104	0,136	0,277	0,517	1,281	32
..... <b>2011</b> .....							
0-10	6	0,106	0,109	0,245	0,460	1,435	53
11-20	6	0,141	0,103	0,250	0,493	1,343	58
21-40	6	0,122	0,166	0,233	0,520	1,272	57
41-60	6	0,166	0,150	0,244	0,561	1,165	66
61-80	6	0,178	0,184	0,244	0,606	1,045	74

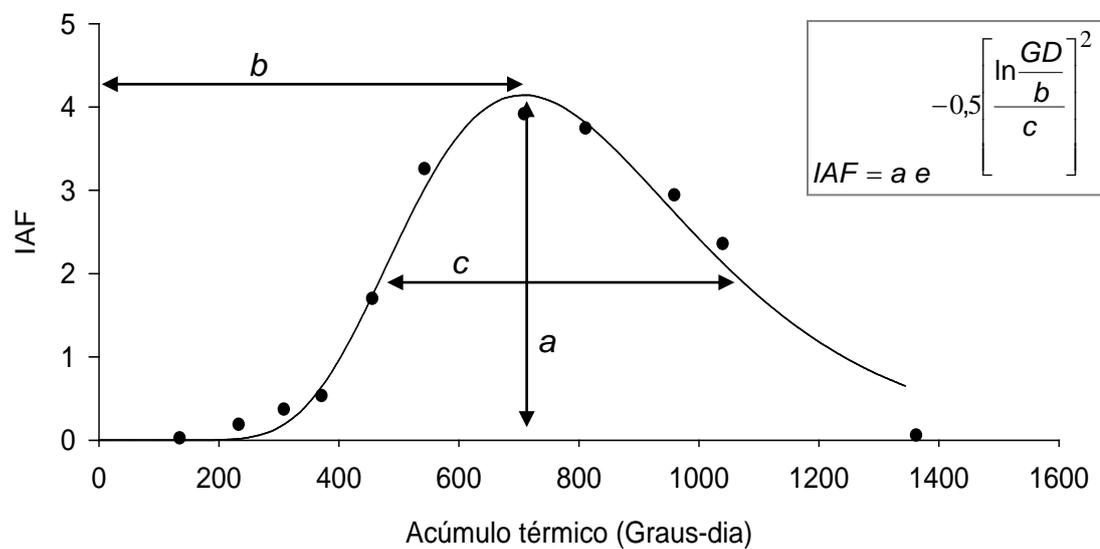
\* determinações efetuadas conforme Klein & Libardi (2002);

N – número de amostragens;

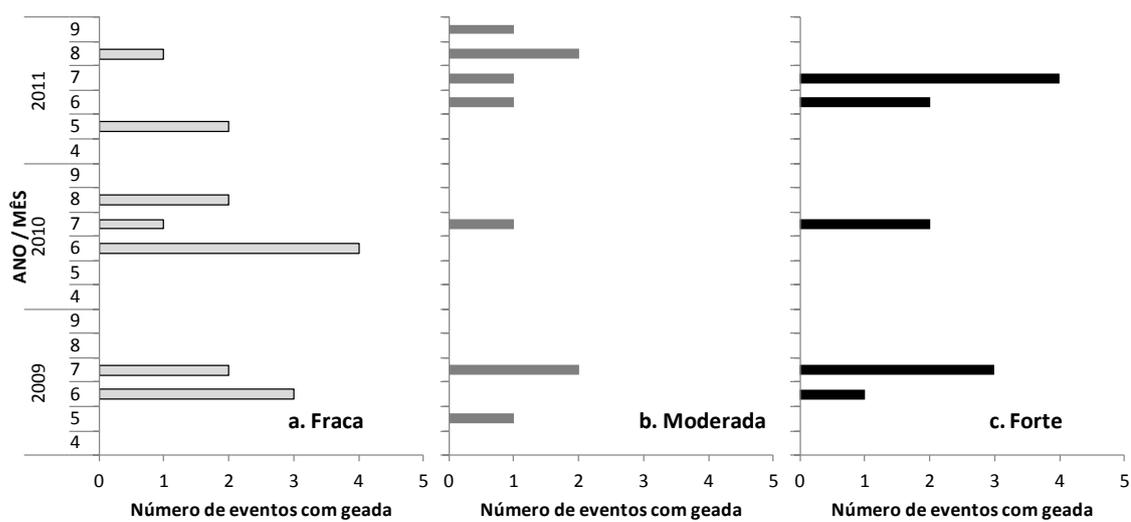
APÊNDICE 5. Relações entre a eficiência de interceptação e da absorção da radiação fotossinteticamente ativa na canola e a relação entre a radiação solar global e a fotossinteticamente ativa incidente nos anos de 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.



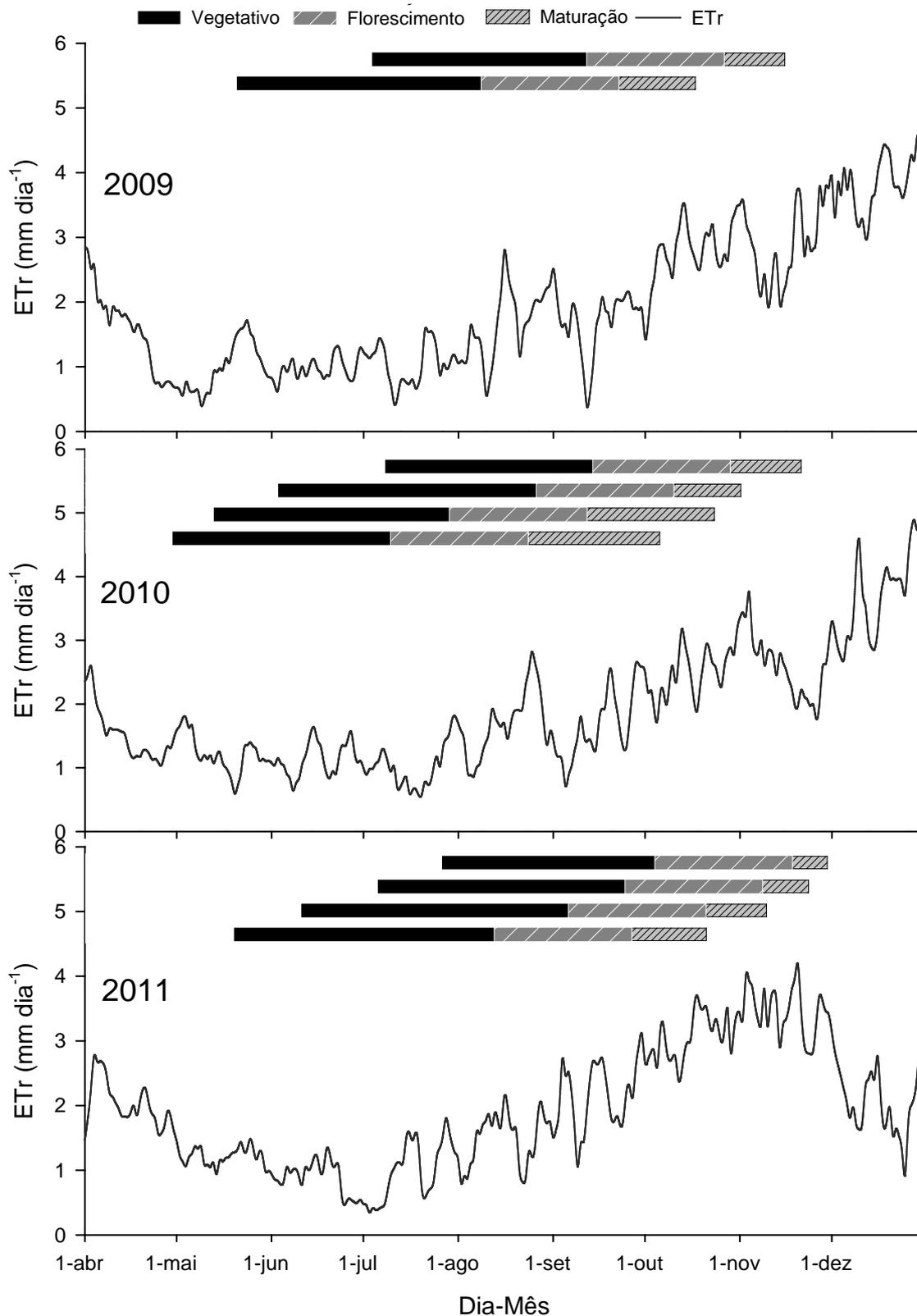
APÊNDICE 6. Representação dos coeficientes que expressam o *IAF* máximo (*a*), a necessidade térmica para o *IAF* máximo (*b*) e a longevidade do *IAF* (*c*) do modelo não-linear para a estimativa do índice de área foliar em função do acúmulo térmico (GD) na canola em Passo Fundo-RS, 2013.



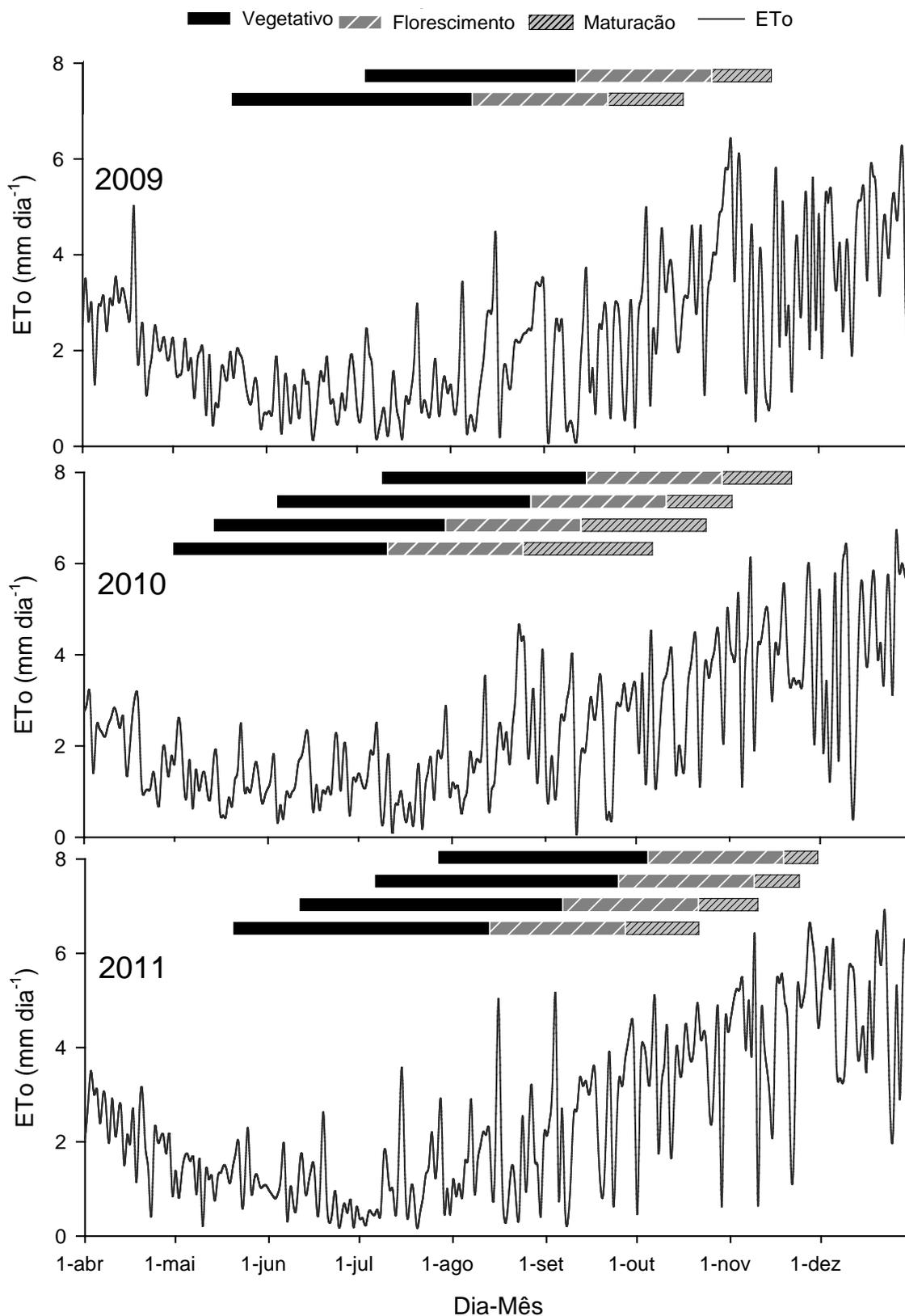
APÊNDICE 7. Número de eventos de geadas fraca, moderada e forte, de maio a setembro (4 a 9) de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo-RS.



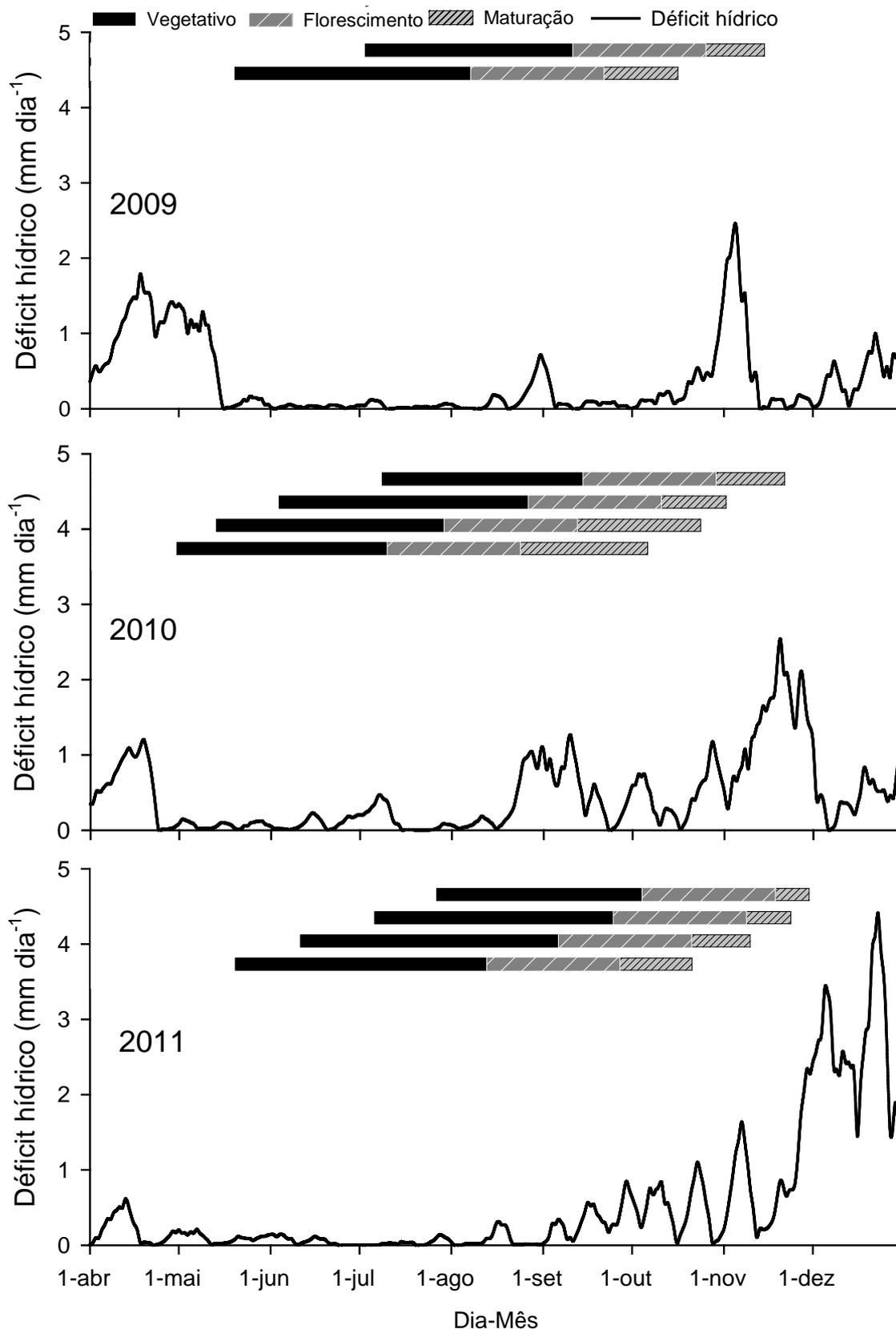
APÊNDICE 8. Média móvel de cinco dias para evapotranspiração real (ETr) obtida em balanço hídrico diário de maio a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.



APÊNDICE 9. Média móvel de cinco dias de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) calculada pelo método de Penman-Montheith de maio a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.



APÊNDICE 10. Média móvel de cinco dias do déficit hídrico obtido do balanço hídrico diário de maio a dezembro, com as respectivas ocorrências do período vegetativo (SE-IF), do florescimento (IF-FF) e de maturação da cultura da canola (FF-G5), em diferentes datas de semeadura nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.



APÊNDICE 11. Duração, em número de dias, para diferentes subperíodos de desenvolvimento de genótipos de padrão canola, por datas de semeadura, no ano de 2009. Passo Fundo, RS.

Subperíodo*	Número de dias** por genótipo					Média	CV*** (%)
	Juncea	Hyola 43	Hyola 432	Hyola 60	Hyola 61		
..... 20/maio .....							
SE-EM	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	0,0
EM-FR	39,0 b	44,5 a	44,0 a	45,0 a	45,0 a	43,5	2,1
FR-IF	21,0 c	21,5 b	22,5 b	29,0 a	27,5 a	24,3	3,3
EM-IF	60,0 c	66,0 b	66,5 b	74,0 a	72,5 a	67,8	1,4
IF-G3	23,3 a	18,0 b	17,5 b	12,0 c	11,5 c	16,5	6,2
G3-G5	52,8 b	52,0 b	52,8 b	54,0 ab	56,0 a	53,5	2,1
IF-FF	35,0	45,3	46,5	48,8	47,8	44,7	16,0
IF-G5	76,0 a	70,0 b	70,3 b	66,0 c	67,5 bc	70,0	1,9
FF-G5	41,0 a	24,8 b	23,8 b	17,3 b	19,8 b	25,3	27,6
SE-G5	148,0 b	148,0 b	148,8 b	152,0 a	152,0 a	149,8	0,8
EM-G5	136,0 b	136,0 b	136,8 b	140,0 a	140,0 a	137,8	0,8
..... 3/julho .....							
SE-EM	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	0,0
EM-FR	37,0	36,5	36,0	36,0	37,0	36,5	3,4
FR-IF	17,0	13,5	11,8	14,0	17,5	14,8	31,8
EM-IF	54,0	50,0	47,8	50,0	54,5	51,3	11,1
IF-G3	18,0	22,0	26,0	23,8	17,5	21,5	28,5
G3-G5	45,0	43,8	40,8	42,0	45,0	43,3	8,0
IF-FF	30,0 b	41,0 ab	43,2 a	41,0 ab	36,5 ab	38,4	14,8
IF-G5	63,0 a	65,8 a	66,8 a	65,8 a	62,5 a	64,8	5,9
FF-G5	33,0 a	24,8 b	23,5 b	24,8 b	26,0 b	26,4	8,6
SE-G5	136,0	134,8	133,5	134,8	136,0	135,0	1,7
EM-G5	117,0	115,8	114,5	115,8	117,0	116,0	2,0

\* Subperíodos de desenvolvimento: SE-EM: semeadura à emergência; EM-FR: emergência ao final do período de roseta; FR-IF: final de roseta ao início do florescimento; EM-IF: emergência ao início do florescimento; IF-G3: início do florescimento às siliquis com 4 cm; IF-FF: início ao final do florescimento; G3-G5: siliquis com 4 cm à maturação dos grãos; FF-G5: final do florescimento à maturação dos grãos; EM-G5: emergência à maturação dos grãos.

\*\* Médias com mesma letra minúscula e maiúscula entre datas e genótipos, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

\*\*\* Coeficiente de variação.

APÊNDICE 12. Duração, em número de dias, para diferentes subperíodos de desenvolvimento de genótipos de padrão canola, por datas de semeadura, no ano de 2010. Passo Fundo, RS.

Subperíodo*	Genótipo	Número de dias** por data (dias)				Média	CV*** (%)
		29/abril	13/maio	3/junho	8/julho		
SE-EM	Hyola 432	7,5	12,0	12,0	15,0	11,4	
	Hyola 61	7,5	12,3	12,0	15,0	11,7	
	Média	7,5c	12,1b	12,0b	15,0a	11,5	3,1
EM-FR	Hyola 432	48,0	41,0	56,5	44,3	48,1	
	Hyola 61	48,0	40,8	56,5	44,0	47,3	
	Média	48,0b	40,9d	56,5a	44,1c	47,7	1,3
FR-IF	Hyola 432	17,0	25,5	16,5	9,5	17,1A	
	Hyola 61	14,8	23,5	15,5	8,0	15,4B	
	Média	15,9b	24,5a	16,0b	8,8c	16,3	13,0
EM-IF	Hyola 432	65,0	64,8	73,0	52,5	63,8	
	Hyola 61	62,8	64,3	72,0	52,0	62,8	
	Média	63,9b	64,5b	72,5a	52,3c	63,3	3,4
IF-G3	Hyola 432	50,0	21,5	22,8	23,0	29,3	
	Hyola 61	48,0	20,5	19,0	23,3	27,7	
	Média	49,0a	21,0b	20,9b	23,1b	28,5	16,6
G3-G5	Hyola 432	36,0cA	62,8aA	47,0bA	48,0bA	49,4	
	Hyola 61	32,3cA	65,0aA	51,3bA	48,3bA	49,3	
	Média	34,2	63,7	49,4	48,1	49,4	6,6
IF-G5	Hyola 432	89,8	84,3	72,3	71,0	79,3	
	Hyola 61	86,3	89,0	70,3	71,5	79,3	
	Média	88,0a	86,6a	71,3b	71,3b	79,3	7,9
SE-G5	Hyola 432	162,3	162,0	157,3	140,0	155,4	
	Hyola 61	156,5	165,5	154,3	138,5	153,7	
	Média	159,4a	163,8a	155,8a	139,3b	154,5	3,8
EM-G5	Hyola 432	154,8	150,0	145,3	125,0	144,6	
	Hyola 61	149,0	153,3	142,3	123,5	142,0	
	Média	151,9a	151,9a	143,8a	124,1b	143,2	4,3

\* Subperíodos de desenvolvimento: SE-EM: semeadura à emergência; EM-FR: emergência ao final do período de roseta; FR-IF: final de roseta ao início do florescimento; EM-IF: emergência ao início do florescimento; IF-G3: início do florescimento às siliquis com 4 cm; G3-G5: siliquis com 4 cm à maturação dos grãos; FF-G5: final do florescimento à maturação dos grãos; EM-G5: emergência à maturação dos grãos.

\*\* Médias com mesma letra minúscula e maiúscula entre datas e genótipos, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

\*\*\* coeficiente de variação.

APÊNDICE 13. Duração, em número de dias, para diferentes subperíodos de desenvolvimento de genótipos de padrão canola, por datas de semeadura, no ano de 2011. Passo Fundo, RS.

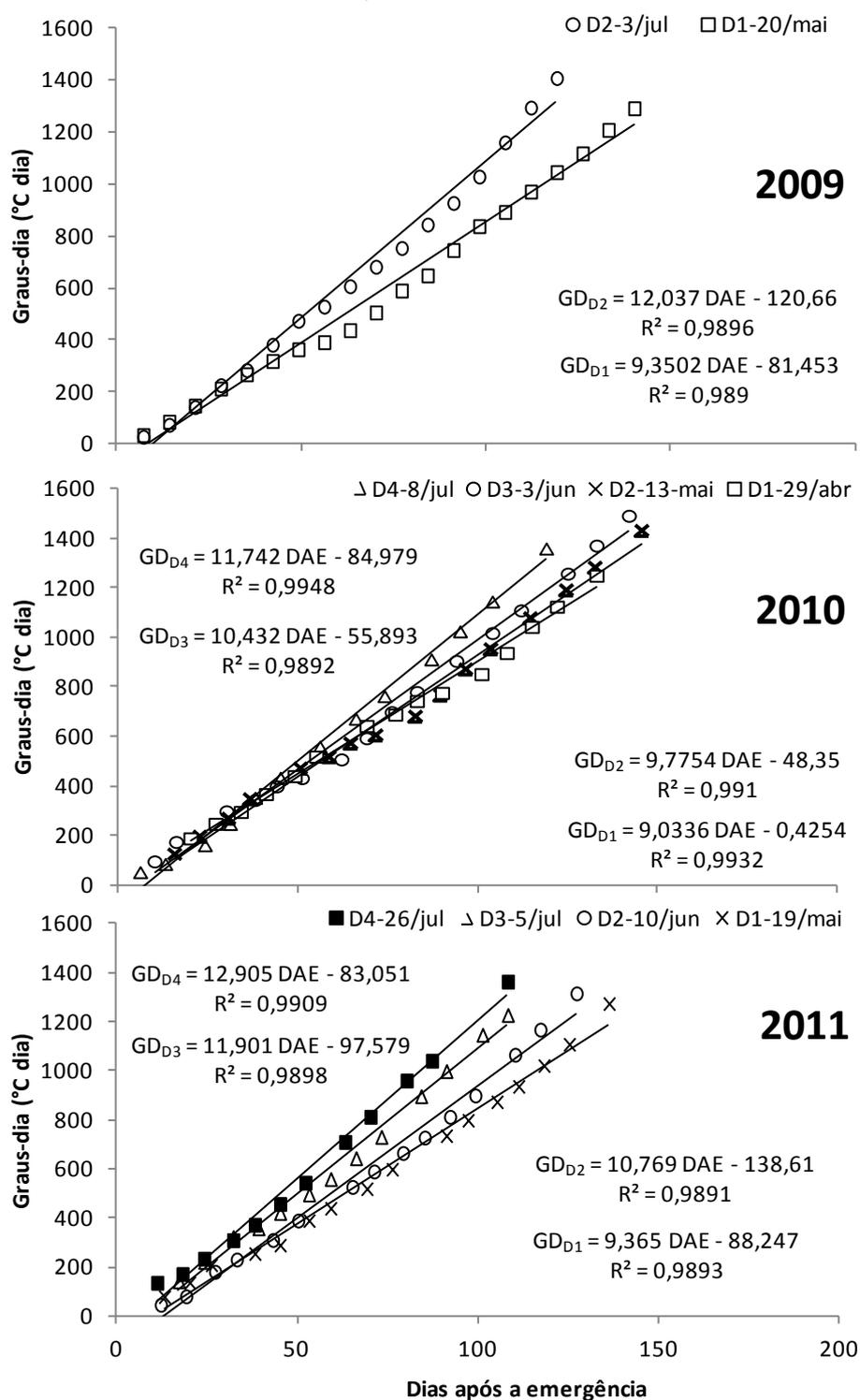
Subperíodo	Genótipo	Número de dias** por data (dias)				Média	CV*** (%)
		19/maio	10/junho	5/julho	26/julho		
SE-EM	Hyola 432	8,0	12,0	13,3	13,0	11,6	
	Hyola 61	8,0	13,5	13,0	13,0	11,9	
	Média	8,0b	12,8a	13,1a	13,0a	11,7	9,8
EM-FR	Hyola 432	49,0bA	55,0aA	45,8cA	38,7dB	47,6	
	Hyola 61	50,3bA	54,0aA	47,5cA	42,0dA	47,9	
	Média	49,7	54,6	46,6	40,6	47,8	2,4
FR-IF	Hyola 432	26,0aA	17,5bB	20,3bA	16,5bA	20,1	
	Hyola 61	27,0aA	22,0bA	22,3bA	15,5cA	21,7	
	Média	26,5	19,8	21,3	16,0	20,9	10,2
EM-IF	Hyola 432	76,0	72,5	66,0	56,0	67,6B	
	Hyola 61	78,8	77,0	69,8	57,5	70,8A	
	Média	77,4a	74,8a	67,9b	56,8c	69,2	3,2
IF-FF	Hyola 432	41,3	38,3	31,3	35,0	36,4	
	Hyola 61	36,0	34,8	26,3	28,0	31,3	
	Média	38,6a	36,5a	28,8b	31,5b	33,8	7,1
FF-G5	Hyola 432	30,3	30,0	31,0	24,0	28,8A	
	Hyola 61	31,0	26,5	31,5	25,8	28,7B	
	Média	30,6a	28,3ab	31,3a	24,9b	28,8	9,8
IF-G3	Hyola 432	12,0	17,5	14,8	17,8	15,5A	
	Hyola 61	10,0	14,8	12,8	11,8	12,3B	
	Média	11,0b	16,1a	13,8ab	14,8ab	13,9	24,6
G3-FF	Hyola 432	29,3	20,8	16,5	17,3	20,9	
	Hyola 61	26,0	20,7	13,5	16,3	19,0	
	Média	27,6a	20,7b	15,0c	16,8bc	20,0	15,2
G3-G5	Hyola 432	59,5	50,8	47,5	41,3	49,8	
	Hyola 61	57,0	46,5	45,0	42,0	47,6	
	Média	58,3a	48,6b	46,3bc	41,6c	48,7	7,2
IF-G5	Hyola 432	71,5	68,3	62,3	59,0	65,3A	
	Hyola 61	67,0	61,3	57,8	53,8	59,9B	
	Média	69,3a	64,8b	60,0c	56,4d	62,6	3,5
EM-G5	Hyola 432	147,5	140,8	128,3	115,0	132,9A	
	Hyola 61	145,8	138,3	127,5	111,3	130,7B	
	Média	146,6a	139,5b	127,9c	113,1d	131,8	2,0

\* Subperíodos de desenvolvimento: SE-EM: semeadura à emergência; EM-FR: emergência ao final do período de roseta; FR-IF: final de roseta ao início do florescimento; EM-IF: emergência ao início do florescimento; IF-G3: início do florescimento às siliquis com 4 cm; IF-FF: início ao final do florescimento; G3-G5: siliquis com 4 cm à maturação dos grãos; FF-G5: final do florescimento à maturação dos grãos; EM-G5: emergência à maturação dos grãos.

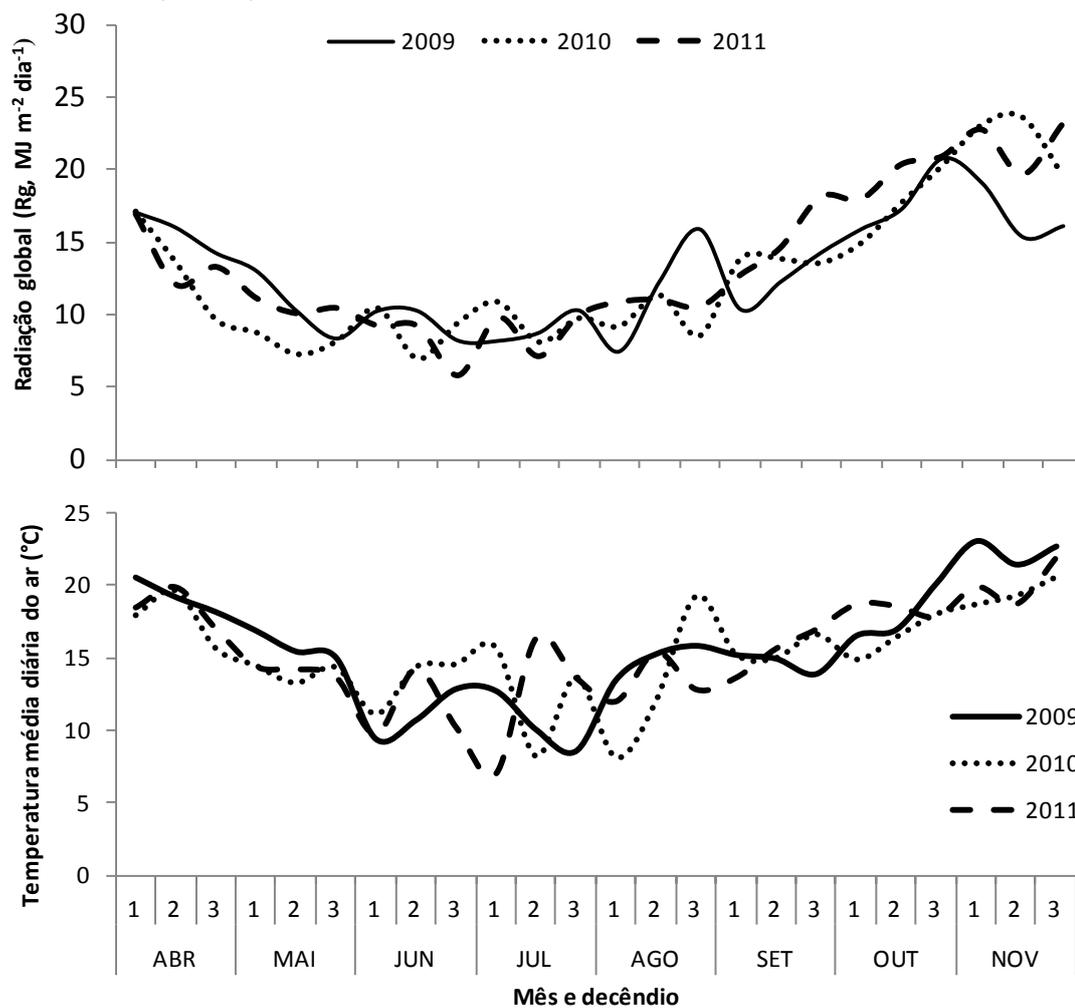
\*\* Médias com mesma letra minúscula e maiúscula entre datas e genótipos, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

\*\*\* coeficiente de variação.

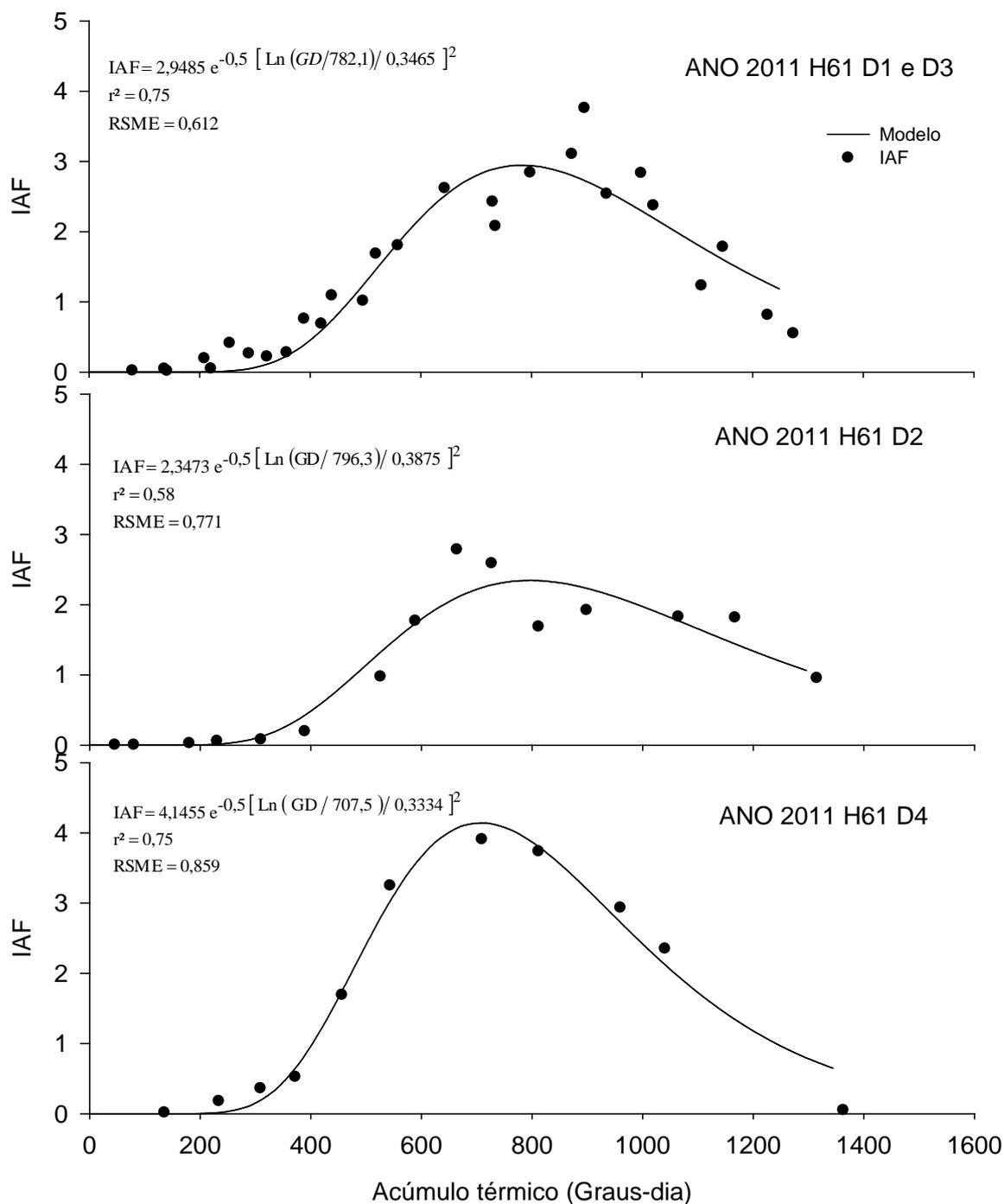
APÊNDICE 14. Modelos de acúmulo de graus-dia ( $^{\circ}\text{C dia}$ ) em função de dias após a emergência, em diferentes datas de semeadura (D1, D2, D3, D4), nos anos de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.



APÊNDICE 15. Médias decendiais de radiação solar global ( $R_g$ ,  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) e temperatura do ar ( $T_m$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) de abril a novembro de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.



APÊNDICE 16. Modelos de ajuste não linear do índice de área foliar (IAF) para o genótipo de canola Hyola 61 (H61) em função do acúmulo térmico (GD) no ciclo das quatro datas de semeadura (D) no ano de 2011. Passo Fundo, RS.



APÊNDICE 17. Correlações de Pearson entre caracteres de rendimento de grãos e de acúmulo e repartição da matéria seca das plantas de canola nos experimentos de 2010 e de 2011. Passo Fundo, RS.

	REND	HAS	FOL	FLOR	SIL	GRAO	MSTF	MSTR	MSTM	IMSF	IMSR	IC	MMG	DENS	NGS	NSP	NSM	NGM
<b>REND</b>																		
<b>p</b>																		
<b>HAS</b>	0,30																	
<b>p</b>	0,02																	
<b>FOL</b>	0,34	0,64																
<b>p</b>	0,01	0,00																
<b>FLOR</b>	0,14	0,68	0,67															
<b>p</b>	0,28	0,00	0,00															
<b>SIL</b>	0,22	0,59	0,31	0,22														
<b>p</b>	0,07	0,00	0,01	0,08														
<b>GRAO</b>	0,27	0,42	0,17	0,11	0,53													
<b>p</b>	0,03	0,00	0,19	0,39	0,00													
<b>MSTF</b>	0,34	0,96	0,74	0,68	0,72	0,45												
<b>p</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												
<b>MSTR</b>	0,15	-0,47	-0,37	-0,25	-0,37	-0,21	-0,49											
<b>p</b>	0,24	0,00	0,00	0,04	0,00	0,09	0,00											
<b>MSTM</b>	0,46	0,33	0,24	0,32	0,22	0,16	0,34	0,65										
<b>p</b>	0,00	0,01	0,06	0,01	0,07	0,21	0,01	0,00										
<b>IMSF</b>	0,09	0,80	0,63	0,55	0,60	0,34	0,84	-0,87	-0,21									
<b>p</b>	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,10									
<b>IMSR</b>	-0,09	-0,80	-0,63	-0,55	-0,60	-0,34	-0,84	0,87	0,21	-1,00								
<b>p</b>	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,10	0,00								
<b>IC</b>	0,85	0,08	0,21	0,03	0,18	0,22	0,16	0,16	0,31	-0,01	0,01							
<b>p</b>	0,00	0,52	0,10	0,81	0,15	0,08	0,21	0,21	0,01	0,97	0,97							
<b>MMG</b>	0,36	0,24	-0,03	0,05	0,32	0,32	0,24	0,01	0,22	0,10	-0,10	0,38						
<b>p</b>	0,00	0,06	0,80	0,70	0,01	0,01	0,06	0,95	0,09	0,43	0,43	0,00						
<b>DENS</b>	0,46	0,31	0,24	0,23	0,31	0,14	0,35	0,37	0,71	-0,01	0,01	0,47	0,36					
<b>p</b>	0,00	0,01	0,06	0,07	0,01	0,26	0,00	0,00	0,00	0,92	0,92	0,00	0,00					
<b>NGS</b>	0,59	-0,01	0,15	0,00	-0,10	0,11	0,01	0,18	0,20	-0,09	0,09	0,64	0,04	0,40				
<b>p</b>	0,00	0,95	0,22	1,00	0,44	0,39	0,95	0,16	0,12	0,49	0,49	0,00	0,77	0,00				
<b>NSP</b>	-0,01	-0,09	-0,06	-0,11	0,01	0,08	-0,07	-0,19	-0,27	0,02	-0,02	-0,07	-0,10	-0,42	0,02			
<b>p</b>	0,95	0,49	0,62	0,38	0,91	0,53	0,57	0,14	0,03	0,91	0,91	0,57	0,42	0,00	0,88			
<b>NSM</b>	0,46	0,30	0,23	0,17	0,34	0,24	0,34	0,11	0,41	0,10	-0,10	0,39	0,26	0,53	0,40	0,51		
<b>p</b>	0,00	0,02	0,07	0,17	0,01	0,06	0,01	0,39	0,00	0,43	0,43	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00		
<b>NGM</b>	0,59	0,21	0,23	0,12	0,21	0,24	0,25	0,14	0,37	0,04	-0,04	0,56	0,18	0,54	0,74	0,39	0,90	
<b>p</b>	0,00	0,10	0,07	0,36	0,10	0,06	0,05	0,26	0,00	0,73	0,73	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	

REND, rendimento de grãos; # Matéria seca acumulada: – até o florescimento pleno: HAS, hastes; FOL, folhas; FLOR, flores; SIL, síliquas; GRAO, grãos; MSTF, total; – após florescimento pleno: MSTR, do florescimento pleno até a maturação; MSTM, total na maturação; # fração da matéria seca total acumulada na maturação: IMSF, até o florescimento pleno; IMSR, após o florescimento pleno; IC, índice de colheita; # Componentes do rendimento de grãos: MMG, massa de mil grãos; DENS, densidade de plantas; NGS, número de grãos por síliqua; NSP, número de síliquas por planta; NSM, número de síliquas por m<sup>2</sup>; NGM, número de grãos por m<sup>2</sup>; P, probabilidade.

APÊNDICE 18. Anomalias (% e GD total) nas estimativas do acúmulo térmico pelos métodos residual e graus-dia para os meses de abril a novembro de 2009, 2010 e 2011. Passo Fundo, RS.



APÊNDICE 19. Relação entre a radiação global medida na estação meteorológica automática com a estimada pela equação de Ångström-Prescott (Equação 7) nos decêndios dos meses de abril a novembro dos anos de 2010 e de 2011. Passo Fundo, RS.

