

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

**EFEITOS DA GEADA EM CANOLA (*Brassica napus* L.)  
EM FUNÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA PALHA NA  
SUPERFÍCIE DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Samuel Kovaleski**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**



**EFEITOS DA GEADA EM CANOLA (*Brassica napus* L.) EM  
FUNÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA PALHA NA  
SUPERFÍCIE DO SOLO**

**Samuel Kovaleski**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração de Água e solo, Linha de Pesquisa Água no sistema solo-planta-atmosfera, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. Arno Bernardo Heldwein**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Kovaleski, Samuel  
Efeitos da geada em canola (*Brassica napus* L.) em função da distribuição da palha na superfície do solo / Samuel Kovaleski.-2015.  
155 p.; 30cm

Orientador: Arno Bernardo Heldwein  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2015

1. Micrometeorologia 2. Injúria por frio 3. Temperatura do ar 4. Oleaginosas de inverno I. Heldwein, Arno Bernardo II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Samuel Kovaleski. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: samtotes@hotmail.com

---

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

A comissão examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**EFEITOS DA GEADA EM CANOLA (*Brassica napus* L.) EM FUNÇÃO  
DA DISTRIBUIÇÃO DA PALHA NA SUPERFÍCIE DO SOLO**

Elaborada por  
**Samuel Kovaleski**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Arno Bernardo Heldwein** (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

---

**Isabel Lago, Dr.<sup>a</sup>** (UFSM)

---

**Genei Antonio Dalmago, Dr.** (Embrapa Trigo)

Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2015.



DEDICO

À minha família, com amor e gratidão,  
sem os quais não teria conseguido





## **AGRADECIMENTO**

Agradeço pela oportunidade de viver neste plano, e assim tentar contribuir de alguma forma para o desenvolvimento da humanidade. Além disso, a vida é uma dádiva inigualável de aprendizado individual, tanto de âmbito científico como espiritual.

Agradeço a cada pessoa da minha família, que é o maior presente que podemos ganhar na vida. Embora nem sempre fisicamente próximos cada um contribuiu com meu desenvolvimento até aqui e me deu forças para seguir em frente, em todos os momentos de dificuldades. Agradeço pelos valores morais transmitidos pelos meus pais, que acreditaram e me apoiaram aos estudos sempre.

Agradeço ao Professor Arno pela força, apoio, amizade e entusiasmo com que conduziu a orientação.

Agradeço ao Dr. Genei pela orientação e pelo exemplo de profissionalismo, pela força, pelo entusiasmo, pelos conselhos e enfim, por toda ajuda neste período.

Não irei fazer nomes, mas a todos da Embrapa Trigo e UFSM com quem convivi durante estes dois anos, pela ajuda neste trabalho e principalmente pela oportunidade de aprendizado tanto no campo profissional, quanto pessoal.



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **EFEITOS DA GEADA EM CANOLA (*Brassica napus* L.) EM FUNÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA PALHA NA SUPERFÍCIE DO SOLO**

AUTOR: SAMUEL KOVALESKI

ORIENTADOR: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Data e local da defesa: Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2015.

A canola é uma cultura de inverno que possui boa adaptabilidade à temperatura baixa do ar, porém, dependendo das condições ambientais e estágio fenológico, a ocorrência de geadas pode provocar danos significativos para a cultura. Ainda, são poucos os estudos caracterizando variáveis ambientais e micrometeorológicas ligadas à geada e relacionando-as à resposta das plantas ao frio. Assim, este trabalho teve por objetivo determinar respostas da canola à geada, em função da distribuição de palha na superfície do solo, no início do ciclo de desenvolvimento da cultura. Foi conduzido experimento de campo no ano de 2014 com três datas de semeadura, entre abril a julho, com quatro formas de distribuição de palha na superfície do solo: solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos na superfície (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP), utilizando delineamento em blocos casualizados. Foram realizadas avaliações em madrugadas com ocorrência de geada, quando se analisaram as seguintes variáveis: saldo de radiação, temperatura de folhas, temperatura do ar, temperatura da superfície, mortalidade de plantas e variáveis fenológicas e fenométricas da canola. Em geral, o saldo de radiação no tratamento CT foi menos negativo, especialmente em noites com ocorrência de geada moderada a forte, onde também foi encontrada a menor temperatura de superfície medida com termômetro infravermelho. Enquanto isso, no tratamento LSP ocorreu o saldo de radiação mais negativo dentre os tratamentos avaliados e a temperatura da superfície em LSP foi similar aos tratamentos SSP e CS. Além disso, no tratamento CT foi verificada a menor temperatura do ar a 3 cm de altura do solo, o que repercutiu na menor temperatura das folhas medida com termopares e com termômetro infravermelho. Assim, no dia 19/06 a temperatura média da roseta das plantas em CT foi  $-0,66\text{ }^{\circ}\text{C}$  e em LSP  $0,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto a temperatura das folhas em 14/08 em CT foi  $-3,62\text{ }^{\circ}\text{C}$  e em LSP foi  $-2,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Em função disso, no tratamento CT ocorreu mortalidade de plantas em 19/06 de 30% e em 14/08 de 32,75%, enquanto em LSP a mortalidade de plantas foi 0% e 1,25% para as respectivas datas. Portanto, a retirada da palha da linha de semeadura pode ser uma alternativa para diminuir os efeitos negativos da geada na canola, no início do ciclo de desenvolvimento das plantas.

**Palavras-chave:** Micrometeorologia. Injúria por frio. Temperatura do ar. Oleaginosas de inverno.



## ABSTRACT

Master of Science Dissertation  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **EFFECTS OF FROST IN CANOLA (*Brassica napus* L.) DEPENDING ON THE STRAW DISTRIBUTION IN SOIL SURFACE**

AUTHOR: SAMUEL KOVALESKI

ADVISER: ARNO BERNADO HELDWEIN

Date and place of the presentation: Santa Maria, February 27<sup>nd</sup>, 2015.

Canola is a winter crop that has good adaptability to low air temperature, but depending on environmental conditions and developmental stage the occurrence of frosts can cause significant damage to the crop. However, few studies characterizing environmental and micrometeorological variables linked to frost and relating them to the plant response to cold. This study aimed to determine the canola answers to frost due to the straw distribution on the soil surface in the beginning of the crop development cycle. Field experiment was conducted in 2014 with three sowing dates, sown from April to July and four types of delivery straw on the soil surface: soil without straw on the surface (SSP), ground completely covered with straw (CT), soil with waste from other crops (CS) and without straw sowing line (LSP), It used a randomized block design. Evaluations were performed at dawn with the occurrence of frost, when it analyzed the following variables: net radiation, leaf temperature, air temperature, surface temperature, and mortality phenological variables plants and plant fenometric. In general, the net radiation in the treatment CT was less negative, especially on nights with frost occurrence of moderate to strong, which was also found to lower surface temperature measurement infrared thermometer. Meanwhile, the LSP treatment met the balance more negative radiation from the treatments and the surface temperature in LSP was similar to the SSP treatments and CS. In addition, the CT treatment was observed at lower air temperature than 3 cm above the soil, which was reflected in the lower temperature of the sheet measured with thermocouples and infrared thermometer. Thus on 19/06 average temperature of the rosette plant in CT was -0,66 °C and 0,42 °C in LSP. While the temperature of the leaves in 14/08 was -3,62 °C in CT treatment and -2,88 °C in LSP treatment. As a result, the TC treatment plant mortality was 30% in 19/06 and 14/08 32,75%, while in LSP treatment mortality of plants was 0% and 1,25% for the respective dates. Therefore, removal of the seeding line straw can be an alternative to reduce the negative effects of frost canola plants early in the development.

**Key words:** Micrometeorology. Cold. Air temperature. winter oilseed.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização do experimento no município de Coxilha, RS, conduzido no ano de 2014. ....	48
Figura 2 -	Estádios fenológicos da canola, adaptado de CETIOM, 2004 (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux et du Chanvre). ....	53
Figura 3 -	Soma térmica (grau dia <sup>-1</sup> ) dos estádios fenológicos da canola (estádio A até D2) da primeira (23/04/2014) (a), segunda (29/05/2014) (b) e terceira data de semeadura (16/07/2014) (c) em experimento com solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos na superfície (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP). Coxilha-RS, 2014.....	70
Figura 4 -	Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	78
Figura 5 -	Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	78
Figura 6 -	Temperatura da superfície (medida com termômetro infravermelho) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	79
Figura 7 -	Temperatura da superfície (medida com termômetro infravermelho) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	80
Figura 8 -	Temperatura do ar a 27 cm de altura do solo em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	81

Figura 9 -	Temperatura do ar a 27 cm de altura do solo em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	82
Figura 10 -	Temperatura do ar a 3 cm de altura do solo em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	84
Figura 11 -	Temperatura do ar a 3 cm de altura do solo em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	84
Figura 12 -	Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	85
Figura 13 -	Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	85
Figura 14 -	Temperatura das folhas em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	87
Figura 15 -	Temperatura das folhas em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	88
Figura 16 -	Velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) a 1 metro de altura do solo no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	88
Figura 17 -	Direção do vento ( $^{\circ}$ ) a 1 metro de altura do solo no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	88



Figura 18 -	Velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) a 1 metro de altura do solo no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	89
Figura 19 -	Direção do vento ( $^{\circ}$ ) a 1 metro de altura do solo no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	89
Figura 20 -	Saldo de radiação ( $R_n$ ) em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	90
Figura 21 -	Temperatura da superfície em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	91
Figura 22 -	Temperatura do ar a 27 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	92
Figura 23 -	Temperatura do ar a 3 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	93
Figura 24 -	Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	93
Figura 25 -	Temperatura de folhas em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	95
Figura 26 -	Velocidade ( $m s^{-1}$ ) e direção do vento ( $^{\circ}$ ) nos tratamentos solo sem palha na superfície (SSP) e solo totalmente coberto com palha (CT) em 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	97
Figura 27 -	Temperatura da superfície ( $T_{fvr}$ ) medida com termômetro infravermelho no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min	

	(20/06/2014) nos tratamentos solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) em canola. Coxilha-RS, 2014.....	99
Figura 28 -	Velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) a 1 m de altura do solo medida no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.....	99
Figura 29 -	Direção do vento ( $m s^{-1}$ ) a 1 m de altura do solo medida no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.....	100
Figura 30 -	Temperatura de rosetas de plantas de canola em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT) e solo com resíduos de outros cultivos (CS) no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014. ....	101
Figura 31 -	Temperatura do ar a 3 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.....	101
Figura 32 -	Temperatura da superfície em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.....	102
Figura 33 -	Saldo de radiação ( $R_n$ ) em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.....	103
Figura 34 -	Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	107
Figura 35 -	Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	107

Figura 36 -	Temperatura da superfície medida com termômetro infravermelho em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	108
Figura 37 -	Temperatura da superfície medida com termômetro infravermelho em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	109
Figura 38 -	Temperatura do ar (a 27 cm de altura do solo) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	110
Figura 39 -	Temperatura do ar (a 27 cm de altura do solo) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	111
Figura 40 -	Temperatura do ar (a 3 cm de altura do solo) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	112
Figura 41 -	Temperatura do ar (a 3 cm de altura do solo) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min. Coxilha-RS, 2014.....	113
Figura 42 -	Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	113
Figura 43 -	Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	114
Figura 44 -	Temperatura de folhas de canola em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos	

	de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	115
Figura 45 -	Temperatura de folhas de canola em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h15min canola. Coxilha-RS, 2014.....	116
Figura 46 -	Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 07h00min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	117
Figura 47 -	Temperatura da superfície em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 08h00min em canola. Coxilha-RS, 2014.....	118
Figura 48 -	Temperatura do ar a 27 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 08h00min em canola. Coxilha - RS, 2014.....	119
Figura 49 -	Temperatura do ar a 3 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 08h00min em canola. Coxilha - RS, 2014.....	120
Figura 50 -	Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 08h00min em canola. Coxilha - RS, 2014.....	122
Figura 51 -	Temperatura das folhas medidas com termopares em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 07h00min. Coxilha - RS, 2014.....	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Sensores utilizados no experimento com três datas de semeadura de canola. Coxilha-RS, 2014.....	55
Tabela 2 -	Estatísticas descritivas e correlação de Pearson para temperatura máxima do ar (Tmax), temperatura média do ar (Tmed) e temperatura mínima do ar (Tmin), precipitação pluvial (Prec. Pluvial) e Radiação solar global (Rg) decendial, de abril a novembro de 2014 e as médias climatológicas de 1961 a 1990. Passo Fundo - RS, 2014.....	64
Tabela 3 -	Temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico, temperatura mínima do ar a 27 cm de altura do solo na área experimental e diferença entre a temperatura do ar registrada no abrigo meteorológico e na área experimental. Coxilha-RS, 2014.....	65
Tabela 4 -	Altura de plantas (cm) de canola em três datas de semeadura, em solo sem palha em superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) <sup>(1)</sup> . Coxilha-RS, 2014.....	73
Tabela 5 -	Área foliar (cm <sup>2</sup> ) de plantas de canola em três datas de semeadura em solo sem palha em superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) <sup>(1)</sup> . Coxilha-RS, 2014.....	75
Tabela 6 -	Sobrevivência de plantas (%) de canola em 7 e 14 dias após ocorrência de geada em 19/06/2014 na segunda data de semeadura em solo sem palha em superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) <sup>(1)</sup> . Coxilha-RS, 2014.....	105
Tabela 7 -	Temperatura de folhas (3ª folha desenvolvida) expostas de plantas de canola em dia com ocorrência de geada (14/08/2014) medida com termômetro infravermelho portátil em área sem palha na superfície do solo (SSP) solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) <sup>(1)(2)</sup> .....	126
Tabela 8 -	Sobrevivência de plantas (%) de canola em 7 e 14 dias após ocorrência de geada em 19/06/2014 (segunda data de semeadura) e 14/08/2014 (terceira data de semeadura em solo sem palha em superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) <sup>(1)</sup> .....	129



## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A -	Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 18/05/2014 a 24/05/2014. Coxilha-RS, 2014.....	145
Apêndice B -	Precipitação pluvial diária (mm) no período de 18/05/2014 a 24/05/2014. Coxilha-RS, 2014.....	145
Apêndice C -	Radiação solar global (Rg) diária o período de 18/05/2014 a 24/05/2014. Coxilha-RS, 2014.....	146
Apêndice D-	Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 29/05/2014 a 03/06/2014. Coxilha-RS, 2014.....	146
Apêndice E -	Precipitação pluvial diária (mm) no período de 29/05/2014 a 03/06/2014. Coxilha-RS, 2014.....	147
Apêndice F -	Radiação solar global (Rg) diária o período de 29/05/2014 a 03/06/2014. Coxilha-RS, 2014.....	147
Apêndice G -	Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 14/06/2014 a 20/06/2014. Coxilha-RS, 2014.....	148
Apêndice H -	Precipitação pluvial diária (mm) no período de 14/06/2014 a 19/06/2014. Coxilha-RS, 2014.....	148
Apêndice I -	Radiação solar global (Rg) diária o período de 14/06/2014 a 20/06/2014. Coxilha-RS, 2014.....	149
Apêndice J -	Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 22/07/2014 a 27/07/2014. Coxilha-RS, 2014.....	149
Apêndice L -	Precipitação pluvial diária (mm) no período de 22/07/2014 a 27/07/2014. Coxilha-RS, 2014.....	150
Apêndice M -	Radiação solar global (Rg) diária o período de 22/07/2014 a 27/07/2014. Coxilha-RS, 2014.....	150
Apêndice N -	Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 08/08/2014 a 14/08/2014. Coxilha-RS, 2014.....	151
Apêndice O -	Precipitação pluvial diária (mm) no período de 08/08/2014 a 14/08/2014. Coxilha-RS, 2014.....	151
Apêndice P -	Radiação solar global (Rg) diária par o período de 08/08/2014 a 14/08/2014. Coxilha-RS, 2014.....	152

Apêndice Q -	Temperatura mínima do ar decenal da série histórica (1961-1990) e do ano de 2014.....	152
Apêndice R -	Temperatura média do ar decenal da série histórica (1961-1990) e do ano de 2014.....	153
Apêndice S -	Radiação solar global decenal da série histórica (1961-1990) e do ano de 2014.....	153
Apêndice T -	Avaliação da cobertura por palha da superfície do solo (%) feita através do método da corda seccionada, proposto por Sloneker e Modenhauer (1977) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP). Coxilha-RS, 2014.....	154
Apêndice U -	Velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a 1 m de altura do solo medida no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014). Coxilha-RS, 2014.....	154
Apêndice V -	Direção do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a 1 m de altura do solo medida no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014). Coxilha-RS, 2014...	155



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
2.1 Aspectos gerais da cultura .....	29
2.2 Crescimento e desenvolvimento da canola .....	31
2.3 Geadas: formação e conceitos .....	33
2.4 Temperatura do ar e a canola .....	36
2.5 Aclimação ao frio.....	39
2.6 Cobertura de palha e o microclima na superfície.....	41
2.7 Balanço de radiação e de energia .....	43
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Caracterização do experimento.....</b>	<b>47</b>
3.1.1 Aspectos gerais .....	47
3.1.2 Delineamento experimental.....	48
3.1.3 Manejo e tratamentos culturais.....	49
3.1.4 Distribuição de palha na superfície do solo.....	50
3.1.5 Avaliação da cobertura de palha.....	51
<b>3.2 Avaliações em plantas .....</b>	<b>52</b>
3.2.1 Avaliações fenológicas .....	52
3.2.2 Avaliações fenométricas.....	52
3.2.2.1 Altura de plantas .....	52
3.2.2.2 Área foliar.....	53
3.2.3 Morte de plantas por geada.....	53
<b>3.3 Variáveis ambientais .....</b>	<b>54</b>
3.3.1 Saldo de radiação.....	55
3.3.2 Temperatura de folhas .....	56
3.3.2.1 Temperatura de folhas medidas com termopares .....	56
3.3.2.2 Temperatura de folhas medida com termômetro por Infravermelho.....	58
3.3.3 Temperatura do solo .....	59
3.3.4 Temperatura e umidade relativa do ar .....	60
3.3.5 Velocidade e direção do vento.....	60
3.3.6 Temperatura da superfície .....	61
<b>3.4 Análise dos resultados .....</b>	<b>62</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
4.1 Condições meteorológicas do período experimental .....	63
4.2 Variáveis ambientais antes da ocorrência da geada.....	66
4.3 Fenologia e soma térmica.....	69
4.4 Altura de plantas .....	71
4.5 Área foliar .....	74

<b>4.6 Variáveis ambientais e micrometeorológicas .....</b>	<b>76</b>
4.6.1 Dia 24 de maio e 03 de junho de 2014.....	76
4.6.2 Dia 19 e 20 de Junho de 2014 .....	89
4.6.3 Dia 26 e 27 de julho de 2014 .....	106
4.6.4 Dia 14 de agosto de 2014 .....	116
<b>4.7 Temperatura de folhas de canola (3ª folha desenvolvida) expostas a céu aberto medida com termômetro infravermelho portátil em noite com ocorrência de geada (14/08/2014).....</b>	<b>126</b>
<b>4.8 Morte de plantas provocada por geada em 14/08/2014 .....</b>	<b>128</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>131</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>143</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus* L.) é uma oleaginosa desenvolvida a partir do melhoramento genético da colza, que apresenta diversas aplicações em diferentes ramos da indústria. No entanto, a extração de óleo dos grãos para produção de biocombustíveis e óleo de cozinha são os principais destinos.

No Brasil, a canola é cultivada principalmente na região sul do país, sendo que no ano de 2014 toda área semeada com a cultura (45,2 mil hectares) concentrou-se nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná. Neste mesmo ano, o rendimento médio de grãos de canola no país foi 812 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto, em 2013 foi 1.330 kg ha<sup>-1</sup>. Essa significativa redução no rendimento médio de grãos de 2013 para 2014 se deve, em grande parte, a ocorrência de geadas no estado do Rio Grande do Sul, quando a canola encontrava-se nos estádios reprodutivos (CONAB, 2015). No entanto, a média histórica de rendimento de grãos para os genótipos de canola cultivados no Brasil é de aproximadamente 1.500 kg ha<sup>-1</sup>, muito distante do potencial de produção apontado por Nied (2013) que é de 4.500 kg ha<sup>-1</sup>. A observação deste cenário mostra o potencial para crescimento da produtividade da canola no Brasil, a partir do aprimoramento e desenvolvimento de técnicas de manejo que considerem as necessidades edafoclimáticas da cultura e as peculiaridades das condições climáticas brasileiras.

Entre as condições ambientais que influenciam o crescimento e desenvolvimento da canola, a ocorrência de geadas pode ser extremamente prejudicial à cultura, principalmente se as plantas não passarem por períodos de aclimação previamente a mesma (DALMAGO et al., 2010). No Rio Grande do Sul é frequente a ocorrência de geadas sem que tenham acontecido condições térmicas favoráveis à aclimação da cultura. Além disso, a irregularidade cronológica e a grande variabilidade espacial de ocorrência de geadas (SILVA et al., 2008), aliadas à imprecisão de previsões meteorológicas para médio e longo prazo, dificultam o planejamento e uso de técnicas mais adequadas na prevenção ou diminuição dos danos por geadas, em canola, especialmente nos subperíodos mais críticos da cultura.

A canola, de modo geral, tem boa adaptabilidade à baixa temperatura do ar, no entanto, dependendo das condições ambientais previamente à geadas, intensidade do frio e estágio fenológico da cultura, a ocorrência de baixas temperaturas pode provocar sérios danos nas plantas, principalmente se esses eventos ocorrerem no início do desenvolvimento das

plantas, na antese e no início do enchimento de grãos (DALMAGO et al., 2010). De acordo com Thomas (2003), quando as plantas estão em estágio cotiledonar são mais suscetíveis a danos por geada, do que quando possuem três a quatro folhas, ou seja, quanto mais jovem é a planta, maior a suscetibilidade a danos provocados por geada. Dessa forma, a ocorrência de geadas leves pode provocar o murchamento das folhas de canola, enquanto geadas severas podem provocar enegrecimento das folhas e cotilédones, dependendo do estágio fenológico. No entanto, com condições ambientais favoráveis, estas plantas podem se recuperar sem redução significativa na produtividade, desde que o ponto de crescimento localizado no centro da roseta foliar não seja danificado.

No estado do Rio Grande do Sul a maioria das lavouras de canola é semeada em sucessão a soja, seguindo os preceitos do sistema de semeadura direta na palha, que tem como um dos princípios fundamentais a manutenção dos restos culturais e/ou palhada na superfície do solo. Nesse sentido, observações visuais em lavouras de canola tem mostrado que a presença de palha sobre a superfície do solo aumenta os danos provocados por geada, em plantas jovens de canola. Portanto, pressupõe-se que como a palhada em superfície atua como um isolante térmico, dificultando trocas energéticas entre o solo e o ar, em noites com ocorrência de geada a temperatura do ar junto à superfície exposta da palha é mais baixa do que em solos sem palha na superfície (KASPAR; ERBADCH, 1998; ARAÚJO et al., 1999; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007). Desta maneira, a quantidade e a distribuição da cobertura morta sobre o solo podem potencializar os danos da geada sobre a cultura, principalmente, nos estádios iniciais, em que as plantas de canola são mais suscetíveis e a palha está próxima às plantas.

Como os danos provocados por geadas no início do ciclo de desenvolvimento da canola podem reduzir significativamente o rendimento final de grãos, é necessário adotar, desenvolver ou adaptar práticas de manejo que visem diminuir os efeitos da geada sobre a cultura. No entanto, para a definição de estratégias adequadas é indispensável o conhecimento de variáveis micrometeorológicas relacionadas à ocorrência de geadas e a relevância de cada uma na ocorrência do fenômeno. Porém, são escassas as referências que tratam de variáveis micrometeorológicas e a quantificação dos danos pela geada na cultura da canola. Portanto, a determinação da relação de fatores ambientais antes, durante e depois das geadas, com as respostas da canola, são fundamentais para o desenvolvimento de indicações pontuais e precisas, quanto ao manejo da cobertura do solo nos estádios iniciais da cultura.

Desta forma, surge como alternativa a retirada da palha próximo às plantas na linha de semeadura com o uso de estruturas acopladas a semeadoras que removam a palha durante o

processo de semeadura da cultura. Assim, o manejo da cobertura do solo com a retirada da palha na linha de semeadura pode ser uma estratégia, potencialmente eficaz na minimização dos danos causados pela geada na canola. No entanto, não existem informações técnicas disponíveis que tratem desse assunto, tendo em vista o potencial de expansão da cultura e a utilização do sistema de plantio direto, em praticamente todas as áreas de cultivo de grãos no Sul do Brasil.

Este trabalho se baseou na seguinte hipótese:

- A palha na superfície do solo, na linha de semeadura, aumenta os danos de geada em plantas de canola no início do ciclo de desenvolvimento, se comparado com solo desnudo ou com palha nas entrelinhas da cultura.

O objetivo principal deste trabalho foi determinar respostas da canola à geada, em função da distribuição de palha na superfície do solo.

Os objetivos específicos do trabalho foram os seguintes:

1. Avaliar a influência da distribuição da palha na superfície do solo nos danos por geada no início do ciclo da canola;
2. Determinar as diferenças de temperatura das plantas de canola nas diferentes distribuições de palha em superfície, em noites calmas, límpidas e frias;
3. Determinar a resposta de variáveis micrometeorológicas em função da cobertura do solo.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos gerais da cultura

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) é uma espécie anual, oleaginosa, pertencente à família Brassicaceae que é cultivada em lavouras para a produção de grãos, sendo uma das poucas espécies oleaginosas que se adapta ao frio. Embora o centro de origem do gênero *Brassica* não seja totalmente conhecido, acredita-se que o cruzamento entre as espécies *B. rapa* e *B. oleracea* tenha originado a *B. napus* L. no sudeste da Europa (THOMAS, 2003; IRIARTE; VALETTI, 2008).

A canola (*B. napus* L.) apresenta as folhas em cor verde azulado escuro, lisas ou com pilosidades próximas as bordas. As hastes se originam das axilas das folhas e o grau de ramificação é dependente das condições ambientais e do genótipo (KRUGER et al., 2009). A inflorescência localiza-se na parte superior da planta e é um rácimo alongado, com flores de cor amarela, agrupadas no ápice, com quatro pétalas distribuídas diagonalmente em forma de cruz. Os frutos são síliquas e apresentam um falso septo originado das duas metades do ovário, sendo que em cada lado do septo podem ser encontrados até doze grãos. Os grãos são pequenos (massa de mil grãos varia de 2,5 a 6 gramas), de coloração marrom avermelhado a preto quando a cultura chega à maturação. Além disso, a maturação das síliquas é acropetal, ou seja, a maturação inicia-se da base do rácimo em direção ao ápice, e isso ocorre porque as flores da base do rácimo atingem a antese antes do que as flores localizadas no ápice do rácimo (JOLY, 1993; IRIARTE; VALETTI, 2008; CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY, 2011).

O elevado teor de glucosinolatos no óleo de colza é responsável pelo odor e sabor pungente do óleo, além de provocar problemas nutricionais e de palatabilidade para a alimentação humana. No caso do farelo de colza, quando é empregado na dieta de bovinos e aves, provoca também redução na conversão alimentar (THOMAS, 2003). Já quando o nível de ácido erúxico no óleo apresenta-se maior que 2%, o seu uso na dieta humana é comprometido, porém, favorece a utilização do óleo no fabrico de sabonetes, detergentes, lubrificantes, solventes e cosméticos (IRIARTE; VALETTI, 2008).

No início da década de 1970, através do melhoramento genético, pesquisadores canadenses desenvolveram genótipos com baixos teores de ácido erúico e glucosinolatos. A partir disso surgiu a denominação “canola”, que é um acrônimo para **Canadian oil low acid** (óleo canadense com baixo ácido). Portanto, o termo canola foi utilizado para caracterizar a qualidade superior do óleo e para desassociar os novos genótipos da antiga colza (GENE TECHNOLOGY REGULATOR, 2002; THOMAS, 2003; IRIARTE; VALETTI, 2008).

O principal destino para a produção de grãos de canola é a indústria de óleos vegetais, visto que 45 a 52% dos grãos se constitui de óleo. A baixa proporção de ácidos graxos saturados no óleo de canola é extremamente favorável para uso na alimentação humana, equiparando-se à qualidade do azeite de oliva. Além disso, o óleo pode ser usado como biocombustível, sendo considerado como padrão de referência na Europa por reduzir a injeção de contaminantes na atmosfera. O farelo, que é resíduo da extração do óleo, pode ser empregado na formulação de ração para animais, já que possui cerca de 35% de proteína (IRIARTE; VALETTI, 2008; TOMM, 2009).

O cultivo da canola encontra-se concentrado em regiões de clima temperado, sendo que se destacam como principais produtores a União Europeia, Canadá, China, Índia e Austrália, que respondem por mais de 90% da produção mundial, que foi de 61 milhões de toneladas em 2011/2012 (McCLINCHEY; KOTT, 2008; USDA, 2013). No Brasil a área semeada com canola no ano de 2014 abrangeu 45,2 mil hectares, sendo que toda área concentrou-se na região sul do país, com destaque para os estados do Rio Grande do Sul e Paraná (CONAB, 2014).

Em relação aos sistemas de produção adotados no Brasil, a canola é considerada uma excelente alternativa para esquemas de rotação e sucessão de culturas para produção de grãos, especialmente na região sul do Brasil, onde as principais espécies cultivadas pertencem às famílias Fabaceae e Poaceae, pois contribui para a diminuição de problemas fitossanitários em culturas como o trigo, soja, milho, entre outras (TOMM et al., 2009). Além disso, a canola se destaca por ser uma alternativa para a ocupação de áreas ociosas no inverno no Rio Grande do Sul (DALMAGO et al., 2013), já que, atualmente, a área cultivada com trigo neste estado, em média, gira em torno de 900 mil hectares anuais, quando na década de 1970 e 1980 chegava a 2 milhões de hectares (CONAB, 2013). Nestas áreas antes ocupadas com trigo, na atualidade é realizada a rotação de culturas com espécies como aveia, centeio, azevém, triticale e trevos, que em sua maioria são utilizadas para pastejo no sistema de integração lavoura-pecuária, mas mesmo assim, uma grande parte destas áreas ainda é deixada em pousio no inverno (FONTANELLI et al., 2000). Portanto, o cultivo de canola é uma excelente alternativa para



ocupação destas áreas, sendo que não compete com a cultura do trigo ou espécies de primavera-verão. Desta forma, o cultivo de canola nestas áreas pode levar a expansão da produção de óleo vegetal e contribuir para aumentar a importância da cultura no Brasil (TOMM et al., 2009).

## **2.2 Crescimento e desenvolvimento da canola**

Para Streck et al. (2010) o uso do termo crescimento está relacionado ao aumento irreversível de grandezas biofísicas, como massa, diâmetro, área e altura. Enquanto desenvolvimento deve ser usado para se referir à diferenciação celular, iniciação e aparecimento de órgãos. Nesse sentido, o desenvolvimento da canola é descrito através do uso de escalas fenológicas, que Schwab et al. (2012) consideram uma maneira prática, rápida e objetiva para identificação dos estádios fenológicos e padronização da linguagem científica. Além disso, o uso de escalas fenológicas é fundamental para a definição do momento adequado para realização de práticas culturais.

De acordo com Iriarte e Valetti (2008), a canola apresenta diferentes escalas fenológicas, entre elas destacam-se a escala de Harper e Berkenkamp HB (1975) e a SM de Sylvester – Bradley e Makepeace (1984). Porém, a mais usada atualmente é a escala desenvolvida pelo Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux et du Chanvre (CETIOM) na França. Embora existam diferenças entre essas escalas, todas se baseiam na observação de mudanças que ocorrem na haste principal e dividem o ciclo da canola ao menos em duas fases, o período vegetativo e o reprodutivo. O período vegetativo se inicia a partir da germinação da semente, enquanto o reprodutivo inicia-se com a visualização do botão floral. Em relação à emergência, uma das diferenças entre a canola e os cereais de inverno é referente à exposição do ponto de crescimento, que por localizar-se entre os cotilédones, torna as plântulas de canola suscetíveis a danos por geada, logo após a emergência.

Aproximadamente uma semana após a emergência as plantas emitem a primeira folha verdadeira, e inicia-se o período conhecido por roseta, com folhas velhas na base das plantas e folhas mais jovens localizadas no centro (THOMAS, 2003; IRIARTE; VALETTI, 2008; EDWARDS; ERTEL, 2011). O início da fase de roseta é o período em que as plantas de canola são mais sensíveis a danos por geada. Esta fase se estende até quando as plantas apresentam 6 a 8 folhas e caule com 6 a 8 mm de diâmetro. A partir disso, com condições

ambientais favoráveis, o rápido desenvolvimento foliar, e conseqüentemente a cobertura do solo, permite melhor interceptação de luz, menos perda de água por evaporação do solo e supressão às plantas daninhas. A interceptação de radiação solar pelo dossel de plantas afeta diretamente a taxa de crescimento da canola, pois tem relação direta com a quantidade de carboidratos produzidos pela fotossíntese, o que influencia diretamente o rendimento de grãos da cultura, sendo que existe correlação positiva entre rendimento de grãos e máxima área foliar (THOMAS, 2003; IRIARTE; VALLETI, 2008; NIED, 2013). Além disso, a duração do ciclo da cultura pode ser relacionada diretamente com o rendimento de grãos, pois uma fase vegetativa longa favorece a produção e acúmulo de fotoassimilados que poderão ser usados para o enchimento dos grãos. Associado a isso, a fase reprodutiva longa pode possibilitar um período maior de translocação de fotoassimilados para o enchimento dos grãos (KRUGER et al., 2009).

O rendimento de grãos na canola pode ser alterado em função de modificações no arranjo de distribuição das plantas, o que é conhecido como plasticidade fenotípica. Nesse sentido, Kruger et al. (2011) verificaram que o rendimento médio de grãos é maior em menores espaçamentos entre linhas, enquanto a densidade de plantas não apresentou influência sobre o rendimento de grãos. Para baixas densidades de plantas, Diepenbrock (2000), destaca que a compensação no rendimento de grãos é alcançada por meio de incremento na área foliar, maior ramificação e maior número de síliquas por planta. Enquanto para altas densidades a produtividade fica limitada a competição inter e intraespecífica por água, nutrientes e radiação e em virtude do maior ataque de pragas e maior ocorrência de doenças (LEACH et al., 1999).

A canola não tem número final de folhas definido, mas a cultura pode apresentar plantas com 9 a 30 folhas verdadeiras desenvolvidas até o fim de seu ciclo na haste principal, dependendo do genótipo e condições ambientais. A principal variável ambiental a influenciar a emissão de folhas novas é a temperatura do ar, sendo o intervalo entre o aparecimento de folhas sucessivas definido como filocrono, o qual para os genótipos cultivados no Brasil o filocrono varia de 21 a 53 graus dia (KOVALESKI et al., 2009; DALMAGO et al., 2013). Para a canola o Índice de Área Foliar (IAF) máximo é verificado no início do florescimento, sendo que a partir deste estágio inicia-se o decréscimo em função da senescência das folhas basais. Para as condições encontradas no Brasil o IAF é menor quando a semeadura é realizada em abril e maio do que em semeaduras realizadas em junho e julho, porém nesta época a longevidade da área foliar é maior. Além disso, a máxima interceptação máxima da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) pelo dossel foi a partir da metade do florescimento,

sendo interceptada principalmente por hastes, flores e siliquis, com valores da ordem de 70 a 80% da radiação PAR (NIED, 2013).

As plantas de canola podem apresentar de 2 a 9 hastes secundárias, embora frequentemente se encontrem 4 a 6 hastes secundárias por planta, sendo que a baixa população de plantas estimula a emissão de um maior número de ramificações. A ocorrência de geadas pode afetar negativamente a emissão de ramificações e afetar a produção total de flores por planta, e portanto o rendimento de grãos pode ser reduzido (THOMAS, 2003).

O período reprodutivo da canola inicia com a visualização do botão floral no centro da roseta foliar, sendo esta primeira fase conhecida como alongação da haste principal. A partir desta fase se inicia também o desenvolvimento de hastes secundárias nas axilas das folhas (MORRISON et al., 1992; IRIARTE; VALETTI, 2008). A ocorrência de geadas no período vegetativo, ou seja, na fase de roseta, pode retardar a entrada em antese, fazendo com que a canola semeada tardiamente no Sul do Brasil alcance a antese em épocas do ano com maior probabilidade de ocorrência de temperatura do ar altas, que provocam abortamento de flores e siliquis e conseqüente redução do rendimento de grãos (MORRISON; STEWART, 2002).

### **2.3 Geadas: formação e conceitos**

Para Pillar (1995) a variação geográfica da temperatura do ar é principalmente afetada pela altitude, latitude e continentalidade. Já a ocorrência de geadas, segundo Massignan e Dittrich (1998), é condicionada a um estado de baixa energia, sendo resultado de condicionantes físicos e ambientais, como por exemplo: grau de nebulosidade, velocidade do vento, densidade de ar frio, poder emissivo dos corpos e condutividade térmica. Em estudos de risco de ocorrência de geada para os estados do Paraná e Santa Catarina, Grodzki et al. (1996) e Massignan e Dittrich (1998) verificaram que a maior influência no número de geadas ocorridas foi devido à altitude, já outros fatores como latitude, relevo, vegetação, entre outros, apresentaram influência secundária na ocorrência de deposição de gelo sobre as superfícies. Apesar da importância secundária da latitude, Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007) destacam que no Brasil a ocorrência de geada é comum a partir da latitude de 19°S, abrangendo os estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Desta forma, a área com potencial para ocorrência de geadas abrange grande parte do território brasileiro, em estados que desempenham importante contribuição para o setor agrícola nacional. Devido à elevada importância do fenômeno, é essencial compreender a sua gênese e os fatores inerentes à ocorrência. Portanto, é importante salientar que existem diferentes definições para o termo geada. Para a meteorologia, a geada é definida como a deposição de gelo cristalino decorrente da sublimação do vapor de água presente no ar sobre superfícies expostas, em forma de prismas ou agulhas (ramificados ou não), de leque ou escamas. A sublimação sobre superfícies ocorre desde que a temperatura das superfícies atinja  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e exista umidade no ar (VAREJÃO-SILVA, 2006), enquanto para a área agrônômica é qualquer temperatura baixa do ar que provoca a morte de plantas ou de seus órgãos, ocorrendo ou não a formação de gelo em superfície. Os danos em vegetais podem ser causados por ventos frios, que soprando por várias horas provocam crestamento nas partes mais expostas das plantas, ou seja, onde o vento as atinge diretamente. Neste caso, como as plantas estão menos frias que o ar, não há formação de gelo sobre a superfície das mesmas. A formação de gelo em superfície, geralmente, ocorre quando há um intenso resfriamento da superfície provocado pelo saldo de radiação noturno e quando a temperatura da superfície for mais baixa que a temperatura do ponto de orvalho e abaixo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

A deposição de gelo em superfície ocorre em noites com atmosfera límpida e ausência de vento, quando a temperatura da superfície em questão está abaixo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e com presença de umidade no ar. Com o vento, o resfriamento do ar próximo à superfície é atenuado pela turbulência e consequente heterogeneização da atmosfera, quando o vento diminui a amplitude da curva do perfil de temperatura e desloca o nível em que ocorre a inversão térmica para cima. Na ausência de vento, a mistura do ar não é realizada e o topo da inversão térmica se aproxima do solo e com a elevada perda de energia do solo por radiação, favorecida pelo céu límpido, este esfria o ar adjacente rapidamente. De acordo com Heldwein (1993) a velocidade do vento acima de  $0,6\text{ m s}^{-1}$  a 1 m de altura pode produzir fluxos turbulentos junto às folhas em plantas de baixo porte durante a noite, o que aumenta o coeficiente de transporte de calor sensível para as mesmas e reduz a probabilidade de danos às plantas.

A sublimação da água em superfícies ocorre somente quando a temperatura da água atingir  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ou ainda com temperatura mais baixa do que o ponto de congelamento da água, uma vez que a temperatura da superfície em que ocorre a deposição de cristais de gelo é variável com a concentração de vapor de água no ar. Assim, quanto menor a umidade do ar,

menor será o ponto de geada, que é a temperatura da superfície na qual se inicia a deposição de gelo (WEXLER, 1965; VAREJÃO-SILVA, 2006). Com isso, a sublimação sobre as plantas pode iniciar-se muito abaixo de 0 °C e, portanto, abaixo da temperatura letal para muitas espécies, sendo este fenômeno comumente chamado de geada negra, pois ocorrem injúrias por frio às plantas, sem deposição de gelo. As geadas negras, frequentemente, provocam danos mais severos às culturas agrícolas que as geadas brancas (com formação de gelo em superfície), pois com a mudança de estado físico da água de vapor para gelo (ou orvalho), há liberação de calor sensível, o que atenua o resfriamento próximo à superfície, evitando muitas vezes que a temperatura letal seja alcançada. Previamente à formação de gelo, as superfícies podem atingir a temperatura do ponto de orvalho, fazendo com que o vapor de água deposite-se em forma líquida nas superfícies expostas. Em havendo o contínuo decréscimo de temperatura, o orvalho se solidificará, formando o orvalho congelado (que difere da geada por não apresentar formação de cristais), e subsequentemente pode ocorrer deposição de cristais de gelo, ou seja, formação de geada (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A formação de geadas pode ser decorrente de dois processos meteorológicos, a advecção de ar frio e a perda por radiação da superfície terrestre. O fenômeno de advecção de ar frio é caracterizado pelo deslocamento de massas de ar frio de origem polar com presença de vento, que possuem elevado potencial danoso às plantas, seja pelo frio ou injúria mecânica. A perda de radiação terrestre ocorre predominantemente em noites de céu límpido, que são resultantes de um centro de alta pressão de ar frio e seco. Em noites típicas de geada por radiação a perda de energia por ondas longas acentua o declínio da temperatura do ar próximo à superfície, formando a inversão térmica, que é característica típica de geadas por perda de radiação (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007). Já Cunha (2003) considera que a associação entre os dois fenômenos meteorológicos é o principal responsável pelo resfriamento. Nesse processo misto, a advecção de ar frio e as perdas por radiação terrestre, embora não ocorrendo simultaneamente, resultam em condições favoráveis à formação de geada. Queraltó (1971) acrescenta a evaporação de água como fenômeno que pode causar ou contribuir para o resfriamento, sendo particularmente importante depois de uma baixa precipitação pluvial com presença de vento e baixa umidade do ar, o que provoca rápida evaporação da água. E como a mudança de estado líquido para gasoso requer cerca de 600 calorias por grama de água líquida, consome-se calor sensível do ar para a mudança de estado físico da água e intensifica-se o resfriamento.

A intensidade do frio é determinada pela temperatura do ar medida no termômetro de mínima instalado no abrigo meteorológico, que geralmente é superior àquela registrada ao

nível do solo. Conforme Bootsma (1976) a defasagem de temperatura no abrigo (que geralmente é instalado a 1,5 m do solo), em relação ao nível do solo pode chegar a 5 °C. Heldwein et al. (1988) afirmam que essa diferença é decorrente da inversão térmica que ocorre durante a noite. Esse fenômeno é comumente verificado em noites com céu límpido, sem vento e com baixa umidade no ar. Nesse sentido, Grodzki et al. (1996) no estado do Paraná, encontraram valores da ordem de 2,8 °C a 3,8 °C mais altos no abrigo meteorológico em relação ao nível do solo. Para o município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Heldwein et al. (1988) verificaram que os maiores gradientes de temperatura entre o nível do solo e o abrigo ocorreram nos meses mais frios. E quando a temperatura do ar no abrigo é menor que 6 °C, a média das diferenças entre a temperatura do ar no abrigo e ao nível do solo foi maior que 4,4 °C. Como a temperatura do ar medida no abrigo meteorológico, em dias com geada, normalmente, é maior que no nível do solo, os valores obtidos de estações meteorológicas não são adequados para caracterizar a temperatura do ar próxima ao solo, portanto faz-se necessário a instalação de sensores térmicos nos pontos desejados.

Essa defasagem de temperatura verificada por vários autores ocorre em virtude da maior densidade do ar frio, que tende a acumular-se junto à superfície e nas regiões mais baixas do terreno. Como o ar frio escoar pela superfície de maneira semelhante à água, em áreas com declividade, o fluxo de ar frio pode provocar injúrias às plantas ali cultivadas, dependendo da intensidade do frio. Porém, a probabilidade de danos por frio em baixadas é maior do que em planaltos e encostas, pelo tempo de exposição à temperatura baixa do ar (VAREJÃO-SILVA, 2006).

## **2.4 Temperatura do ar e a canola**

A variabilidade das condições atmosféricas é um dos principais limitadores para o cultivo e expansão das espécies cultivadas. As plantas são expostas a várias condições estressantes e necessitam adaptar-se ao ambiente onde estão inseridas. Um dos principais estresses a que as plantas são expostas refere-se aos extremos de temperatura do ar (IBA, 2002). Entre os fatores que afetam a temperatura do ar pode-se citar a época do ano, grau de nebulosidade, a chuva e os ventos. Quando se considera a escala microclimática acrescenta-se o grau e a natureza da cobertura do terreno, já que afetam diretamente a fração de energia solar direcionada ao aquecimento do ar (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

A canola é uma espécie predominantemente de clima temperado que tem a temperatura do ar como principal variável ambiental a influenciar o crescimento e desenvolvimento das plantas (DALMAGO et al., 2009). Nesse sentido, Thomas (2003) considera que a faixa ótima de temperatura do ar para a canola é de 12 °C a 30 °C, com valor ótimo de 21 °C. Nesse sentido, a temperatura base da canola, aquela na qual o crescimento das plantas é interrompido, é de 5 °C (MORRISON; McVETTY; SHAYKEWICH, 1989; NANDA et al., 1995; THOMAS, 2003).

A geada é um dos mais importantes estresses a que as plantas podem ser submetidas, sendo a temperatura do ar o principal fator que condiciona a distribuição geográfica das espécies agrícolas (PEARCE, 2001). Nesse sentido, a ocorrência de geadas na região Sul do Brasil é um dos mais importantes fatores de risco para a agricultura (CUNHA, 2003), principalmente se os eventos forem extemporâneos e coincidirem com os estádios mais sensíveis das culturas agrícolas. Quando danificadas por geada, as plantas apresentam crescimento lento, as folhas apresentam descoloração ou lesões, aparentando encharcamento e se as raízes são danificadas pela geada, as plantas podem apresentar murchamento (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disso, para Hull (2002) plantas injuriadas por geada podem se tornar suscetíveis ao ataque de patógenos, como fungos, vírus, bactérias e inclusive insetos.

Para Camargo et al. (1993) a suscetibilidade das culturas agrícolas a danos por frio dependente, dentre outros fatores, do estágio fenológico. Desta forma, para a canola os maiores danos por geada ocorrem na fase de roseta, além da antese e enchimento de grãos (ROBERTSON; HOLLAND, 2004; McCLINCHEY; KOTT, 2008). No início do ciclo de desenvolvimento, a partir do estágio cotiledonar até quando as plantas tem três a quatro folhas é verificada a maior sensibilidade ao frio pela canola, sendo que a temperatura do ar de -3 e -4 °C provoca morte de plantas (THOMAS, 2003; McCLINCHEY; KOTT, 2008; EDWARDS; ERTEL, 2011). Para Dalmago et al. (2010) a temperatura ao nível do solo de -6 °C pode causar danos severos e a morte de plantas até 15 dias após a emergência (DAE), quando as plantas apresentam três folhas desenvolvidas. Após esse período, Dalmago et al. (2010) relatam que a sensibilidade à geada diminui gradativamente até 30 DAE, quando a suscetibilidade à geada é mínima. Resposta semelhante foi encontrada por Hawkins et al. (2002), quando avaliaram plantas de canola aclimatadas, em estágio vegetativo com mais de cinco folhas desenvolvidas, que resistiram facilmente em temperatura inferior à -5 °C. Além disso, para folhas totalmente desenvolvidas, Gusta et al. (2004) verificaram que a temperatura do ar de -4,6 °C provocou morte rápida das folhas.

Para o estágio de plântula, Wilen et al. (2004) verificaram alta sensibilidade à temperatura do ar na faixa de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , provocando a morte ou retardando do desenvolvimento das plantas. No estabelecimento da lavoura o retardamento no desenvolvimento e, principalmente, a morte de plantas, podem provocar significativa redução no rendimento de grãos da lavoura, pois causa a redução de plantas por área, que é um dos componentes de rendimento de grãos da canola.

Os efeitos provocados por ocorrência de geadas em plantas em plantas são classificadas por Saltveit e Morris (1990) em primários e secundários. Os efeitos primários são definidos como aquelas em que ocorre a percepção da ocorrência da geada e se desencadeiam disfunções nas plantas, mas que podem ser facilmente revertidas, desde que sejam restabelecidas as condições favoráveis. Os efeitos secundários são decorrentes das modificações primárias, e estes podem ou não ser reversíveis. Em caso de ocorrência de injúrias nas plantas, destacam-se como principais efeitos as necroses, redução da fotossíntese e da absorção de água, alterações na integridade da membrana plasmática e o amarelecimento foliar. Taiz e Zeiger (2004) afirmam que os danos na membrana plasmática podem desencadear os demais efeitos celulares causados pela geada, que envolvem a inibição da fotossíntese, reduzida translocação de carboidratos e taxa transpiratória, assim como inibição de proteínas, e a degradação das proteínas existentes.

Com a exposição prolongada à geada, o crescimento de cristais de gelo extracelular provoca o deslocamento de água líquida do interior da célula para o espaço intercelular, pois o ponto de congelamento da solução celular é menor que a solução dos espaços intercelulares, causando a desidratação da célula (XIN; BROWSE, 2000). A diferença entre o potencial químico da solução extracelular e a intracelular, causada pela formação de gelo, faz com que o equilíbrio seja buscado através do deslocamento de água do interior para fora da célula. Essa desidratação provocada pela geada pode ser evitada aumentando o potencial osmótico da solução intracelular e diminuindo o potencial osmótico da solução extracelular (SĂULESCU; BRAUN, 2001). Portanto, quando o conteúdo líquido do tecido vegetal for mais concentrado em carboidratos e outros radicais, menor é o potencial de água e menores são os danos provocados pela desidratação causada pela geada (SILVA et al., 2008).

A tolerância à geada pelas plantas é definida por Săulescu e Braun (2001) como a capacidade das plantas em sobreviverem à formação de cristais de gelo nos espaços intercelulares, sem danos significativos às membranas ou qualquer componente celular, sendo que a formação de gelo intracelular é considerada sempre letal para a célula. Já Taiz e Zeiger (2004) acrescentam que a tolerância à geada está relacionada com a habilidade das plantas em



acomodar os cristais de gelo nos espaços intercelulares e da capacidade do protoplasto suportar a desidratação.

Em plantas sensíveis à geada, a membrana das células ou organelas possui grande quantidade de ácidos graxos saturados, que se solidificam com temperatura do ar logo abaixo de 0 °C. Já plantas com tolerância à geada possuem maior proporção de ácidos graxos insaturados nas membranas, que permanecem fluidas sob temperatura do ar mais baixa, o que resulta em maior tolerância à geadas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

## **2.5 Aclimação ao frio**

A incapacidade de locomoção das plantas acarreta que estas sejam expostas às diversas variações ambientais do local em que estão inseridas, devendo se adaptar a estas para se desenvolverem, ou então sobreviverem. Nesse sentido, Iba (2002) afirma que o principal estresse enfrentado pelos vegetais se relaciona aos extremos de temperatura do ar. Em relação aos extremos de temperatura baixa do ar, a aclimação é um dos principais mecanismos de tolerância à geada pelas plantas (RIFE; ZENAILI, 2003). A aclimação ao frio é o processo em que as plantas são expostas a temperatura baixa do ar, porém não congelante, e estas desenvolvem tolerância ao frio, o que envolve mudanças fisiológicas, bioquímicas e moleculares em células vegetais (FOWLER; LIMIN; RITCHIE, 1999; THOMASHOW, 1999).

O processo de aclimação ao frio pelas plantas pode ter três fases, dependendo da espécie. A primeira fase envolve a aclimação a temperatura baixa do ar e a regulação de fatores transcricionais, que são proteínas envolvidas na replicação do DNA. Nesta fase as plantas adquirem tolerância à geadas com temperatura do ar que varie de -5 °C até -9 °C, desde que sejam expostas a curtos períodos de tempo a esta faixa de temperatura do ar. Este tipo de aclimação é verificado em plantas anuais, como a canola. Já as plantas anuais que necessitam de vernalização, e árvores, apresentam o segundo tipo de aclimação, quando estas respondem à temperatura de aclimação próxima a 0 °C. Neste tipo de aclimação são produzidos compostos crioprotetores, que são substâncias que protegem tecidos biológicos do congelamento, geralmente açúcares ou proteínas, que promovem o aumento da concentração dos solutos da célula, diminuindo assim a temperatura de congelamento da solução celular. A terceira etapa pode acontecer em algumas espécies, em temperatura do ar abaixo de 0 °C,

sendo que ocorre a combinação de processos bioquímicos e biofísicos (GUSTA; TRISCHUK; WEISER, 2005).

Apesar das várias pesquisas desenvolvidas, ainda não está totalmente esclarecido como as plantas percebem o sinal ambiental para a indução à tolerância contra a geada (GUSTA; TRISCHUK; WEISER, 2005). Apesar disso, sabe-se que o desenvolvimento da aclimação ao frio inicia-se com a exposição à temperatura baixa do ar, (abaixo de 15 °C) (SĂULESCU; BRAUN, 2001). Para a canola Rapacz, Tokarz e Janowiak (2001) e Rife e Zeinali (2003) afirmam que o início da aclimação ao frio ocorre com temperatura do ar entre 10 °C a 15 °C, valores térmicos que ocorrem com grande frequência no Sul do Brasil na época de cultivo da canola, porém, em algumas ocasiões, em períodos de tempo insuficiente para que as plantas se aclimatem ao frio. No entanto, Thomashow (2001), e Tasseva et al. (2004) relatam que a aclimação ao frio se desencadeia sob temperatura do ar mais baixa, variando de 2 °C a 6 °C. Em experimento que avaliou a resposta da canola a diferentes regimes térmicos, Rapacz, Tokarz e Janowiak (2001) verificaram que o máximo nível de aclimação ao frio foi alcançado pelas plantas que enfrentaram seis semanas sob temperatura do ar de 5 °C. Para Dalmago et al. (2010) a aclimação ao frio antes da geada promoveu a redução dos danos provocados por geada no início do ciclo de desenvolvimento das plantas, sendo que em plantas não aclimatadas a queima de folhas se iniciou com a temperatura do ar de -2 °C, enquanto em plantas aclimatadas somente a geada de -6 °C apresentou queima de folhas.

Para Săulescu e Braun (2001) um dos aspectos mais importantes no início da aclimação está relacionado à diminuição do potencial osmótico e o acúmulo de açúcares nos tecidos, o que favorece o aumento no nível de ácido absísico (ABA). Taiz e Zeiger (2004) afirmam que durante a aclimação, os açúcares solúveis se acumulam nas paredes celulares, o que pode restringir o crescimento dos cristais de gelo. Para Gusta et al. (2003) folhas de canola aclimatadas ao frio apresentaram-se com 50 a 60% menos água que folhas não aclimatadas, assim como o conteúdo de água no apoplasto também é menor. Durante a aclimação, o conteúdo de água nas plantas de canola diminui, o que aumenta a concentração de açúcares solúveis e prolina nas folhas (RAPACZ, 1999).

A tolerância à geada é uma condição dinâmica, uma vez que as mudanças de temperatura do ar, conteúdo de água nos tecidos vegetais, umidade do solo, nutrição, estágio de desenvolvimento das plantas e condições fisiológicas podem interromper, reverter ou reiniciar o processo de aclimação (SĂULESCU; BRAUN, 2001). Segundo Scúcz et al. (2003) a umidade do solo tem influencia direta na concentração de solutos das células das

plantas. Com maior umidade do solo a concentração da solução celular é mais baixa e a temperatura de congelamento da mesma é mais alta, dificultando assim o processo de aclimação por favorecer o congelamento da solução celular. Para Rife e Zeinali (2003) após um período de sete dias com temperatura do ar, elevada todas as cultivares de canola apresentaram significativa redução na tolerância à geada. O que parece ser um dos problemas recorrentes no Rio Grande do Sul nos meses de julho, e principalmente em agosto e setembro, quando com frequência se verifica a ocorrência de temperatura do ar elevada por vários dias consecutivos.

## **2.6 Cobertura de palha e o microclima na superfície**

O sistema de Plantio Direto é uma prática de manejo do solo adotada nas lavouras da região sul do Brasil. Conforme Furlani et al. (2004) o principal objetivo do sistema é a conservação do solo e para isso deve atender três pressuposições básicas: a rotação de culturas, o não-revolvimento do solo e a manutenção de palhada em superfície.

A cobertura do solo altera vários processos físicos, químicos e biológicos no ambiente, principalmente aqueles diretamente relacionados com o solo (EIRA, 1995). Além disso, contribui para a atenuação da amplitude térmica próxima à superfície, reduzindo principalmente a temperatura máxima do solo (SILVA; REICHERT; REINERT, 2006). A menor amplitude térmica, interagindo com outros fatores, pode reduzir o ritmo de decomposição da matéria orgânica, contribuindo assim para a melhoria das propriedades físico-químicas do solo (REIS et al., 2007). Em relação ao processo erosivo, a palhada reduz o efeito do impacto da gota da chuva, que desencadeia a erosão e contribui para a redução do escoamento superficial da água da chuva (EIRA, 1995). Dalmago et al. (2003) verificaram umidade e evaporação mais elevadas na superfície do solo coberto com palha do que em solo desnudo, o que ocorreu devido à modificação da dinâmica da água em solo coberto com palha em relação ao solo desnudo. Além disso, segundo Silva et al. (2006), a presença de cobertura no solo exerce efeito direto no balanço energético das superfícies, afetando diversas variáveis micrometeorológicas, como o balanço de radiação, fluxos de energia, gradientes de temperatura e umidade do ar, entre outras.

Para Heckler et al. (2007) o balanço de ondas curtas foi maior em plantio convencional do que em plantio direto, o que foi atribuído à reflexão da radiação pela

superfície em plantio direto. Além disso, em solo desnudo a perda de radiação por ondas longas foi maior do que na superfície do solo coberto por palha.

Em relação ao balanço de energia, um solo coberto com palha reflete maior proporção da radiação solar incidente do que um solo desnudo, diminuindo assim o fluxo de radiação para o solo e reduzindo a elevação da temperatura do mesmo (COMIRAN et al., 2007). Segundo Salton e Mielniczuk (1995), Prevedello (1996), Querino et al. (2006) e Silva et al. (2006), o uso de resíduos culturais em cobertura afeta o regime térmico do solo através da reflexão e menor absorção da energia incidente, processos que são dependentes da coloração, teor de umidade da cobertura, tipo, quantidade e distribuição da palha das culturas anteriores. Nesse sentido, destaca-se que quanto mais escura, rugosa e úmida a superfície, menor será seu albedo.

Para Queralto (1971) os solos desnudos armazenam maior quantidade de energia que os solos com algum tipo de cobertura, o que se comprova pela temperatura de 2,5 °C mais alta em solo sem palhada. Nesse sentido, a radiação solar que penetra pela palhada e atinge a superfície do solo é dependente da espessura da cobertura e do manejo empregado nesta (BAVER et al., 1972). Portanto, em lavouras que adotam o sistema Plantio Direto, com presença de palha em superfície, o armazenamento de energia no solo tende a ser menor.

Além de reduzir a incidência de radiação solar no solo, a baixa condutividade térmica da palha (PREVEDELLO, 1996; SILVA et al., 2006) faz com que esta atue como um isolante térmico, restringindo as trocas energéticas entre solo-atmosfera, o que faz a temperatura do ar junto à superfície reduzir-se mais ainda (KASPAR; ERBACH, 1998; ARAÚJO et al., 1999). Gasparim et al. (2005) afirmam que a cobertura do solo com material orgânico constitui uma barreira física para a incidência de radiação solar na superfície e provoca a redução de trocas energéticas entre solo e atmosfera.

Em sistema de Plantio Direto com cobertura permanente, Sidiras e Pavan (1986) e Furlani et al. (2008) em avaliações nas camadas superiores do solo, sempre encontraram temperatura no solo mais baixa que no sistema convencional. Essa redução de temperatura do solo foi atribuída à palha sobre a superfície do solo, que aumentou a reflexão e absorção da energia solar incidente. No entanto, com a implantação de uma cultura, no caso o milho, Levien (2005) verificou que quando o sombreamento do solo pela cultura atingiu 50% no sistema convencional, a diferença de temperatura no solo entre o sistema de Plantio Direto e Preparo Convencional deixou de existir. No consórcio aveia preta/nabo forrageiro a temperatura do solo apresentou-se significativamente menor até trinta dias após a emergência das culturas, e após esse período o sombreamento do solo pelas culturas diminuiu a diferença.

Desta forma, para a canola, com o crescimento e desenvolvimento das plantas, seja pela maior cobertura da superfície ou pela perda da sensibilidade à geadas, a disponibilidade de palha sobre o solo tende a não mais apresentar influência sobre possíveis injúrias na canola quando a canola já possuir seis folhas desenvolvidas.

## **2.7 Balanço de radiação e de energia**

A radiação solar global é a principal fonte de energia para os processos físicos, químicos e biológicos relacionados ao crescimento e desenvolvimento de plantas. Nesse sentido, a latitude, altitude, grau de cobertura de nuvens, composição espectral da radiação, época do ano, disponibilidade hídrica do solo, temperatura da superfície e da atmosfera são fatores que modificam a interação da radiação com a superfície de um dossel de plantas em cultivo. Portanto, as interações entre a radiação solar e a radiação de ondas longas entre a superfície terrestre e a atmosfera resultam no saldo de radiação (HELDWEIN et al., 2012).

O saldo de radiação é utilizado no processo de aquecimento do ar e do solo, na evapotranspiração e afeta diretamente o metabolismo das plantas, destacando-se a fotossíntese e a respiração (AZEVEDO et al., 1990). Durante o dia, no período com brilho solar, o saldo de radiação é positivo, pois os fluxos que incidem na superfície terrestre são superiores à radiação refletida e a emitida. Enquanto isso, à noite, o balanço de radiação tende a ser negativo, pois as trocas energéticas são comandadas pela energia emitida pela superfície e pela contraradiação (energia emitida pela atmosfera em direção à superfície terrestre), e como a contraradiação possui valores menores que a energia emitida pela superfície, o balanço de radiação será negativo (AZEVEDO et al., 1990, PEZZOPANE et al., 1995). O conhecimento da partição do saldo de radiação é fundamental para a caracterização do microclima de um dossel de plantas, em especial para a canola, que tem a temperatura do ar como principal variável ambiental a afetar o crescimento e desenvolvimento das mesmas.

As trocas de radiação na superfície terrestre são governadas pela radiação de ondas curtas (0,3  $\mu\text{m}$  a 3,0  $\mu\text{m}$ ) e a radiação de ondas longas (maior que 3,0  $\mu\text{m}$ ). O fluxo de radiação em direção à superfície terrestre é composto pela radiação solar de ondas curtas (direta e difusa) e a radiação de ondas longas emitida pela atmosfera para a superfície, enquanto o fluxo no sentido superfície-atmosfera é composto pela radiação solar refletida e a

radiação de ondas longas emitida para a atmosfera (TANNER; LEMON, 1962; FONTANA; BERLATO; BERGAMASCHI, 1991).

A radiação solar refletida por uma superfície para o espaço é definida como a refletância, enquanto a porção de radiação fotossinteticamente ativa refletida pela superfície terrestre é designada como albedo. A porcentagem de radiação solar refletida é variável com o ângulo de incidência solar, grau de cobertura do solo, umidade do solo e da vegetação e cobertura de nuvens. Para espécies cultivadas, o albedo é variável durante o ciclo de desenvolvimento em função do estágio fenológico, cobertura do solo pelo dossel e teor de água nas plantas (AZEVEDO et al., 1990; FONTANA; BERLATO; BERGAMASCHI, 1991).

A emissão de radiação de ondas longas pela superfície é dada pela equação de Stefan-Boltzman, a qual é função da temperatura instantânea elevada na quarta potência. A emissão de radiação de ondas longas pela atmosfera é governada por moléculas de vapor de água, dióxido de carbono e ozônio, que ao absorvem radiação de onda curta elevam seu estado cinético e emitem radiação de onda longa em direção à superfície (TANNER; LEMON, 1962; FONTANA; BERLATO; BERGAMASCHI, 1991).

O método do balanço de energia de uma superfície vegetal é definido pela relação da energia que entra e a energia que sai do sistema, sendo baseado no princípio da conservação da energia. Apesar das limitações impostas pelos equipamentos de medida e pelos erros provocados por advecção de energia e nas suposições teóricas da razão de Bowen, a praticidade e precisão oferecida pelo método fazem com que seja amplamente utilizado na estimativa de partição energética. Nesse sentido, a equação geral do balanço de energia considera o saldo de radiação, o fluxo de calor sensível para o solo e os fluxos de calor sensível e calor latente na atmosfera, desconsiderando os fluxos de energia no sentido horizontal e a energia consumida em processos como a fotossíntese e a respiração, além da energia armazenada pelo dossel de plantas (FUCHS; TANNER, 1970; VILLA NOVA, 1973; CUNHA; BERGAMASCHI, 1994; GALVANI; ESCOBEDO; PEREIRA, 2001; PILAU et al., 2007). Desta forma, a equação geral do balanço de energia é assim simplificada:

$$R_n + LE + H + S = 0$$

Onde:

$R_n$  = Saldo de radiação;  $LE$  = Fluxo de calor latente;  $H$  = Fluxo de calor sensível;  $S$  = Fluxo de calor para o solo;

Desta maneira, para as condições microclimáticas geralmente encontradas nos cultivos agrícolas da região Sul do Brasil, sem déficit hídrico severo, a maior parte da energia disponível do saldo de radiação é consumida para a evaporação da água, como calor latente. Já os fluxos de calor sensível para aquecimento do ar e do solo correspondem ao restante da energia do saldo de radiação (ANDRÉ; VISWANADHAM, 1986; CUNHA; BERGAMASCHI, 1994; CUNHA et al., 1996; ALVES; AZEVEDO; SILVA, 1998; PEZZOPANE; PEDRO JÚNIOR, 2003).

Durante a noite, o saldo de radiação é sempre negativo, sendo que não existe radiação solar global incidente (HELDWEIN et al. 2012). Segundo Pezzopane et al. (1995) quando a radiação líquida é negativa as superfícies na Terra atuam como um sumidouro de energia. Assim, quanto mais negativa a radiação líquida, mais a superfície pode resfriar o ar adjacente e o solo, com o propósito de equilibrar o balanço energético. Em noites com geada de radiação as perdas radiativas fazem com que o saldo de radiação seja ainda mais negativo, contribuindo para a diminuição da temperatura do ar. O fluxo de calor para o solo e o calor sensível do ar são ambos negativos, pois ocorre transferência de energia no sentido de atenuar as perdas por radiação da atmosfera. Como a magnitude de energia do calor sensível do solo e do ar é menor do que as perdas por radiação da superfície, a temperatura do ar, do dossel de plantas e do solo diminui. Além disso, em noites frias, com formação de geada, a atmosfera se apresenta calma e límpida, o que favorece a transferência de energia no sentido vertical, quando a advecção de calor latente e calor sensível em grande escala é insignificante, ou então nula (SNYDER; MELO-ABREU, 2010).

A combinação de elevada umidade no ar e intenso resfriamento faz com que ocorra a formação de cristais de gelo em superfície. De acordo com a Snyder e Melo-Abreu (2010) com formação de geada, a evaporação de água é mínima, portanto, o fluxo de calor latente é insignificante. Além disso, a mudança de estado físico da água de vapor para orvalho ou gelo faz com que o calor latente seja liberado em forma de calor sensível, elevando a temperatura da superfície em questão, em consequência reduzindo o ritmo do resfriamento. Portanto, os principais métodos utilizados na defesa das culturas agrícolas contra os efeitos de geadas se baseiam na alteração de algum dos fluxos do balanço de energia.

Nesse sentido, no início do ciclo da canola as plantas são mais suscetíveis a danos causados pelo frio, que podem ser potencializados com presença de palhada em superfície. Portanto, o conhecimento da interação da palhada sobre o solo e a partição do balanço de energia na cultura da canola, nos primeiros estádios de desenvolvimento das plantas, pode auxiliar na compreensão de possíveis danos provocados pela geada na implantação da cultura,

podendo ser utilizado também como orientação para a indicação de estratégias que visem prevenir ou reduzir o efeito da geada na canola.



## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização do experimento

#### 3.1.1 Aspectos gerais

O experimento foi conduzido no ano de 2014, na área experimental da Embrapa Trigo, localizada no município de Coxilha, Rio Grande do Sul (28°10' S, 52°19' W e 686 m de altitude), distante 9 km da sede da Embrapa Trigo, que se localiza no município de Passo Fundo com declividade média de 14,3% (Figura 1). O solo pertence à unidade de mapeamento Passo Fundo, classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Húmico (STRECK et al., 2008), ou seja, possui horizonte B de coloração predominante vermelha, apresentando saturação de bases menor que 50% e com horizonte A húmico. Com relação ao clima, segundo a classificação de Köppen a região está localizada em Zona climática fundamental temperada (C), com clima de tipo fundamental úmido (f) e variedade específica subtropical (a), caracterizando um clima subtropical úmido com chuvas bem distribuídas durante todo o ano. De acordo com a normal climatológica de 1961-1960, a precipitação pluvial média para o município de Passo Fundo é de 1788 mm, a temperatura média do ar do mês mais quente é maior que 22 °C e os meses de Dezembro e Junho são os meses com maior e menor densidade de fluxo de radiação solar global com 22,3 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 9,3 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente, e Junho, Julho e Agosto são os meses que apresentam temperaturas mínimas do ar menores que 10 °C e com maiores probabilidades de ocorrência de geadas (CUNHA, 1997).



Figura 1 - Localização do experimento no município de Coxilha, RS, conduzido no ano de 2014.

Fonte: Adaptado de Google Earth, 2014.

### 3.1.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições e três datas de semeadura. Os tratamentos foram diferentes formas de distribuição de palha na superfície do solo. O genótipo de canola utilizado foi o Hyola 61, sendo classificado como híbrido de ciclo médio e que apresenta estabilidade no rendimento de grãos em condições adversas de déficit hídrico e frio intenso (TOMM et al., 2009).

A definição das datas de semeadura teve como base o zoneamento agroclimático para a canola (DALMAGO et al., 2009), que para o município de Coxilha estabelece como período preferencial para semeadura o intervalo de 11 de abril até 30 de junho. Deste modo, a primeira data de semeadura foi em 23 de abril, a segunda em 29 de maio e a terceira em 16 de julho. Em função das condições ambientais não favoráveis, principalmente, devido à elevada umidade do solo, a terceira data de semeadura ocorreu fora do período indicado pelo zoneamento agroclimático. As diferentes formas de distribuição de palha na superfície do solo

foram constituídas por quatro tratamentos: superfície do solo sem cobertura com palha (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), linha de semeadura sem palha (LSP) e solo com resíduos de outros cultivos de palha naturalmente existente (CS), deixada pela passagem da semeadora.

As unidades experimentais foram parcelas, com dimensões de cinco metros de largura e seis metros de comprimento, totalizando  $30 \text{ m}^2$  de área total por parcela, que receberam as diferentes combinações de tratamentos dos dois fatores.

### 3.1.3 Manejo e tratos culturais

A área em que o experimento foi implantado foi manejada segundo os princípios do sistema de semeadura direta, com mínimo revolvimento do solo e manutenção de palha sobre a superfície. A cultura antecessora à canola, no verão de 2013/2014, foi feijão, e no inverno de 2013 foi cultivada a aveia preta.

Previamente à instalação do experimento, na área experimental destinada à implantação da canola, foram coletadas duas amostras de solo para análise química. A primeira amostra foi da subcamada de 0-10 cm de profundidade, e a segunda de 10-20 cm de profundidade. Para composição de cada amostra foram coletadas 12 sub-amostras, sendo que os pontos de amostragem foram definidos aleatoriamente através de caminhar na área.

Para definição da adubação de base utilizou-se como critérios a interpretação da análise de solo da camada de 0-10 cm e as necessidades da cultura (TOMM et al., 2009), a qual indicou o uso de 16,2 kg de nitrogênio, 64,8 kg de fósforo e 48,6 kg de potássio por hectare. Foram adicionados ainda 9,2 kg de enxofre, 0,081 kg de boro, 0,27 kg de zinco e 0,015 kg de molibdênio por hectare. A adubação de base foi realizada com semeadora, modelo SHP, da marca Semeato, com espaçamento entre linhas de 0,34 m.

A semeadura da canola nas três datas foi realizada com uma semeadora protótipo, desenvolvida pela Embrapa Trigo especificamente para a cultura da canola. A distribuição das sementes foi realizada no sulco onde anteriormente foi depositado o fertilizante NPK de base. Portanto, o espaçamento entrelinhas foi de 0,34 m, sendo que o equipamento foi regulado de forma a distribuir sementes a fim de obter 40 plantas por metro quadrado.

A adubação de cobertura foi realizada nas três datas de semeadura da canola. O parcelamento desta adubação foi realizado em duas vezes com intuito de maximizar o

aproveitamento dos nutrientes aplicados pelas plantas de canola. Assim, a quantidade de fertilizante aplicado seguiu as indicações de Tomm et al. (2009) e as necessidades da cultura.

Em cada uma das datas de semeadura foram realizadas duas aplicações de fertilizante. Na primeira aplicação foram usados 60 kg de N por hectare na forma de ureia, que foram distribuídos uniformemente em cada uma das unidades experimentais. E na segunda aplicação foram usados 40 kg de N e 45 kg de S por hectare na forma de sulfato de amônio.

Os demais tratos culturais, como controle de plantas invasoras e controle de insetos foram realizados de acordo com a necessidade e seguindo as indicações para a cultura (TOMM et al., 2009).

#### 3.1.4 Distribuição de palha na superfície do solo

Na primeira data de semeadura (23/04/2014) a quantidade média de palha na superfície do solo era de 5.400 kg ha<sup>-1</sup>. Desta forma, no tratamento SSP a palha existente sobre a superfície do solo foi totalmente removida em todas as repetições, de modo que o solo ficasse totalmente desnudo.

Nas unidades experimentais do tratamento CT a palhada em cobertura existente não foi removida e foram adicionados 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de palha de soja que foram distribuídos uniformemente sobre a superfície do solo, totalizando assim 8.400 kg ha<sup>-1</sup> de palha em cada unidade experimental. A palha foi acomodada na superfície do solo manualmente em cada uma das unidades experimentais do tratamento CT de forma que a palhada cobrisse totalmente a superfície do solo. Foi utilizada palha de soja por ser esta a principal cultura anual cultivada nas lavouras do Rio Grande do Sul no verão, representando assim as condições de cobertura do solo da maioria das áreas com cultivo de canola no estado.

No tratamento LSP, a palha existente sobre a superfície do solo foi afastada em, aproximadamente, 5 cm de cada lado da linha de semeadura, resultando num total de 10 cm de solo desnudo. O afastamento da palha foi realizado de forma que a palha retirada da linha de semeadura fosse posicionada nas entrelinhas de plantas, sem retirar a palhada já existente na unidade experimental. Além disso, nas entrelinhas das plantas foram adicionados 1.500 kg ha<sup>-1</sup> de palha de soja, totalizando assim 6.900 kg ha<sup>-1</sup> de palha em cada unidade experimental. No tratamento CS a interferência sobre a cobertura do solo foi gerada somente pela passagem da semeadora adubadora, no momento da adubação, e posteriormente pelo protótipo de

semeadora. Neste tratamento não foi adicionada palha na superfície do solo, portanto a quantidade média de palhada foi  $5.400 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Na segunda e terceira datas de semeadura a distribuição de palha seguiu a mesma metodologia da primeira data de semeadura, porém foram necessários alguns ajustes, principalmente no que se refere à quantidade de palha distribuída, visto que, em função da decomposição natural da palhada existente sobre o solo, a cobertura por palha existente no momento da aplicação dos tratamentos era diferente entre as datas de semeadura. Assim, no dia em que foi realizada a semeadura da segunda data (29/05/2014) existia  $3.300 \text{ kg ha}^{-1}$  de palha sobre a superfície do solo, ou seja, quantidade de  $2.100 \text{ kg ha}^{-1}$  menor que na primeira data de semeadura. Portanto, para os tratamentos CT e LSP foi necessário aumentar a quantidade de palha distribuída sobre o solo. Na segunda data de semeadura, no tratamento CT foram distribuídos  $4.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de palha de soja na superfície do solo, enquanto que no tratamento LSP foram distribuídos  $2.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de palha de soja nas entrelinhas, adicionalmente ao que já existia sobre o solo. Para a terceira data de semeadura (16/07/2014) não foi realizada quantificação da cobertura de palha existente previamente à distribuição da palhada, porém, constatou-se visualmente que a quantidade de palha na superfície do solo era menor daquela existente quando realizada a semeadura em 29/05/2014. Assim, na terceira data de semeadura foram adicionados  $5.700 \text{ kg ha}^{-1}$  de palha de soja no tratamento CT e  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de palha de soja no tratamento LSP.

### 3.1.5 Avaliação da cobertura de palha

A avaliação da cobertura do solo por resíduos vegetais foi feita através do método da corda seccionada, proposto por Sloneker e Modenhauer (1977). Com um cordão esticado sobre a superfície do solo (cerca de 10 cm de altura), com pontos marcados no mesmo, equidistantes em 5 cm entre si, marcaram-se cerca de 250 pontos em cada unidade experimental, onde logo abaixo de cada ponto visualizou-se a existência ou ausência de cobertura do solo por palha. Em função do total de pontos coletados e do número de pontos em que foi considerada existência de cobertura do solo por palha, obteve-se a porcentagem de solo com cobertura de palha (Apêndice T). Na primeira data de semeadura a avaliação foi realizada no dia 15/05/2014, na segunda data de semeadura a avaliação foi em 11/07/2014 e

na terceira data foi em 15/08/2014. Foi realizada uma avaliação em cada uma das unidades experimentais de todos os tratamentos de cobertura da superfície do solo.

## **3.2 Avaliações em plantas**

### 3.2.1 Avaliações fenológicas

A determinação dos estádios fenológicos para caracterização do desenvolvimento da canola foi realizada durante o ciclo da cultura, duas a três vezes por semana, através da observação da data de ocorrência dos estádios de desenvolvimento da cultura. Foram seguidos os critérios estabelecidos pelo CETIOM (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux et du Chanvre) e que estão descritos na Tabela 1. Como critério de mudança de estágio fenológico foi considerado aquele em que 50% das plantas da unidade experimental se encontravam.

### 3.2.2 Avaliações fenométricas

#### 3.2.2.1 Altura de plantas

A altura de plantas foi determinada durante todo o experimento, por meio de régua graduada em centímetros. Para obter a média de cada unidade experimental foram realizadas sete medições de altura de plantas, sendo que foram seguidas as indicações de Cargnelutti Filho e Gonçalves (2011), que afirmam ser este o número de leituras para garantir precisão adequada.






Estádio	Caracterização	Subperíodo
S	Semeadura	PLANTULA 
A	Cotilédones visíveis (emergência)	
B1	Uma folha verde visível	
B2	Duas folhas verdes visíveis	
B3 a B6	Três a seis folhas visíveis	ROSETA
C1	Aparecimento de folhas novas (final de Roseta)	
C2	Entre-nós visíveis e vestígios de ramificações secundárias	ALONGAMENTO
D1	Inflorescência visível	
D2	Botão coberto com inflorescências secundárias visíveis	
E	Botão separado	
F1	Primeiras flores abertas (início do florescimento)	FLORESCIMENTO
F2	Alongamento ramo principal, várias flores abertas	
G1	Queda de pétalas, 10 primeiras síliquas com 2 cm	
G3	Síliquas com mais de 4 cm	
FF	Final do florescimento	MATURACÃO
G4	10% das síliquas com grãos com coloração escura	
G5	90% das síliquas com grãos com coloração escura	

Figura 2 - Estádios fenológicos da canola, adaptado de CETIOM, 2004 (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux et du Chanvre).

Fonte: Adaptado de Iriarte e Valetti, (2008).

### 3.2.2.2 Área foliar

A determinação da área foliar da canola foi realizada nas três datas de semeadura da canola, com planímetro eletrônico ótico LICOR, modelo LI-3100. A determinação foi feita quinzenalmente, a partir da emergência das plantas, utilizando duas plantas por unidade experimental, coletadas de forma aleatória e cortadas ao nível do solo. Em seguida, as folhas foram destacadas das plantas e através do planímetro cada folha teve sua área foliar medida.

### 3.2.3 Morte de plantas por geada

A morte de plantas provocada pela ocorrência de geada na cultura da canola foi avaliada a partir da emergência das plantas até aproximadamente 50 dias após a emergência

(DAE), coincidindo com o estádio D2 da escala do Centro Técnico Inter Profissional de Oleaginosas e Cânhamo (CETIOM, 2004).

As avaliações consistiram na contagem do número de plantas antes e após ocorrência de geadas, em um metro de uma linha de plantas, em cada uma das parcelas. A contagem de plantas vivas antes da ocorrência de geada foi realizada um dia antes do fenômeno. Em seguida, após a ocorrência de geada, foram realizadas contagens de plantas aos sete e quinze dias após a mesma. Nas avaliações foram contadas o número de plantas vivas. Assim, com a relação entre plantas vivas antes da geada e plantas vivas depois da geada calculou-se a porcentagem de sobrevivência de plantas.

Foram realizadas avaliações de sobrevivência de plantas para as geadas de 24/05/2014 e 03/06/2014 na primeira data de semeadura. Na segunda data de semeadura foram realizadas avaliações em 19 e 20/06/2014, 19/07/2014, 26 e 27/07/2014 e na terceira data de semeadura foram feitas avaliações em 14/08/2014 e 28/08/2014.

### **3.3 Variáveis ambientais**

Durante o ciclo da cultura foram realizadas medições de variáveis ambientais e micrometeorológicas, no dossel de plantas e sobre o mesmo. Estas medições foram realizadas antes, durante e após a ocorrência de geada, sendo que os sensores foram instalados logo após a implantação da cultura e permaneceram durante todo o experimento no campo.

Os dados de variáveis ambientais foram coletados durante todo o experimento, mesmo em dias sem ocorrência de geadas, sendo que sempre em dias anteriores à geadas todos os sensores foram revisados quanto a seu funcionamento, e se necessário foram realizados ajustes para que em dias frios funcionassem adequadamente e se mantivessem corretamente posicionados. Os sensores utilizados no experimento estão relacionados na Tabela 1.

A definição de datas com provável ocorrência de geada ocorreu através da análise dos boletins meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e do Instituto Meteorológico da Noruega (YR.NO).

Neste trabalho, os dados das variáveis ambientais para as datas 24/05/2014, 03/06/2014, 19/06/2014, 26/07/2014 e 27/07/2014 são apresentados para o período de 05h00min a 07h30min. Na noite de 19/06/2014 e madrugada de 20/06/2014 houve formação



de nevoeiro, assim são apresentados os dados das variáveis ambientais para o período de 18h00min a 08h00min para caracterização de uma noite fria e que não houve formação de gelo na superfície.

A madrugada de 14/08/2014 foi a mais fria do ano 2014, portanto são apresentados os dados de 00h00min a 08h00min. Estes períodos foram selecionados porque a análise do período com maior intensidade de resfriamento é a que melhor caracteriza e esclarece qual o tratamento de cobertura do solo que reduz o resfriamento do ar e das plantas jovens de canola.

Tabela 1 - Sensores utilizados no experimento com três datas de semeadura de canola. Coxilha-RS, 2014.

Sensor	Modelo	Quantidade
Datalogger	CR 1000	4
Multiplexador	AM 16/32B	4
Painel solar	-	2
Sensor capacitivo	HC2S3	4
Placa de fluxo de calor no solo	HFP01	16
Sonda TDR	CS 616	8
Saldoradiômetro	NR-LITE2	4
Barra de radiação	-	8
Sensor Infravermelho	SI-111	4
Anemômetro	Windsonic1	4
Sensor Quantum	SQ 110	1
Sensor de molhamento foliar	LWS	8
Termopar	"T"	40

### 3.3.1 Saldo de radiação

O saldo de radiação sobre ( $R_n$ ) o dossel de plantas foi medido com saldoradiômetros (marca kipp & Zonen), modelo NR-LITE 2. Foi instalado um saldoradiômetro em uma unidade experimental de cada um dos tratamentos, que foi posicionado no centro da parcela, a 1,0 metros de altura acima do dossel de plantas, sendo estes deslocados conforme o crescimento das plantas, de forma a manter a distância de 1 metro entre o dossel e o sensor. A coleta de dados foi realizada a cada 30 segundos e a média armazenada a cada 5 minutos, em datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000). As medições do  $R_n$  na primeira data de semeadura foram realizadas desde a semeadura até o estágio de C2 da canola.

Na segunda data de semeadura os saldoradiômetros foram instalados quando as plantas apresentavam-se no estádio A e permaneceram até o final do ciclo da cultura. Assim como na primeira data de semeadura, foi instalado um saldoradiômetro em uma unidade experimental de cada um dos tratamentos, posicionado no centro da parcela que foi mantido a 1,0 metros de altura do dossel de plantas, sendo deslocado conforme o crescimento de plantas. A coleta dos dados de Rn foi realizada a cada 30 segundos e a média armazenada em datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000) a cada 15 minutos. O aumento no intervalo para armazenamento das médias para 15 minutos teve o intuito de diminuir as flutuações nos valores médios de Rn, armazenados a cada 5 minutos na primeira data de semeadura.

Os resultados de Rn apresentados são referentes ao intervalo de tempo de datas com ocorrência de geada em que a temperatura do ar apresentou os valores mais baixos. Desta forma, são apresentados os resultados do período de 05h00min até 07h30min dos dias 24/05/2014 e 03/06/2014 (primeira data de semeadura) e 19/06/2014, 20/06/2014, 26/07/2014 e 27/0/2014. Para a data 14/08/2014 (segunda data de semeadura) é apresentado o Rn do período de 00h00min até 07h00min. Os resultados de Rn são exibidos para cada um dos tratamentos de cobertura do solo com intervalo de 15 minutos.

Nas avaliações realizadas na primeira data de semeadura, no dia 24/05 as plantas encontravam-se em estádio B5 (cinco folhas desenvolvidas), enquanto no dia 03/06/2014 já estavam em estádio C1 (aparecimento de folhas novas, final da fase de roseta). Na segunda data de semeadura, em 19/06/2014 as plantas estavam em B1, ou seja, com uma folha desenvolvida. Em 26/07/2014 e 27/07/2014 as plantas de canola se encontravam em C2, enquanto na data de 14/08/2014 estavam em estádio D2.

### 3.3.2 Temperatura de folhas

#### 3.3.2.1 Temperatura de folhas medidas com termopares

A medição da temperatura das folhas, na primeira data de semeadura, iniciou-se no dia 23/05, quando as plantas se encontravam em estádio B5 e terminou em 10/06, com as plantas no estádio C2. Enquanto isso, na segunda data de semeadura as medições de temperatura de folhas iniciaram-se em 18/06, com as plantas em estádio B1, e terminaram em 20/08 quando

as plantas estavam em E. A leitura de temperatura foliar foi realizada durante todo o experimento, mesmo quando não havia condições para formação de geada.

Para as determinações de temperatura foram utilizados termopares de cobre-constantan (Tipo T) de 0,15 mm de espessura e 0,5 metros de comprimento, que foram conectados em fios de termopar de 0,5 mm de diâmetro e 5 metros de comprimento para formar a conexão até o datalogger. A junção do cobre com o constantan dos termopares de 0,15 mm de espessura foi instalada internamente na nervura principal de folhas desenvolvidas e completamente expostas. A fiação dos termopares foi presa com prendedores junto ao pecíolo das folhas para evitar que a trepidação provocada por intempéries deslocasse o elemento sensor do termopar e o mesmo se desprendesse da nervura principal. Os sensores foram instalados em diferentes plantas de canola em uma unidade experimental de cada um dos tratamentos, localizadas no centro do experimento, para minimizar o efeito de bordadura. Em função do desenvolvimento das plantas, os termopares foram periodicamente trocados de folha, para que os mesmos se mantivessem em folhas totalmente expostas a céu aberto durante as noites com ocorrência de geada.

A coleta dos dados de temperatura de folhas foi feita a cada 30 segundos e a média foi armazenada a cada 5 minutos em datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000) que possuía um multiplexador (modelo AM 16/32B) acoplado.

Os resultados de temperatura de folhas apresentados são referentes a datas com ocorrência de geada, e no período de tempo em que a temperatura do ar apresentou os valores mais baixos. Na primeira data de semeadura são apresentados dados de temperatura de folhas dos quatro tratamentos de cobertura do solo no período de 05h00 até 07h30min. Para a data 24/05/2014 a média de temperatura de folhas do tratamento SSP foi obtida a partir de 3 termopares, do tratamento CT de 2 termopares, do tratamento CS de 2 termopares e do tratamento LSP de 4 termopares. Em 03/06/2014 a média da temperatura das folhas foi obtida dos valores de 3 termopares em SSP, de 4 termopares em CT, de 2 termopares em CS e de 4 termopares em CS.

Na segunda data de semeadura, a medição da temperatura das folhas na data de 19/06/2014 foi realizada em outra posição nas plantas, quando foram instalados termopares no centro da roseta de duas plantas, em uma das unidades experimentais de cada um dos tratamentos. Para a noite de 19/06/2014 e 20/06/2014 é apresentado o período de 18h00min a 08h00min dos tratamentos SSP, CT e CS, quando a média de temperatura das folhas foi obtida de dois termopares em cada tratamento.

Em 26/07/2014 a medição da temperatura das folhas foi realizada na segunda data de semeadura em 3 folhas no tratamento SSP, em 2 folhas no tratamento CT, em 4 folhas no tratamento CS e em 4 folhas no tratamento LSP, sendo apresentados os dados de 05h00min até 07h30min. Enquanto no dia 27/07/2014 foram realizadas medições em 3 folhas em SSP, em 3 folhas em CT, em 3 folhas em CS e em 4 folhas em LSP, sendo apresentados os dados de temperatura das folhas para cada um dos tratamentos para o período de 05h00min até 07h30min. Para o dia 14/08/2014 foi realizada medição da temperatura de 4 folhas em SSP, de 4 folhas em CT, de 4 folhas em CS e de 3 folhas em LSP, sendo apresentados os resultados para o período de 00h00min até 08h00min.

Em todas as datas avaliadas são apresentados valores médios de temperatura das folhas para cada um dos tratamentos e com intervalo de 5 minutos. Nas avaliações realizadas na primeira data de semeadura, no dia 24/05 as plantas encontravam-se em estágio B5 (cinco folhas desenvolvidas), enquanto no dia 03/06/2014 já estavam em estágio C1 (aparecimento de folhas novas, final da fase de roseta). Na segunda data de semeadura, em 19/06/2014 as plantas estavam em B1, ou seja, com uma folha desenvolvida. Em 26/07/2014 e 27/07/2014 as plantas de canola se encontravam em C2, enquanto na data de 14/08/2014 estavam em estágio D2.

### 3.3.2.2 Temperatura de folhas medida com termômetro por Infravermelho

As avaliações de temperatura da superfície das folhas por termometria infravermelha foram feitas em noites com a ocorrência de geada, com termômetro infravermelho portátil de marca Ultimax, modelo UX – 40, considerando como coeficiente de emissividade o valor de 0,98 para as folhas da canola.

Assim, no dia 14/08 a avaliação de temperatura das folhas aconteceu na terceira data de semeadura, quando as plantas estavam em estágio fenológico B3. No centro de cada uma das unidades experimentais foi marcado um metro linear de plantas, e nas plantas localizadas neste espaço foram realizadas as medições de temperatura de folhas. As avaliações foram realizadas no fim da madrugada, quando a temperatura do ar apresentou os valores mínimos. A primeira leitura foi realizada as 04h00min da madrugada e as seguintes foram feitas de meia em meia hora até as 08h00min da manhã, quando foi feita a última avaliação. Para cada uma das baterias de avaliações foram necessários aproximadamente 20 minutos e em cada um

dos horários e em cada unidade experimental foi avaliada a temperatura da superfície de três folhas totalmente expostas às perdas radiativas. Foram escolhidas folhas expostas porque estas apresentam o máximo resfriamento possível em dias frios, e por estarem expostas todas apresentam a mesma condição de resfriamento.

### 3.3.3 Temperatura do solo

Nos tratamentos com diferentes formas de distribuição de palha em superfície a temperatura do solo foi medida com termopares de cobre-constantan (Tipo T) de 0,5 mm de espessura e 5 metros de comprimento, que foram instalados a 2, 5 e 10 cm de profundidade. Os termopares foram posicionados a 5 cm da linha de plantas e distanciados em 5 cm entre si, próximos ao centro da unidade experimental. Na primeira data de semeadura a coleta de dados se iniciou em 26/04 (antes da emergência das plantas) e prosseguiu até o dia 10/06 (as plantas estavam em C2). Na segunda data de semeadura a coleta de dados iniciou-se em 12/06 (as plantas estavam em estádio A) e prosseguiu até o fim do ciclo da cultura.

Os dados de temperatura do solo (em °C) foram coletados a cada 30 segundos e as médias foram armazenadas a cada 5 minutos em datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000) que possuía um multiplexador acoplado (modelo AM 16/32B).

Os resultados de temperatura do solo são apresentados para os diferentes tratamentos de cobertura do solo, com médias em intervalos de 5 minutos para a profundidade de 2 cm. Os resultados são apresentados para a profundidade de 2 cm em função de que com o aumento da profundidade, a temperatura do solo tende a ser menos influenciada pela cobertura na superfície e assim apresentando mínimo efeito sobre as condições microclimáticas junto às plantas. Desta forma, são apresentados os resultados para temperatura do solo no período de ocorrência das menores temperaturas do ar nos dias com geada, sendo apresentados os resultados de temperatura do solo para 24/05/2014 e 03/06/2014 (primeira data de semeadura) e 19/06/2014, 26/07/2014, 27/07/2014 e 14/08/2014 (segunda data de semeadura).

Nas avaliações realizadas na primeira data de semeadura, no dia 24/05 as plantas encontravam-se em estádio B5 (cinco folhas desenvolvidas), enquanto no dia 03/06/2014 já estavam em estádio C1 (aparecimento de folhas novas, final da fase de roseta). Na segunda data de semeadura, em 19/06/2014 as plantas estavam em B1, ou seja, com uma folha

desenvolvida. Em 26/07/2014 e 27/07/2014 as plantas de canola se encontravam em C2, enquanto na data de 14/08/2014 estavam em estádio D2.

### 3.3.4 Temperatura e umidade relativa do ar

A temperatura e a umidade relativa do ar foram medidas com sensores capacitivos, de modelo HC2S3, conjugados em miniabrigos. Os sensores foram instalados no centro de uma unidade experimental de uma repetição de cada um dos tratamentos, localizadas no centro do experimento. Os sensores foram instalados de modo que ficassem a 0,27 metros acima da superfície do solo.

Na primeira data de semeadura as medições iniciaram no dia 26/04 (plantas ainda não emergidas) e prolongaram-se até o dia 10/06 (plantas no estádio C1). Já na segunda data de semeadura as avaliações iniciaram no dia 12/06 (plantas no estádio A) e prosseguiram até o fim do ciclo da canola.

Os sensores capacitivos foram conectados a datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000), que possuía um multiplexador de canais (modelo AM 16/32B) acoplado. Tanto na primeira como na segunda data de semeadura a coleta de dados de temperatura do ar foi realizada a cada 30 segundos e a média armazenada a cada 5 minutos, e estas médias foram armazenadas no datalogger. Para a umidade relativa do ar foram coletadas amostras a cada 5 minutos que foram armazenadas em datalogger.

### 3.3.5 Velocidade e direção do vento

A velocidade (em  $\text{m s}^{-1}$ ) e direção do vento (em “°”) foram medidas com anemômetros sônicos de modelo WINDSONIC1-L34. Na primeira data de semeadura os sensores foram instalados no centro de uma unidade experimental de uma repetição de cada um dos tratamentos. Os anemômetros foram instalados a 1 metro acima da superfície do solo, de modo que a direção de 0° do vento correspondesse ao Norte verdadeiro. As leituras iniciaram-se em 26/04/2014 (as plantas ainda não haviam emergido) e prosseguiram até o dia 10/06 (plantas em estádio C1). Foram coletadas amostras de velocidade e direção do vento a cada 30

segundos que foram armazenados em datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000), que possuía um multiplexador de canais (modelo AM 16/32B) acoplado.

Na segunda data de semeadura foram instalados dois anemômetros a 1 metro de altura do solo, no centro de uma das unidades experimentais dos tratamentos CT e SSP de modo que a direção de 0° do vento correspondesse ao Norte verdadeiro. Esses equipamentos foram instalados em datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000), que possuía um multiplexador de canais (modelo AM 16/32B) acoplado. A instalação dos sensores foi realizada em 10/06 e permaneceram realizando leituras até 10/07, sendo que foram coletadas amostras de velocidade e direção do vento a cada 30 segundos e estes dados armazenados no datalogger.

Após 10/07 os quatro anemômetros foram instalados em quatro diferentes níveis de altura vertical em relação ao solo. Os sensores foram presos em uma torre em a 0,20, 1,0, 1,7 e 2,5 metros de altura do solo de forma que a posição de 0° correspondesse ao norte verdadeiro. As leituras prosseguiram até o fim do ciclo da canola, sendo coletadas amostras de velocidade e direção do vento a cada 10 segundos e os dados armazenados em datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000).

### 3.3.6 Temperatura da superfície

A temperatura da superfície (Tifvr) dos tratamentos de cobertura do solo foi medida por sensores de termometria por infravermelho de modelo SI-111. Foi instalado um sensor em uma unidade experimental de cada um dos tratamentos de forma que sua área de leitura abrangesse aproximadamente 0,5 m<sup>2</sup>, ou seja, com diâmetro de 0,8 metros e inclinação de 45° em relação à superfície do solo. O posicionamento dos sensores foi realizado de modo que no centro de sua área de leitura ficasse posicionada uma linha de plantas. Na primeira data de semeadura as avaliações iniciaram em 26/04/2014 (as plantas ainda não haviam emergido) e prosseguiram até o dia 10/06 (plantas em estágio C1). Foram coletadas amostras de Tifvr a cada 30 segundos, e a média foi armazenada em datalogger a cada 2 minutos (marca Campbell, modelo CR 1000), que possuía um multiplexador de canais (modelo AM 16/32B) acoplado. Na segunda data de semeadura a coleta de dados de Tifvr também foi feita a cada 30 segundos, porém a média foi armazenada a cada 5 minutos em datalogger (marca Campbell, modelo CR 1000).

### **3.4 Análise dos resultados**

Os dados coletados das variáveis altura de plantas, área foliar, sobrevivência de plantas e temperatura de folhas medidas com termômetro infravermelho portátil foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Condições meteorológicas do período experimental**

Na Tabela 2 são mostrados os valores para diferentes variáveis ambientais e a sua correlação com os valores da normal climatológica de 1961 a 1990. O uso da correlação de Pearson permite verificar se as diferentes variáveis ambientais medidas durante o experimento seguiram a média das séries históricas para a região. Portanto, para as variáveis temperatura máxima, mínima e média do ar as correlações foram positivas e significativas. Isso significa que as variáveis térmicas, no ano de 2014 seguiram a condição climatológica da região. Enquanto isso, a correlação para a precipitação pluvial e a radiação solar global não foram significativas, indicando assim, que a precipitação pluvial e a radiação solar global, durante o período experimental, apresentaram condição distinta da normal climatológica da região.

Apesar dos valores de temperatura do ar do ano de 2014 apresentarem elevada correlação com a normal climatológica, a média de temperatura mínima do ar decenal foi relativamente mais alta, o que é um indicativo que o ano de 2014 foi mais quente do que a média do período de 1961 a 1990. Além disso, a média de precipitação pluviométrica para 2014 foi maior do que a normal climatológica, o que pode ser associado com a menor radiação solar global que foi encontrada no mesmo período.

Segundo Grodzki et al. (1996) a ocorrência de temperatura mínima do ar de 3 °C, ou menos, no abrigo meteorológico pode ser relacionada à ocorrência de geada. Considerando isso, no ano de 2014 foram registradas 8 geadas na estação meteorológica do município de Passo Fundo (RS), sendo as seguintes datas: 24/05/2014, 19/06/2014, 20/06/2014, 19/07/2014, 26/07/2014, 27/07/2014, 14/08/2014 e 28/08/2014. Portanto, o número de geadas em 2014 foi abaixo da normal climatológica para o município, que são 14 geadas anuais (CUNHA, 2003).

Tabela 2 - Estatísticas descritivas e correlação de Pearson para temperatura máxima do ar (Tmax), temperatura média do ar (Tmed) e temperatura mínima do ar (Tmin), precipitação pluvial (Prec. Pluvial) e Radiação solar global (Rg) decendial, de abril a novembro de 2014 e as médias climatológicas de 1961 a 1990. Passo Fundo - RS, 2014.

Ano	Temperatura do ar (°C)			Prec. Pluvial (mm)	Rg MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>
	Tmax	Tmed	Tmin		
<b>Média</b>					
2014	26,53	16,63	8,28	61,6	13,40
1961-1990	26,66	15,58	6,81	50,3	13,70
<b>Desvio padrão</b>					
2014	3,60	2,37	2,92	38,9	3,05
1961-1990	2,07	2,11	2,25	10,0	0,21
<b>Coeficiente de variação (%)</b>					
2014	13,58	14,26	35,22	63,1	22,8
1961-1990	7,79	13,54	33,07	19,9	1,52
<b>Coeficiente de correlação de Pearson</b>					
2014	<b>0,86***</b>	<b>0,89***</b>	<b>0,78***</b>	<b>0,04<sup>ns</sup></b>	<b>-0,44<sup>ns</sup></b>

\*\*\* Correlação de Pearson significativa a 1% pelo teste t; <sup>ns</sup> Correlação de Pearson não significativa a 1% pelo teste t.

No dia 03/06/2014 a temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico foi 3,1 °C. Porém, como este valor é próximo ao limite térmico para considerar-se ocorrência de geada e a estação meteorológica localizar-se a 9 quilômetros (Km) da área experimental, a data de 03/06/2014 foi incluída nas avaliações. Além disso, na área experimental a temperatura mínima do ar foi 1,59 °C para 03/06/2014.

Assim, na tabela 3 é apresentada a temperatura mínima do ar encontrada no abrigo meteorológico (1,5 m de altura do solo) e na área experimental (0,27 metros de altura do solo). A Tabela 4 indica que nos dias 19/06/2014 e 14/08/2014 ocorreram as duas geadas com maior intensidade durante o período de realização dos experimentos. Portanto, como as geadas que ocorreram nestas datas foram as que tiveram maior intensidade de frio, e considerando os objetivos do trabalho, definiu-se por fazer avaliação mais detalhada nestas datas. Aliado a isso, na geada de 19/06/2014 as plantas na segunda data de semeadura estavam em estágio fenológico B1 e em 14/08/2014 as plantas da terceira data de semeadura encontravam-se em B3, ou seja, em momentos em que a canola apresenta alta sensibilidade a danos por frio (ROBERTSON; HOLLAND, 2004; McCLINCHEY; KOTT, 2008; DALMAGO et al., 2010). Além disso, nas datas de 24/05/2014, 03/06/2014, 19/07/2014, 26/07/2014, 27/07/2014 e 28/08/2014 foi realizada avaliação de sobrevivência de plantas após as geadas, e em nenhuma das datas se constatou morte de plantas provocada pela ocorrência de frio.

Tabela 3 - Temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico, temperatura mínima do ar a 27 cm de altura do solo na área experimental e diferença entre a temperatura do ar registrada no abrigo meteorológico e na área experimental. Coxilha-RS, 2014.

Data	Temperatura mínima do ar (abrigo meteorológico) (°C)	Temperatura mínima do ar (27 cm do solo) (°C)	Diferença entre abrigo meteorológico e 27 cm do solo (°C)
24/mai	2,50	0,56	1,94
03/jun	3,10	1,59	1,51
19/jun	1,10	-0,41	1,51
20/jun	2,40	1,63	0,77
19/jul	2,70	1,12	1,65
26/jul	2,10	-0,33	2,43
27/jul	2,40	1,23	1,17
14/ago	-1,00	-3,31	2,31
28/ago	2,10	-0,56	2,66

Na primeira data de semeadura nas geadas de 24/05/2014 e 03/06/2014 as plantas encontravam-se em estágio B5 e C2, respectivamente. Em 19/07/2014, as plantas da segunda data de semeadura estavam em estágio C1, enquanto em 26 e 27/07/2014 encontravam-se em estágio C2. E na terceira data de semeadura as plantas estavam em estágio fenológico B5 na geada de 28/08/2014. Portanto, em todas estas geadas a canola encontrava-se em estádios de desenvolvimento com relativa tolerância a danos provocados por baixas temperaturas do ar (THOMAS, 2003; DALMAGO et al., 2010).

Também, as geadas de 24/05, 03/06, 20/06, 19/07, 26/07, 27/07 e 28/08 foram muito semelhantes quanto à sua intensidade, e principalmente em relação à resposta das variáveis ambientais e micrometeorológicas medidas dentro de cada data de semeadura. Como na geada de 19/07 as plantas de canola da segunda data de semeadura estavam no mesmo estágio fenológico que na geada de 03/06 na primeira data de semeadura (estádio C1), e alguns sensores apresentaram defeito, não foi possível realizar a caracterização da geada de 19/07 para a segunda data de semeadura. No dia 28/08 não foram realizadas medições de variáveis micrometeorológicas na terceira data de semeadura, que estava em estágio fenológico B5 (o mesmo na geada de 24/05/2014), pois os equipamentos estavam instalados na segunda data de semeadura, porém em estágio fenológico que não condiz com os objetivos deste trabalho, assim decidiu-se não realizar a caracterização de 28/08. Desta maneira, dentre as datas com intensidade de geada mais fraca do que em 19/06 e 14/08 (considerando os dados de

temperatura do ar do abrigo meteorológico) foram caracterizadas as geadas de 24/05, 03/06, 20/06, 26/07 e 27/07.

#### **4.2 Variáveis ambientais antes da ocorrência da geada**

A aclimação ao frio pode ser descrita como um processo no qual as plantas são expostas a temperatura baixa do ar, mas não congelante, que promove o aumento da tolerância ao frio pelos vegetais (FOWLER; LIMIN; RITCHIE, 1999; THOMASHOW, 1999). Assim, a avaliação da temperatura do ar no período anterior à ocorrência de geada é importante porque a aclimação ao frio pelas plantas influencia o menor ou maior dano causado por baixas temperaturas do ar nas plantas de canola, caso tenham passado ou não por períodos de aclimação (DALMAGO et al., 2010).

No apêndice A é exibida a temperatura e umidade relativa do ar para o período que antecede a geada que ocorreu em 24/05/2014, sendo apresentado o intervalo de dias de 18/05/2014 a 24/05/2014. Assim, no período de 18/05/2014 a 20/05/2014 não ocorreram temperaturas do ar abaixo de 15 °C, que é considerada a temperatura do ar na qual se inicia a aclimação ao frio pela canola, conforme citado por Rife e Zenaili (2003), a não ser por curtos períodos de tempo durante a noite, quando a temperatura do ar chegou à mínima de 12 °C. Logo após o período em que ocorreu precipitação pluvial (dias 21 e 22/05), a temperatura do ar foi baixa a ponto de promover algum grau de aclimação nas plantas, com temperatura média do ar no dia 22/05 de 14,5 °C e no dia 23/05 foi 8,3 °C. Portanto, em período anterior à geada que ocorreu em 24/05/2014 as plantas de canola passaram por apenas algumas horas com temperatura do ar com potencial de aclimação. No entanto, a cultura estava em estágio B5, que é considerado relativamente tolerante a danos provocados por baixas temperaturas do ar (THOMAS, 2003; DALMAGO et al., 2010).

No apêndice D são apresentados os dados de temperatura e umidade relativa do ar para o período de 29/05/2014 a 03/06/2014, que antecede a geada em 03/06/2014. Em 29/05/2014 e 30/05/2014, a temperatura do ar foi durante grande parte do tempo abaixo de 15 °C, ou seja, com potencial de promover a aclimação ao frio na canola (RIFE; ZENAILI, 2003), sendo que durante os dias com precipitação pluvial, a temperatura do ar foi sempre na faixa entre 13 a 15 °C. Portanto, previamente a geada em 03/06/2014, as plantas de canola passaram por temperatura do ar com potencial de aclimação ao frio. Além disso, em 02/06/2014 a

temperatura do ar foi baixa, mas não ocorreu formação de cristais de gelo na superfície. A ocorrência de temperaturas baixas, provavelmente, fez com que as plantas de canola aumentassem sua tolerância ao frio e não sofressem danos. Além disso, é importante ressaltar que neste momento as plantas já se encontravam em estágio C1, quando as mesmas já possuem tolerância maior a danos por frio (DALMAGO et al., 2010).

Na segunda data de semeadura a primeira geada ocorreu em 19/06/2014, quando as plantas estavam no início do desenvolvimento, especificamente em estágio B1, fase em que a cultura apresenta grande suscetibilidade a danos provocados por geadas (McCLINCHEY; KOTT, 2008; DALMAGO et al., 2010), enquanto as plantas da primeira data de semeadura se encontravam em D2. No período compreendido entre 14/06/2014 a 17/06/2014 (Apêndice G) ocorreram precipitações pluviais todos os dias, com a temperatura do ar mantendo-se praticamente todo o período avaliado, acima de 15 °C. Quando a precipitação pluvial cessou, no dia seguinte a temperatura do ar baixou rapidamente, em função da entrada de massa de ar polar, e em seguida, no dia 19/06/2014, ocorreu geada. Desta forma, para a geada ocorrida em 19/06/2014, às plantas de canola, na segunda data de semeadura, além de encontrarem-se em estágio fenológico suscetível a danos por geadas, não passaram por temperaturas do ar com potencial para aclimação. Portanto, as plantas, nesta data, apresentavam alta suscetibilidade a danos por frio, seja pela sensibilidade do estágio fenológico, ou pela falta de aclimação a baixas temperaturas do ar. Em 19/06/2014, houve fraca formação de cristais de gelo sobre a superfície, uma vez que essa formação ocorreu principalmente sobre a palha. A menor temperatura do ar registrada foi às 07h25min, com valor de -0,41 °C. Em 20/06/2014 novamente foram registradas baixos valores de temperatura do ar. Além disso, a menor temperatura do ar registrada na área experimental foi 1,62 °C, a 27 cm de altura do solo.

Em 19/07/2014 foi registrada nova ocorrência de temperatura do ar baixa, porém com intensidade que não foi suficientemente grande para causar danos na canola, uma vez que somente em alguns pontos com maior quantidade de palha foi observada formação de gelo, e a menor temperatura do ar registrada foi 1,12 °C a 27 cm de altura do solo.

Em 26/07/2014 e 27/07/2014 ocorreram dias sucessivos com geada, quando a menor temperatura do ar a 27 cm de altura do solo em 26/07/2014 foi -0,31 °C (07h20min) e em 27/07/2014 foi 1,23 °C (07h15min). Dessa forma, no apêndice J são apresentados os dados de temperatura e umidade relativa do ar para o período de dias (22/07/2014 a 27/07/2014) que antecede as geadas em 26 e 27/07/2014. Assim, no dia 23/07/2014, período em que iniciou a ocorrência das precipitações pluviais, em quantidades significativas (Apêndice L), a temperatura do ar foi próxima a 15 °C durante praticamente todo período. No decorrer dos

dias com precipitação pluvial (24/07/2014 e 25/07/2014), e mesmo após o cessar das chuvas e as nuvens se dissiparem, a temperatura do ar manteve-se na faixa entre 5 °C a 12 °C. Portanto, de acordo com Rapacz, Tokarz e Janowiak (2001) e Rife e Zeinali (2003), desde o dia 23/07/2014 os valores de temperatura do ar foram suficientemente baixos para promover a aclimação em plantas de canola, mesmo que por um pequeno período de tempo como este (três dias). Associado a isso, nos dias em que ocorreram as geadas (26 e 27/07/2014), a canola encontrava-se no estágio C2, fase em que os danos por frio na cultura tendem a ser mínimos, ainda mais que as duas geadas não foram intensas, e a canola tenha passado por um período de aclimação.

No apêndice N são apresentados os dados de temperatura e umidade relativa do ar referentes ao período entre 08/08/2014 a 14/08/2014. Desta forma, visualiza-se que previamente a ocorrência de precipitação pluvial (Apêndice N), no dia 08/08/2014 a temperatura do ar esteve entre 5 °C a 18 °C, ou seja, na maior parte do tempo dentro da faixa considerada com potencial para aclimação ao frio (RAPACZ; TOKARZ; JANOWIAK, 2001; RIFE; ZENAILI, 2003). No entanto, com o início das precipitações pluviais em 10/08/2014, e que se prolongaram até 12/08/2014, a temperatura do ar elevou-se e manteve-se na faixa entre 10 °C e 25 °C durante os três dias, com valores de temperatura do ar menores que 15 °C ocorrendo somente em curtos períodos durante a noite. Desta maneira, se houve aclimação das plantas de canola antes da ocorrência da precipitação pluvial (que ocorreu em 10, 11 e 12/08/2014), com a temperatura do ar acima de 15 °C neste período, provavelmente, houve redução na tolerância ao frio pelas plantas. É possível inferir isso porque Rife e Zenaili (2003) verificaram que após um período de sete dias com temperatura do ar elevada as plantas de canola apresentaram significativa redução na tolerância à geada, com nível semelhante aquele encontrado antes da aclimação. Logo após o cessar da precipitação pluvial (12/08/2014), e com o anoitecer, a temperatura do ar baixou rapidamente, atingindo valores próximos a 3 °C na manhã do dia 13/08, e não ultrapassando o valor de 15 °C durante o dia. O resfriamento do ar foi muito intenso ao anoitecer do dia 13/08/2014, quando próximo ao pôr do sol (17h00min) a temperatura do ar foi de 8,5 °C a 27 cm de altura do solo e as 21h00min já se encontrava em 0,24 °C. Enquanto isso, em 14/08/2014 a menor temperatura do ar registrada a 27 cm de altura do solo foi -3,31 °C, registrada as 05h35min. Portanto, na geada de 14/08/2014 além de não passarem por período de aclimação ao frio, as plantas de canola na terceira data de semeadura estavam em estágio B3, ou seja, em fase que as mesmas são suscetíveis a danos provocados por baixas temperaturas. Já na segunda data de semeadura as plantas estavam em estágio fenológico D2, quando as mesmas são relativamente tolerantes a

geadas. As plantas na primeira data de semeadura encontravam-se em estágio G3, quando a ocorrência de geada pode provocar o abortamento de grãos (THOMAS, 2003; McCLINCHEY; KOTT, 2008; DALMAGO et al., 2010). Assim, além da retirada da palha da linha de plantas, a aclimação ao frio previamente à ocorrência de geadas pode reduzir os efeitos das geadas sobre as plantas de canola.

### 4.3 Fenologia e soma térmica

Na primeira data de semeadura o estágio A ocorreu nos dias 02/05/2014 e 03/05/2014 e o estágio D2 aproximadamente em 20/06/2014, sendo que neste período a média diária da temperatura do ar foi 14,01 °C (Figura 3a). Assim, em relação aos tratamentos de cobertura do solo, no período do estágio de desenvolvimento A até D2 no tratamento SSP foram necessários 434 graus dia<sup>-1</sup>, enquanto no tratamento CT foram 434 graus dia<sup>-1</sup>, em CS foram 439 graus dia<sup>-1</sup> e em LSP foram 441 graus dia<sup>-1</sup>.

Na segunda data de semeadura (Figura 3b) o estágio A ocorreu em 10/06/2014 e o estágio D2 ocorreu entre o período de 10 a 15/08/2014 nas unidades experimentais. No intervalo entre os dias 10/06/2014 a 15/08/2014 a temperatura média diária do ar foi 13,2 °C. Nos tratamentos de cobertura do solo, para a canola passar do estágio de desenvolvimento A até D2 foram necessários 527 graus dia<sup>-1</sup> no tratamento SSP, 545 graus dia<sup>-1</sup> em CT, 548 graus dia<sup>-1</sup> em CS e 542 graus dia<sup>-1</sup> em LSP.

Na terceira data de semeadura (Figura 3c), o estágio A ocorreu no dia 28/07/2014, enquanto o estágio D2 foi verificado entre 15/09/2014 a 20/09/2014 nas diferentes unidades experimentais. Nesta data, entre 28/07/2014 e 20/09/2014, a temperatura média do ar foi de

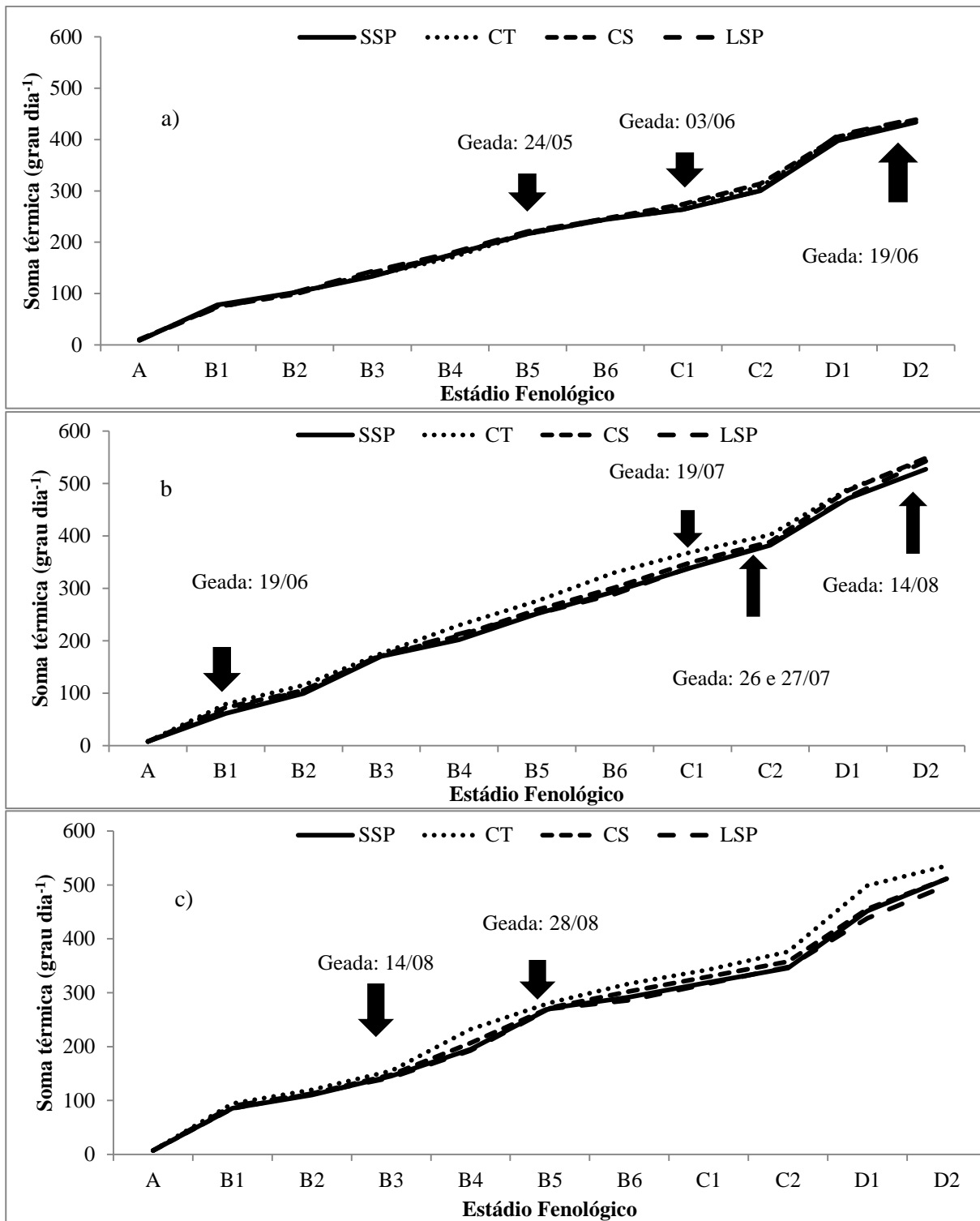


Figura 3 - Soma térmica (grau dia<sup>-1</sup>) dos estádios fenológicos da canola (estádio A até D2) da primeira (23/04/2014) (a), segunda (29/05/2014) (b) e terceira data de semeadura (16/07/2014) (c) em experimento com solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos na superfície (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP). Coxilha-RS, 2014.



14,8 °C. Nos tratamentos de cobertura do solo, em SSP foram necessários 511 graus dia<sup>-1</sup> para a canola passar do estágio A até D2, enquanto em CT houve um acúmulo de 535 graus dia<sup>-1</sup>, em CS foram necessários 511 graus dia<sup>-1</sup> e em LSP foram 499 graus dia<sup>-1</sup>.

Ao comparar-se a média de soma térmica para cada um dos tratamentos nas três datas de semeadura percebe-se que a canola semeada em 23/04/2014 (primeira data de semeadura) necessitou de menos soma térmica para atingir o estágio fenológico D2 do que nas outras datas de semeadura, com 437 graus dia<sup>-1</sup>. Já na segunda data de semeadura (29/05/2014) foram necessários 540 graus dia<sup>-1</sup> para a canola chegar em estágio D2, ou seja, 100 graus dia<sup>-1</sup> a mais que na primeira data de semeadura, enquanto isso, na terceira data de semeadura (16/07/2014) foram necessários 515 graus dia<sup>-1</sup>. Assim como observado por Nied (2013), a maior necessidade térmica para as plantas da segunda data de semeadura foi consequência de acúmulos térmicos mais elevados entre os estágios fenológicos, o que foi determinado pela ocorrência de menores temperaturas do ar no período de 10 de junho a 15 de agosto, período de tempo que compreendeu os estágios A até D2.

#### 4.4 Altura de plantas

A altura de plantas entre os diferentes tratamentos de cobertura do solo não apresentou diferença significativa em 08/05/2014 quando as plantas estavam em estágio fenológico B1 (Tabela 4). Porém, com o desenvolvimento das plantas verificou-se que em estágio fenológico B3 (14/05/2014) em SSP a altura de plantas foi maior, o que está de acordo com o que encontrado por Maciel et al. (2003), que averiguando o efeito da palhada de *Brachiaria decumbens* sobre a cultura da soja, verificaram que a mesma reduziu significativamente a altura das plântulas por conta do efeito físico que a palha exerceu, dificultando o crescimento inicial das plantas.

Por conta da erosão do solo provocada pelo escoamento superficial da água da chuva e deposição do solo junto às plantas, o tratamento SSP apresentou a menor altura de plantas em 23/05/2014. No entanto, nas três avaliações seguintes não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos, o que provavelmente se deve ao alto coeficiente de variação nestas datas, uma vez que o tratamento SSP apresentou valor médio sempre maior que os demais tratamentos. Em 12/06/2014 com a redução do coeficiente de variação e o aumento da diferença de altura de plantas entre os tratamentos devido ao início do

alongamento da haste principal, em SSP, LSP e CS a altura de plantas foi significativamente maior. Ressalta-se que essa resposta do dia 12/06/2014 se deve ao fato de que as plantas no tratamento CT estavam menos desenvolvidas que nos demais tratamentos, com uma defasagem de aproximadamente dois dias. Como a alongação da haste principal é uma fase de rápido incremento em altura, os tratamentos SSP, CS e LSP por estarem em estágio de desenvolvimento mais avançado apresentaram maior aumento de altura de plantas que no tratamento CT

Na segunda data de semeadura (29/05/2014), na primeira avaliação realizada (02/07/2014) as plantas estavam em estágio de desenvolvimento B3 (Tabela 4). Assim como na primeira data de semeadura, verificou-se que o tratamento SSP apresentou altura de plantas significativamente maior do que os demais tratamentos. No tratamento CT a altura de plantas em 02/07/2014 foi significativamente menor que nos demais tratamentos, o que provavelmente está relacionado com a geada de 19/06/2014, que provocou maior mortalidade de plantas (Tabela 6) e retardou o desenvolvimento inicial das mesmas no tratamento CT. Isso está de acordo com Wilen et al. (2004) que verificou morte e retardamento no desenvolvimento de plântulas com temperatura do ar de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nas avaliações seguintes, o tratamento LSP e SSP apresentaram a maior altura de plantas até o estágio C2 (28/07/2014) e na última data de avaliação de altura de plantas na segunda data de semeadura (15/08/2014) a maior altura de plantas foi verificada no tratamento SSP, enquanto a menor altura foi observada em CS. A menor altura de plantas em CS provavelmente está associada ao fato de que uma das unidades experimentais apresentou menor desenvolvimento em função de estar localizada em uma mancha de solo com elevado teor de alumínio na solução do solo, e portanto fez a média total do tratamento diminuir.

Tabela 4 - Altura de plantas (cm) de canola em três datas de semeadura, em solo sem palha em superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP)<sup>(1)</sup>. Coxilha-RS, 2014

Data de semeadura	Data de avaliação	Altura de plantas (cm)/Tratamento				Média	CV (%)
		SSP	CT	CS	LSP		
23/04/2014	08/05/2014	4,27A	3,84A	4,02A	4,02A	4,04	17,66
	14/05/2014	7,54A	6,35B	6,48B	6,73B	6,77	13,19
	23/05/2014	9,32B	10,11AB	10,46AB	11,07A	10,24	21,72
	27/05/2014	12,11A	11,36A	12,32A	12,14A	11,98	20,71
	02/06/2014	15,06A	13,96A	14,57A	15,76A	14,84	22,38
	04/06/2014	16,21A	15,46A	15,76A	17,57A	16,25	19,33
	12/06/2014	23,26A	20,57B	21,76AB	22,43AB	22,00	10,46
29/05/2014	02/07/2014	5,76A	4,14C	4,70B	4,63BC	4,81	15,63
	08/07/2014	7,37A	5,57B	6,14B	7,10A	6,54	13,42
	14/07/2014	9,55A	7,91B	9,11B	9,25A	8,96	14,79
	21/07/2014	12,00A	10,5B	10,76B	11,89A	11,29	13,86
	28/07/2014	13,89A	11,93B	11,36B	14,19A	12,84	14,88
	05/08/2014	20,19A	18,92A	16,71B	20,14A	18,99	12,66
	15/08/2014	32,21A	29,71B	27,29C	31,79BC	30,25	10,41
16/07/2014	15/08/2014	6,16A	5,41B	5,66AB	5,96AB	5,80	14,33
	26/08/2014	11,96A	9,46B	12,07A	12,57A	11,51	11,28
	05/09/2014	17,43A	12,86B	16,93A	17,21A	16,10	9,29
	15/09/2014	29,21A	21,89B	29,04A	29,07A	27,30	10,68
	27/09/2014	70,00A	45,54B	67,21A	68,39A	62,78	12,20

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na terceira data de semeadura o tratamento SSP apresentou a maior altura de plantas de canola na primeira avaliação realizada (15/08/2014), porém não diferiu do tratamento LSP e CS, enquanto em CT foi encontrada a menor altura de plantas (Tabela 4). Esta avaliação foi realizada no dia seguinte a geada com maior intensidade do ano de 2014, quando as plantas apresentavam altura média de 4,04 cm e estavam em estágio de desenvolvimento B3. Nas demais datas avaliadas não houve diferença significativa entre os tratamentos SSP, CS e LSP, enquanto em CT sempre se verificou a menor altura de plantas da canola. Isso ocorreu porque a palha na superfície do solo provocou maior redução na temperatura das folhas que nos demais tratamentos na geada de 14/08/2014 (Tabela 7), em consequência disso a mortalidade

de plantas em CT foi maior (Tabelas 6 e 8), assim como o retardamento no desenvolvimento das mesmas, evidenciado pela menor altura de plantas (Tabela 4) e maior período de tempo para mudança de estádios fenológicos no tratamento CT a partir de 14/08/2014.

#### 4.5 Área foliar

Na primeira data de semeadura (23/04/2014) a área foliar da canola nos tratamentos SSP, CT, CS e LSP não apresentou diferença significativa entre as datas avaliadas (16/05/2014, 30/05/2014, 04/06/2014 e 20/06/2014) (Tabela 5). Isso indica que, em semeaduras realizadas precocemente, a forma de distribuição e quantidade de palha na superfície do solo não tem efeito significativo sobre a área foliar da canola. No entanto, em 20/06/2014, as plantas do tratamento de LSP apresentaram área foliar cerca de 200 cm<sup>2</sup> (19,6%) maior do que o tratamento de com menor área foliar, que foi SSP. Ressalta-se que na primeira data de semeadura ocorreram somente geadas fracas, e em estádios de desenvolvimento que a canola apresenta elevada tolerância a danos provocados por temperaturas baixas temperaturas do ar.

Na segunda data de semeadura (29/05/2014) a primeira avaliação de área foliar foi realizada em 04/07/2014, quando a canola estava em estágio B3 (Tabela 5). As plantas do tratamento SSP apresentaram a maior área foliar, porém não diferiram da área foliar das plantas de CS e das plantas do tratamento LSP, enquanto isso, o tratamento CT apresentou metade da área foliar que em SSP. Essa diferença pode ser atribuída à geada do dia 19/06/2014 quando as plantas estavam em estágio B1, que provocou maior mortalidade de plantas (Tabela 6) e retardou o desenvolvimento das mesmas no tratamento CT. Na segunda (18/07/2014) e terceira (31/07/2014) data de avaliação os tratamentos SSP e LSP apresentaram a maior área foliar, enquanto CT e CS exibiram os menores valores. No dia 18/08/2014 não foram encontradas diferenças significativas de área foliar das plantas de canola entre os tratamentos.

Na terceira data de semeadura (16/07/2014), na primeira avaliação realizada (18/08/2014) a canola estava em estágio de desenvolvimento B3 e não foram encontradas diferenças significativas de área foliar entre os tratamentos (Tabela 5). Em 03/09/2014, quando a canola estava em estágio de desenvolvimento C1, as plantas no tratamento LSP exibiram a maior área foliar, que não diferiu de SSP e CS, enquanto em CT foi encontrada a

menor área foliar dentre os tratamentos avaliados, com metade da área foliar dos outros tratamentos. Essa diferença de área foliar entre os tratamentos SSP, CS e LSP com o tratamento CT ocorreu porque a palha na superfície do solo em CT intensificou a redução da temperatura do ar e das plantas em CT (Tabela 7), provocando maior mortalidade de plantas (TABELA 6 e 8) e retardamento no desenvolvimento das demais, como verificado também na altura de plantas e fenologia (Figura 3 e Tabela 4).

Tabela 5 - Área foliar (cm<sup>2</sup>) de plantas de canola em três datas de semeadura em solo sem palha em superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP)<sup>(1)</sup>. Coxilha-RS, 2014.

Data de semeadura	Data de avaliação	Área foliar (cm <sup>2</sup> )/Tratamento				Média	Coeficiente de variação (CV%)
		SSP	CT	CS	LSP		
23/04/2014	16/05/2014	46,4A	42,4A	48,3A	48,4A	46,4	12,7
	30/05/2014	248,3A	205,3A	232,1A	239,8A	231,4	19,2
	04/06/2014	337,8A	305,0A	286,0A	304,7A	308,1	13,7
	20/06/2014	950,0A	995,0A	888,0A	1182,0A	1003,7	31,5
29/05/2014	04/07/2014	21,01A	11,5B	17,8A	17,1A	16,8	21,2
	18/07/2014	104,0A	63,6B	67,5B	101,2A	84,1	24,6
	31/07/2014	275,6A	183,5B	178,8B	309,0A	236,7	21,6
	18/08/2014	739,0A	775,0A	594,0A	819,0A	731,7	23,1
16/07/2014	18/08/2014	31,3A	24,5A	31,0A	34,9A	30,4	25,5
	03/09/2014	211,3A	106,4B	222,9A	234,0A	193,6	25,2
	26/09/2014	574,3A	678,0A	523,7A	689,5A	616,4	25,3

(1) Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## 4.6 Variáveis ambientais e micrometeorológicas

### 4.6.1 Dia 24 de maio e 03 de junho de 2014

Para a geada de 24/05/2014 e 03/06/2014 são apresentados os dados de saldo de radiação ( $R_n$ ), temperatura de folhas, temperatura do ar a 3 cm do solo, temperatura do solo a 2 cm de profundidade, temperatura do ar a 27 cm do solo e temperatura da superfície ( $T_{fvr}$ ). As avaliações são correspondentes ao período compreendido entre 05h00min e 07h15min para  $R_n$  e de 05h00min a 07h30min para as demais variáveis.

O  $R_n$  foi negativo durante todo o período avaliado no dia 24/05/2014, quando o valor mais negativo encontrado foi  $-79,2 \text{ W m}^{-2}$  no tratamento SSP e o valor menos negativo foi  $-49,7 \text{ W m}^{-2}$  no tratamento CS (Figura 4). No tratamento SSP o  $R_n$  apresentou-se mais negativo do que nos demais tratamentos na maior parte do período (05h00min até 05h45min, 06h00min e de 06h45min até 07h15min), sendo semelhante aos tratamentos de CT e LSP no restante do tempo (05h45min, 06h15min e 06h30min). Isso era esperado, já que o solo sem palha na superfície aquece-se mais durante o dia pela incidência direta dos raios solares, e como a emissão de ondas longas, segundo a lei de Stefan-Boltzmann, é dependente da quarta potência de sua temperatura, o  $R_n$  durante a noite naturalmente é mais negativo que nas outras superfícies com maior quantidade de palha, que foram mais frias (FONTANA; BERLATO; BERGAMASCHI, 1991; DALMAGO et al., 2014). O tratamento CS apresentou o  $R_n$  menos negativo durante praticamente todo o período de avaliação, exceto as 05h00min, quando o  $R_n$  foi semelhante aos tratamentos CT e LSP. Enquanto isso, os tratamentos CT e LSP apresentaram valores de  $R_n$  muito parecidos durante todo período, e intermediários aos tratamentos SSP e CS, sendo isso um indicativo de que a temperatura da superfície em CS foi mais baixa que nos outros tratamentos.

No dia 03/06/2014 o  $R_n$  no período de 05h00min a 06h40min variou de  $-70 \text{ W m}^{-2}$  a  $-85 \text{ W m}^{-2}$  nos quatro tratamentos de cobertura do solo (Figura 5). A partir das 07h00min, com a aproximação do nascer do sol, o  $R_n$  tornou-se menos negativo, quando os valores concentraram-se na faixa de  $-53 \text{ W m}^{-2}$  a  $60 \text{ W m}^{-2}$ . Assim como na geada do dia 24/05, o tratamento CS apresentou o  $R_n$  menos negativo durante todo o período de avaliação. Os tratamentos SSP e LSP foram semelhantes, embora o tratamento SSP tenha apresentado valores ligeiramente mais negativos. No tratamento CT os valores de  $R_n$  foram parecidos aos tratamentos SSP e LSP, porém durante todo o período foram verificadas oscilações, com valores, por vezes, mais negativos que os tratamentos SSP e LSP e em outros momentos

menos negativos que esses tratamentos. Essas oscilações foram mais fortes nos tratamentos CS e CT (com maior quantidade de palha na superfície) e, provavelmente, foram provocadas diretamente pela influência da velocidade do vento (HELDWEIN, 1993). Às 05h15min, 05h45 e 06h30min quando a velocidade do vento diminuiu para valores menores que  $1 \text{ m s}^{-1}$  (a 1 metro de altura) o  $R_n$  tornou-se mais negativo em todos os tratamentos, indicando que a temperatura da superfície diminuiu, sendo essa resposta percebida principalmente em CT e CS, que tinham maior quantidade de palha em superfície, o que indica que a velocidade do vento maior que  $1 \text{ m s}^{-1}$  provoca aumento da temperatura da superfície, principalmente se a superfície do solo tem maior quantidade de palha (o que se verifica em CT e CS), pois com a maior rugosidade aerodinâmica e o maior calor específico, se comparado com o solo, a palha aquece-se mais rapidamente, o que é ratificado pelas Figuras 6 e 7, quando visualiza-se que a  $T_{fvr}$  foi diretamente influenciada pela velocidade do vento. A rugosidade aerodinâmica é explicada pelo comprimento da rugosidade ( $z_0$ ) e o deslocamento do plano zero ( $d$ ), parâmetros estes essenciais para expressar os coeficientes de transporte turbulento e determinar as condições de estabilidade atmosférica (LYRA; PEREIRA, 2007). Enquanto o calor específico é a quantidade de calor necessário para elevar a temperatura de um corpo em  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

No dia 24/05/2014, no período de 05h00min a 07h30min, a  $T_{fvr}$  variou de  $1,59 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $3,25 \text{ }^\circ\text{C}$ , com valor mínimo no tratamento CS e o máximo em LSP, sendo que em todos os tratamentos aconteceram apenas pequenas flutuações nos valores no decorrer do tempo avaliado (Figura 6). A média de temperatura da superfície para o período de 05h00min a 07h30min, considerando todos os tratamentos, foi de  $2,32 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nesse sentido, no tratamento CS foram registrados os valores de temperatura de superfície mais baixos, com média geral para o período de avaliação de  $1,83 \text{ }^\circ\text{C}$ . Em seguida, o tratamento CT apresentou média geral um pouco superior, com  $2,03 \text{ }^\circ\text{C}$ . Os tratamentos SSP e LSP apresentaram os valores de temperatura de superfície mais elevados, com média geral de  $2,43 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $3,02 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Esperava-se que o  $R_n$  menos negativo ocorresse em CT em função da maior quantidade de palha na superfície (96% da superfície coberta), no entanto o  $R_n$  foi menos negativo em CS (73% da superfície do solo coberta com palha), o que é confirmado pela  $T_{fvr}$  menor em CS do que em CT, provavelmente, pela natureza da palha de soja, que em CT ainda não havia se acomodado sobre o solo da mesma forma que em CS. Além disso, devido a maior rugosidade aerodinâmica da palha em CT do que em CS, o que proporcionou maior transporte de calor sensível do ar para a palha de soja em CT (LYRA, 2005). Em LSP registraram-se os maiores valores de  $T_{fvr}$ , provavelmente, porque exatamente na área de leitura do termômetro infravermelho não houve emergência de plantas, então a leitura de  $T_{fvr}$  em LSP foi somente da superfície (palha e solo exposto), não sendo realizadas leituras

da superfície das plantas (que estavam expostas a céu aberto nos outros tratamentos), e que apresentaram valores de temperatura de folhas medidos com termopares menores do que a Tifvr nos tratamentos em que se mediu a Tifvr das plantas além da temperatura da palha e do solo.

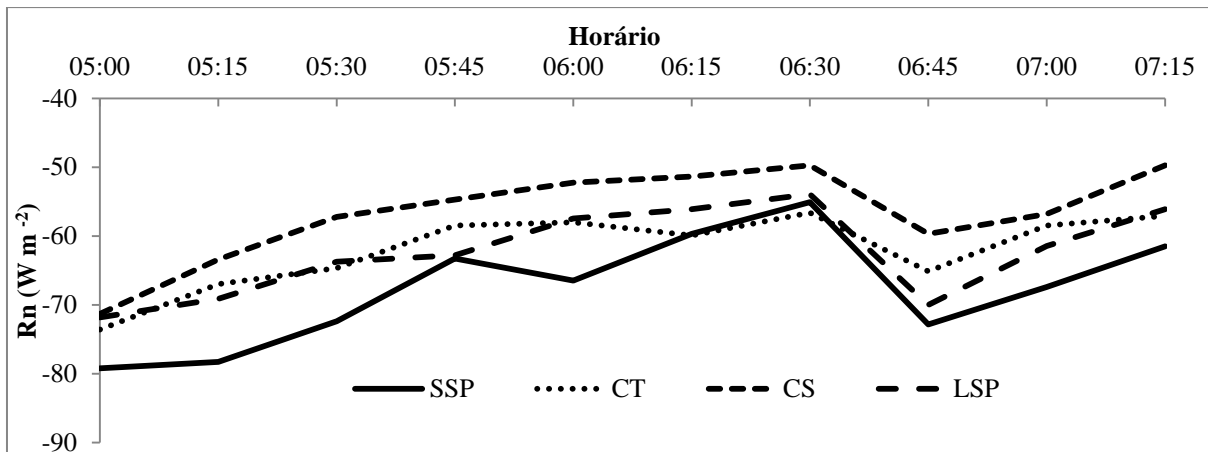


Figura 4 - Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.

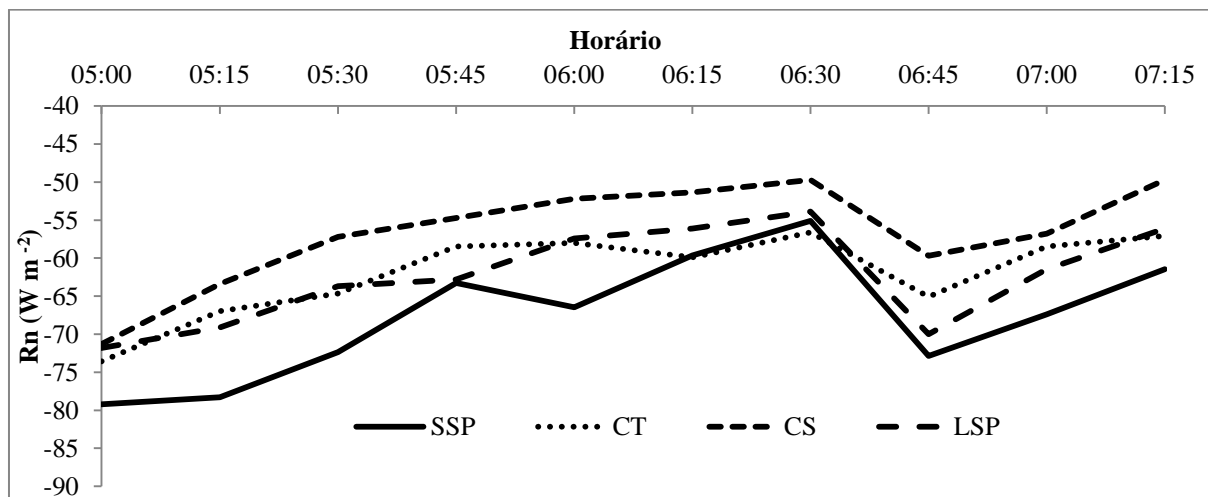


Figura 5 - Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.



No dia 03/06/2014, o tratamento LSP apresentou resposta semelhante ao dia 24/05/2014, com a Tifvr mais elevada do que em todos os demais tratamentos, exibindo média geral para o período avaliado de 2,47 °C (Figura 7). Nesta data, considerando a média de Tifvr dos quatro tratamentos, no período entre 05h00min e 07h30min, o valor foi 1,91 °C, sendo que a menor Tifvr foi 1,12 °C no tratamento CT e a maior 2,79 °C no tratamento LSP. No início das avaliações, as 05h00min, o tratamento SSP exibiu valores de Tifvr mais elevados do que em CS e em CT, no entanto, após as 06h15min os tratamentos CS e LSP apresentaram valores térmicos muito semelhantes, sendo a média geral para o período 1,95 °C para SSP e 1,76 °C para CS. Enquanto isso, diferentemente do encontrado no dia 24/05/2014, o tratamento CT apresentou os menores valores de Tifvr, com média geral para o intervalo de tempo de 1,44 °C.

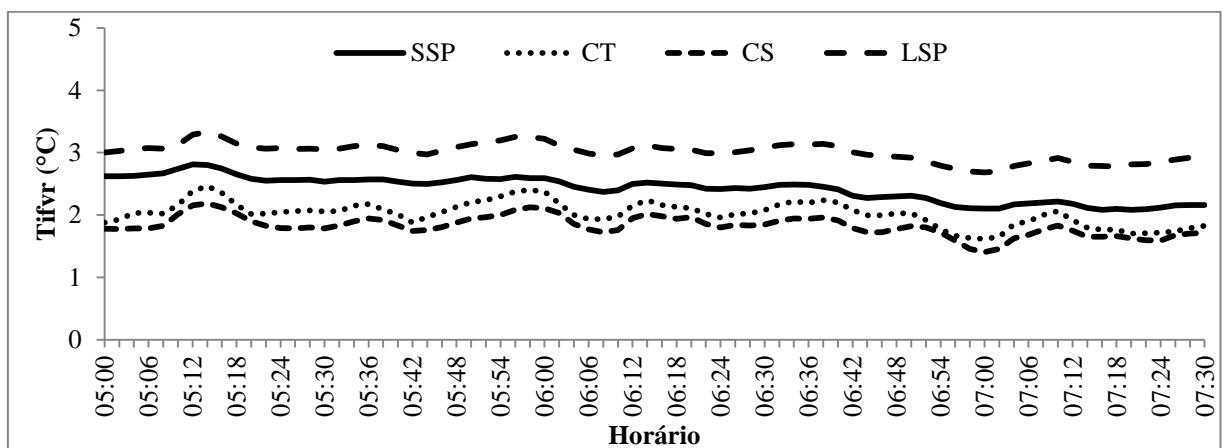


Figura 6 - Temperatura da superfície (medida com termômetro infravermelho) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

No dia 24/05/2014 a temperatura do ar (a 27 cm de altura do solo), durante o período de tempo avaliado (05h00min a 07h30min), apresentou o menor valor médio de 0,73 °C no tratamento CT (Figura 8). Durante o período avaliado, considerando os valores de temperatura do ar nos quatro tratamentos, não foram verificadas grandes flutuações nos valores térmicos durante o decorrer do tempo, sendo que a média geral para o período foi 1,06 °C. O valor máximo médio de temperatura do ar, para o período foi encontrado no tratamento SSP, com valor de 1,46 °C. Em relação à temperatura do ar nos quatro tratamentos de

cobertura do solo, não foram verificadas grandes diferenças entre os tratamentos, uma vez que a média de temperatura do ar, no intervalo de tempo considerado, no tratamento SSP foi de 1,09 °C, no tratamento CT foi 0,99 °C, no tratamento de CS foi 1,01 °C e no tratamento LSP foi 1,16 °C. No período de 05h15min a 06h15min verificou-se que nos tratamentos CT e CS a temperatura do ar apresentou-se ligeiramente mais baixa que nos tratamentos de SSP e LSP, resposta provocada pela presença de palha na superfície do solo (ARAÚJO et al., 1999; SILVA et al., 2006).

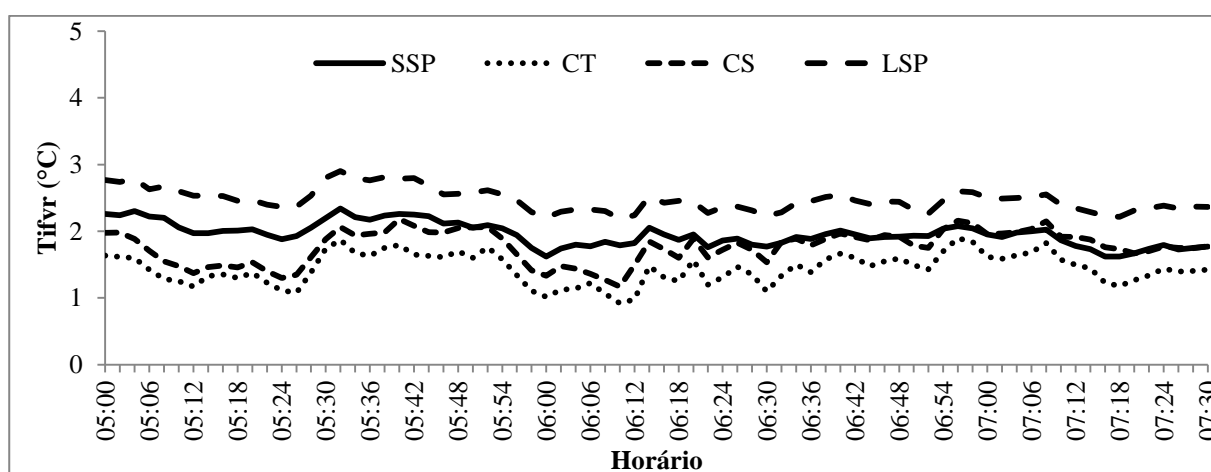


Figura 7 - Temperatura da superfície (medida com termômetro infravermelho) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Assim como verificado no dia 24/05/2014, no dia 03/06/2014 não foram encontradas grandes diferenças nos valores de temperatura do ar entre os tratamentos de cobertura do solo a 27 cm de altura do solo (Figura 9). Considerando todos os tratamentos e todo o período de avaliação, a temperatura média do ar foi 2,36 °C, enquanto a temperatura média mínima foi 1,76 °C no tratamento CS e a temperatura máxima média foi 2,74 °C no tratamento LSP. Enquanto isso, a média de temperatura do ar nos tratamentos de cobertura do solo para a presente data no tratamento SSP foi 2,32 °C, no tratamento CT foi 2,39 °C, em CS foi 2,31 °C e no tratamento LSP foi 2,44 °C. No entanto, no intervalo de tempo de 05h00min a 05h30min a temperatura do ar no tratamento de CS foi ligeiramente menor que nos demais tratamentos, com média para o período de 2,15 °C, enquanto em SSP foi 2,24 °C, em CT foi 2,31 °C e em LSP foi 2,51 °C, ou seja, isso indica que a retirada da palha da linha de semeadura tem efeito

positivo em relação à resposta da temperatura do ar, com valor de 0,40 °C mais alto do que no tratamento CS, que registrou a temperatura do ar mais baixa. Considerando todo o período avaliado, percebe-se que com o transcorrer do tempo ocorreram flutuações nos valores de temperatura do ar em todos os tratamentos, contudo, os valores se mantiveram, em praticamente todo o tempo, na faixa entre 2 °C a 3 °C, que por fim gerou a média geral de 2,36 °C para o intervalo de 05h00min a 07h30min. Essas oscilações ocorreram, provavelmente, em função da oscilação na velocidade do vento, que somente em pequenos períodos de tempo foi menor que 1 m s<sup>-1</sup> (a 1 metro de altura) (Figura 18). Isso fica evidente quando verifica-se redução na velocidade do vento, que logo em seguida é acompanhada pela diminuição da temperatura do ar em todos os tratamentos. Com baixa velocidade do vento a mistura do ar mais quente no topo da inversão térmica não é realizada e o resfriamento do ar próximo à superfície se acentua devido à perda de radiação da superfície.

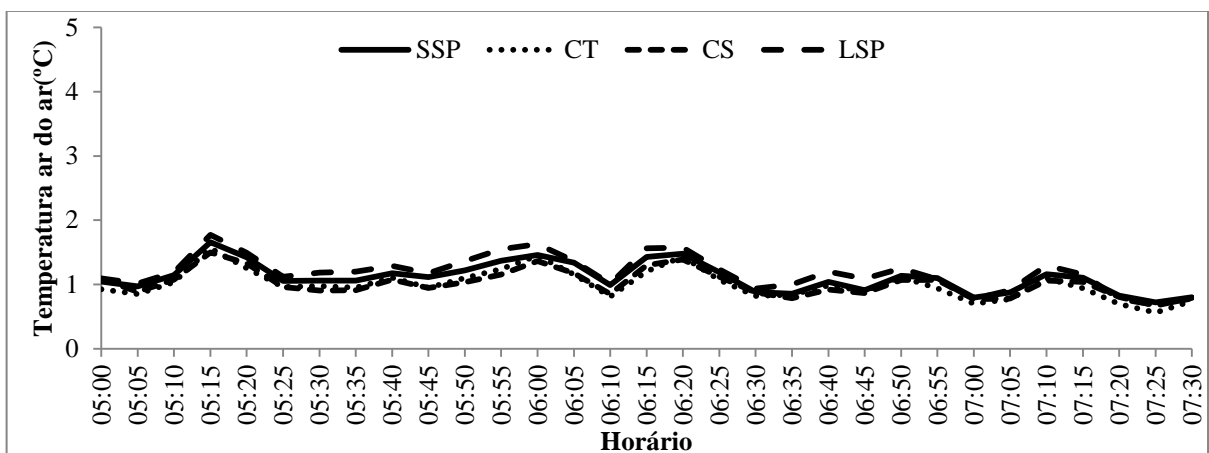


Figura 8 - Temperatura do ar a 27 cm de altura do solo em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Na primeira data com ocorrência de geada, dia 24/05/2014, foram realizadas avaliações de temperatura do ar a 3 cm do solo no tratamento SSP, em CS e em LSP (Figura 10). No tratamento CT o sensor apresentou defeito e registrou valores irreais, portanto foi desconsiderado nesta avaliação. Desta forma, a média de temperatura do ar nos três tratamentos avaliados, para o período de 05h00min até 07h30min foi 1,87 °C, com valor mínimo médio de 0,61 °C no tratamento SSP e máximo de 3,11 °C no tratamento CS.

Enquanto isso, analisando os tratamentos, verificou-se que os menores valores médios de temperatura do ar, no período em avaliação, foram encontrados em todo o intervalo de tempo, no tratamento SSP, com média para o período de 0,94 °C. O tratamento com a temperatura do ar mais elevada foi CS, que exibiu média de 2,70 °C para o período considerado, enquanto o tratamento LSP apresentou valores intermediários, com média de 1,97 °C. Essa resposta não era esperada, uma vez que a tendência lógica é que as menores temperaturas do ar próximo à superfície ocorressem em CT, uma vez que a palha exerce efeito de isolamento, impedindo que o solo atenuie a queda da temperatura do ar adjacente (SILVA et al., 2006).

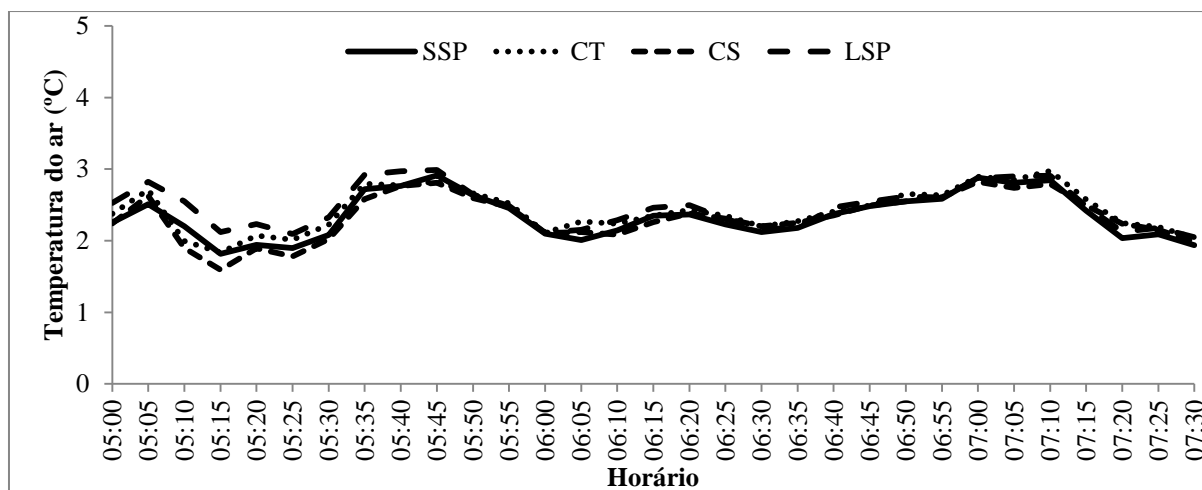


Figura 9 - Temperatura do ar a 27 cm de altura do solo em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Não foi encontrada uma explicação física consistente para explicar a menor temperatura do ar a 3 cm de altura do solo no tratamento SSP, porém especula-se que a declividade do terreno associada a pulsos advectivos de ar localizados sobre as unidades experimentais podem ter provocado essa resposta. Além disso, os menores valores de temperatura do ar em SSP podem estar atrelados ao fato de que as leituras foram realizadas somente por um sensor em cada um dos tratamentos, aliado ao fato de que as plantas podem provocar interferência na leitura de temperatura do ar pelos sensores. Isso se evidenciou com a média de temperatura do ar encontrada no tratamento CS, que foi 0,73 °C mais alta que em LSP e 1,76 °C mais alta que em SSP, ou seja, apresentaram tendência contrária ao esperado. E

isso ocorreu, provavelmente, devido ao posicionamento dos sensores (que por estarem posicionados a 3 cm de altura do solo), nos tratamentos LSP e CS estavam encobertos pelas folhas das plantas, que apresentavam-se em estágio B5. Assim, os sensores nestes tratamentos não estavam expostos a céu aberto, como aconteceu no tratamento SSP. Portanto, em LSP e CS os sensores estavam em local onde a perda radiativa da superfície era menor, e devido à proximidade do sensor com a superfície a temperatura do ar embaixo das folhas era maior se comparado a um local exposto a céu aberto. Essa resposta indica que quando as plantas apresentam certo desenvolvimento, no caso em estágio B5, a temperatura do ar em noites com geada pode ser alterada em função do local onde é medida, ou seja, a partir do estágio B5, além da cobertura por palha em superfície, a densidade de plantas e índice de área foliar podem influenciar a temperatura do ar próximo as plantas.

No dia 03/06/2014 são apresentados os dados de temperatura do ar a 3 cm altura do solo (Figura 11) para os tratamentos SSP, CS, LSP e CT no período de 05h00min até 07h30min, que apresentaram resposta semelhante aquela encontrada em 24/05/2014. Para o período em avaliação e considerando todos os tratamentos de cobertura do solo, a média de temperatura do ar foi 2,45 °C, com menor média de 1,49 °C no tratamento SSP e maior 4,14 °C em CS. Já em relação aos tratamentos, no período de tempo avaliado, as temperaturas do ar encontradas em SSP e CT foram as mais baixas, sendo que os valores foram muito próximos entre si, com média de 1,83 °C e 1,85 °C, respectivamente. No tratamento CS verificaram-se os maiores valores de temperatura do ar durante todo o intervalo de tempo avaliado, com média de 3,73 °C. A temperatura do ar no tratamento LSP apresentou valores intermediários aos demais tratamentos durante toda avaliação, com média de 2,39 °C. Como o posicionamento dos sensores não foi alterado em relação à 24/05/2014 verificou-se que, provavelmente, mais uma vez a temperatura do ar sofreu alteração imposta pelo dossel de plantas.

Na Figura 12 são apresentados dados de temperatura do solo a 2 cm de profundidade do período de 05h00min a 07h30min do dia 24/05/2014 para os tratamentos SSP, CT, CS e LSP. A temperatura do solo apresentou valor médio de 8,39 °C, considerando os quatro tratamentos, com a temperatura mínima média registrada no tratamento SSP (5,37 °C) e a máxima em CS (10,19 °C). Além disso, verificou-se que desde o início (05h00min) até o fim (07h30min) do período avaliado, a temperatura média do solo, nos quatro tratamentos, apresentou leve declínio, com valor médio de 8,81 °C no início e 8,04 °C no fim do período. Em relação aos tratamentos, em SSP foram encontrados os menores valores de temperatura do solo, quando a média para o intervalo de tempo avaliado foi 5,71 °C (FURLANI et al., 2008).

Nos demais tratamentos a temperatura do solo apresentou valores superiores ao tratamento SSP. Assim, no tratamento CS foram encontrados os maiores valores de temperatura de solo, com média para o período de 9,82 °C, enquanto os tratamentos CT e LSP apresentaram valores intermediários, com 9,27 °C e 8,71 °C, respectivamente.

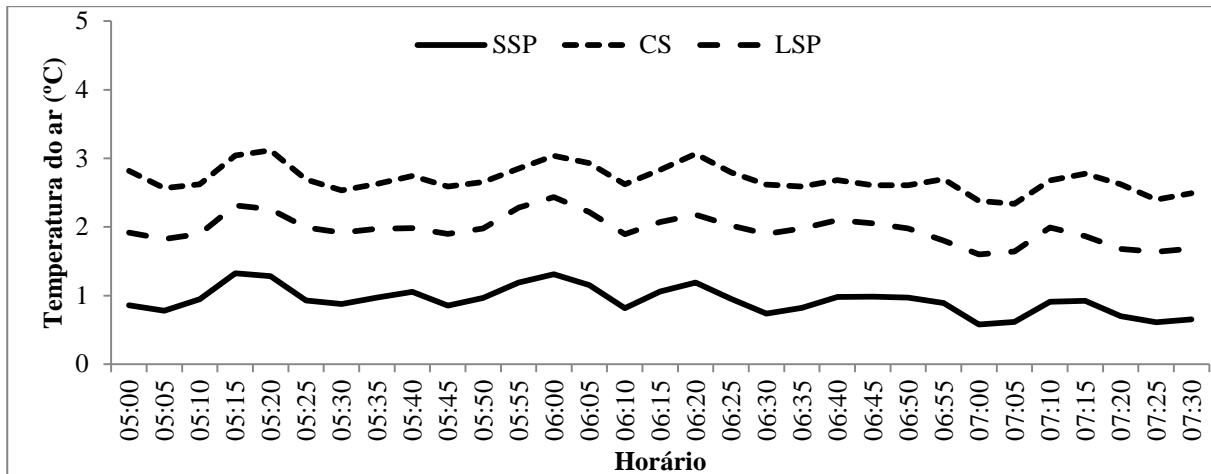


Figura 10 - Temperatura do ar a 3 cm de altura do solo em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

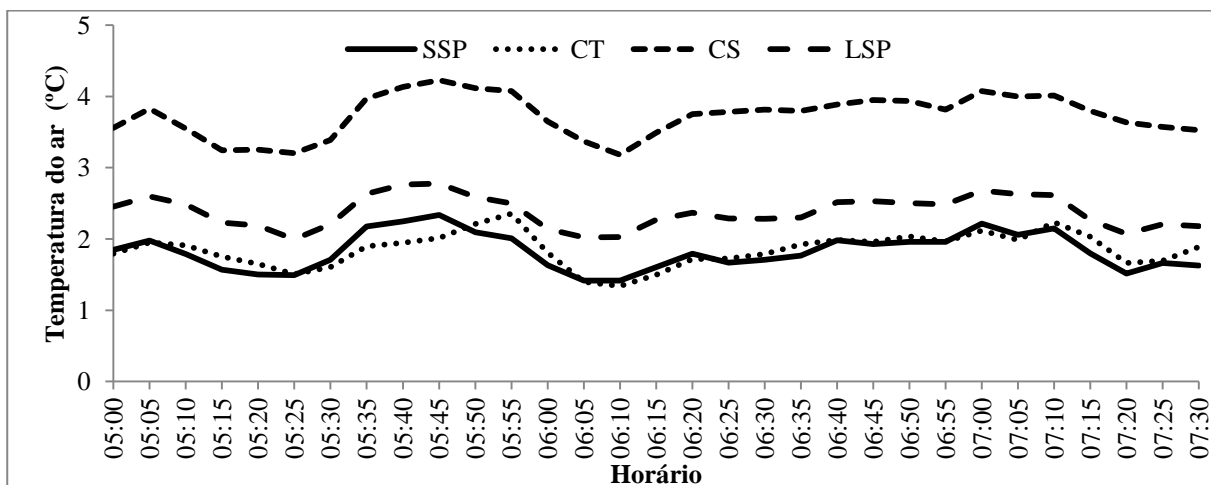


Figura 11 - Temperatura do ar a 3 cm de altura do solo em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

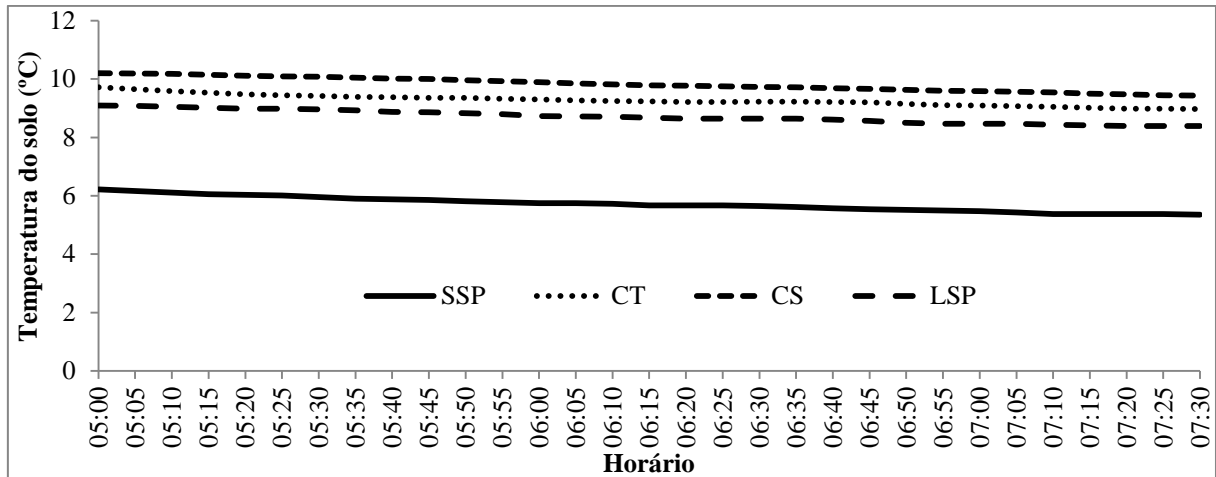


Figura 12 - Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

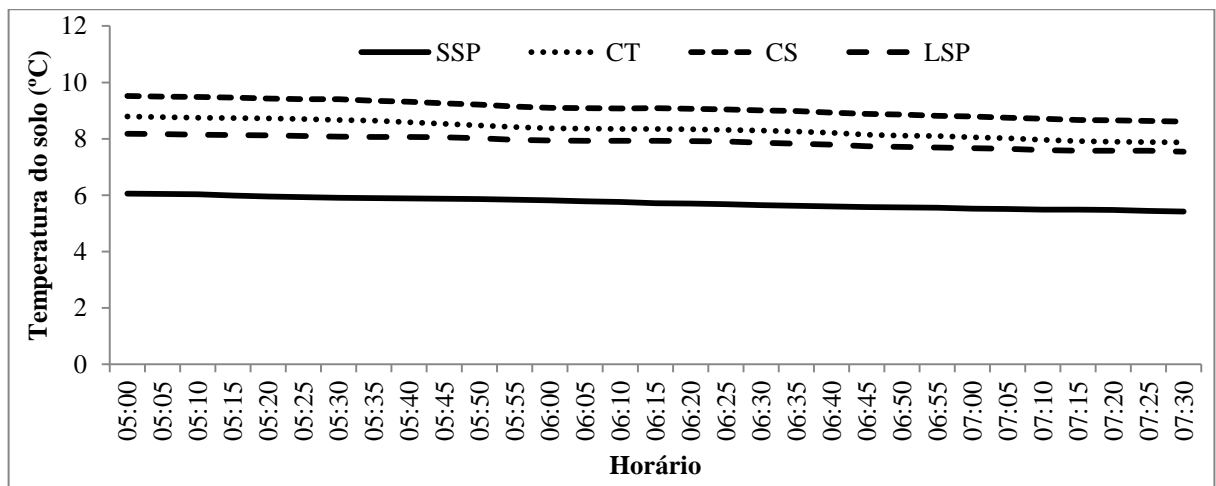


Figura 13 - Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

A temperatura do solo a 2 cm de profundidade mostrou que a palha sobre o tratamento CS teve melhor efeito isolante que a palhada sobre o tratamento CT, mesmo que a quantidade de palha em CT tenha sido maior que em CS. Isso também está de acordo com o que foi encontrado para as variáveis  $R_n$  e  $T_{ifvr}$ , quando verificou-se o maior resfriamento da superfície no tratamento CS. O melhor efeito isolante em CS, provavelmente, se deve a

melhor acomodação da palhada no tratamento CS do que em CT, uma vez que a palhada em CS era composta por resíduos de plantas de feijão (cultivado no verão) e palha de aveia preta (cultivada como cobertura no inverno de 2013).

Em 03/06/2014 (Figura 13) foram encontrados valores de temperatura do solo com resposta semelhante àquela encontrada no dia 24/05/2014 (Figura 12). Isso é demonstrado pela média de temperatura do solo de todo o período, nos quatro tratamentos, que foi 7,77 °C, com temperatura de solo média mínima de 5,46 °C registrada no tratamento SSP e máxima de 9,50 °C no tratamento CS. Assim, no tratamento SSP foram encontrados os menores valores, uma vez que a média para o período foi 5,74 °C. O tratamento CS exibiu os maiores valores de temperatura do solo, com média para o período de 9,09 °C. Enquanto isso, os tratamentos CT e LSP apresentaram valores de temperatura do solo de 8,36 °C e 7,90 °C, respectivamente.

A temperatura das folhas no dia 24/05/2014 apresentou a média de 1,05 °C considerando o período de 05h00min até 07h30min (Figura 14). A menor média de temperatura de folhas encontrada foi 0,03 °C no tratamento SSP e a maior ocorreu no tratamento CS, com temperatura de 2,37 °C. Além disso, durante todo o período avaliado os valores de temperatura das folhas apresentaram-se estáveis, apenas com pequenas oscilações, o que é comprovado pelo fato de que a média de temperatura de folhas foi 0,82 °C no início da avaliação (05h00min) e 0,74 °C no fim da mesma (07h30min). Nos tratamentos SSP e CT a temperatura das folhas foi muito próxima durante todo o período, o que se comprova pela média dos dois tratamentos, que foi 0,51 °C em SSP e 0,61 °C em CT. No tratamento CS foram encontrados os maiores valores de temperatura das folhas durante todo o período avaliado, com média de 2,01 °C, ou seja, praticamente 1 °C a mais do que no tratamento LSP, que registrou média de 1,06 °C.

Em 03/06/2014 a temperatura das folhas apresentou-se ligeiramente mais alta do que em 24/05/2014, sendo a média para o período total 1,82 °C (Figura 15). Além disso, a menor média de temperatura das folhas registrada também foi mais alta em 03/06/2014 do que em 24/05/2014, com valor de 0,86 °C no tratamento SSP, e a maior média foi 2,89 °C no tratamento CS. Durante o decorrer do tempo foram encontradas oscilações nos valores de temperatura das folhas em todos os tratamentos, principalmente a partir de 05h25min, quando a temperatura média para os quatro tratamentos passou de 1,25 °C a 2,24 °C às 05h45min, e logo em seguida, às 06h10min a temperatura média das folhas já baixou para 1,13 °C. Após esse declínio, os valores médios de temperatura das folhas apresentaram leve aumento até as 07h00min, quando após esse horário ocorreu outra queda. Em relação aos tratamentos de cobertura do solo, novamente os menores valores foram encontrados no tratamento SSP em



todo o período avaliado, visto que a temperatura média para o intervalo de tempo em questão foi 1,30 °C. No tratamento CT verificou-se média de temperatura de folhas de 1,64 °C, enquanto nos tratamentos CS e LSP foram encontrados os maiores valores com 2,29 °C e 2,05 °C, respectivamente.

A resposta de temperatura das folhas nas geadas dos dias 24/05/2014 e 03/06/2014 não é coerente com a quantidade e distribuição da palha na superfície do solo, indicando que para as condições ambientais destas duas datas, estágio fenológico da canola no momento da geada (B5 em 24/05/2014 e C1 em 03/06/2014) e exposição e declividade do terreno, a cobertura do solo não foi o principal fator a influenciar a temperatura das folhas. Embora não haja uma explicação física plausível, especula-se que a declividade do terreno associada a pulsos advectivos de ar localizados sobre as unidades experimentais podem ter determinado essa resposta. Assim, para as condições ambientais de geadas fracas e com a canola em estágio fenológico a partir de B5, a cobertura do solo não foi o principal fator a definir a temperatura das folhas, demonstrando assim que a cobertura do solo nem sempre é a principal variável a influenciar a temperatura das folhas em noites com ocorrência de geada.

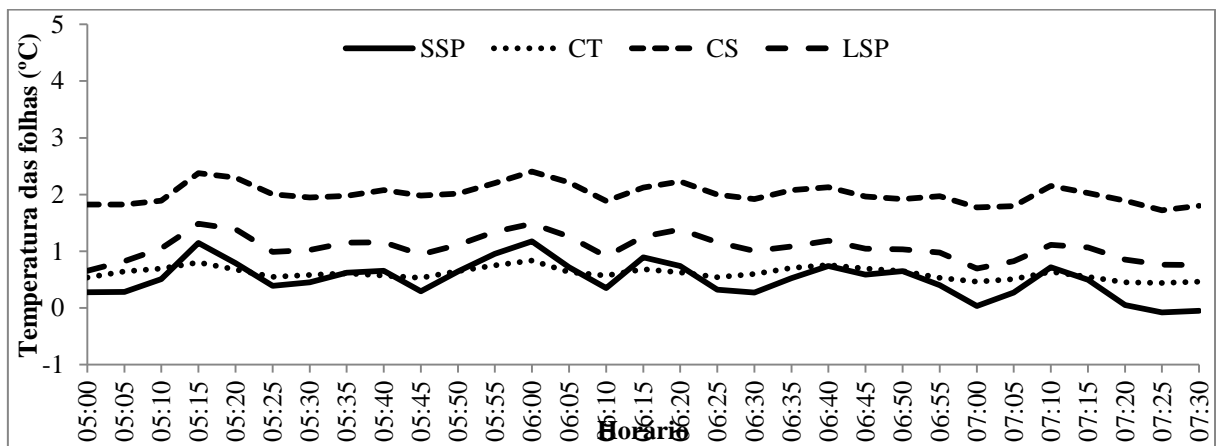


Figura 14 - Temperatura das folhas em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

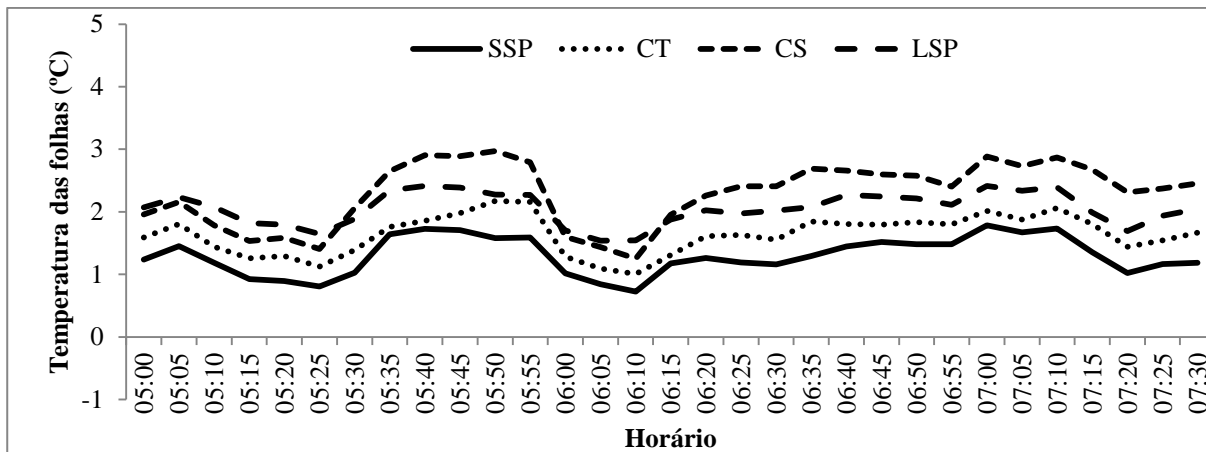


Figura 15 - Temperatura das folhas em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

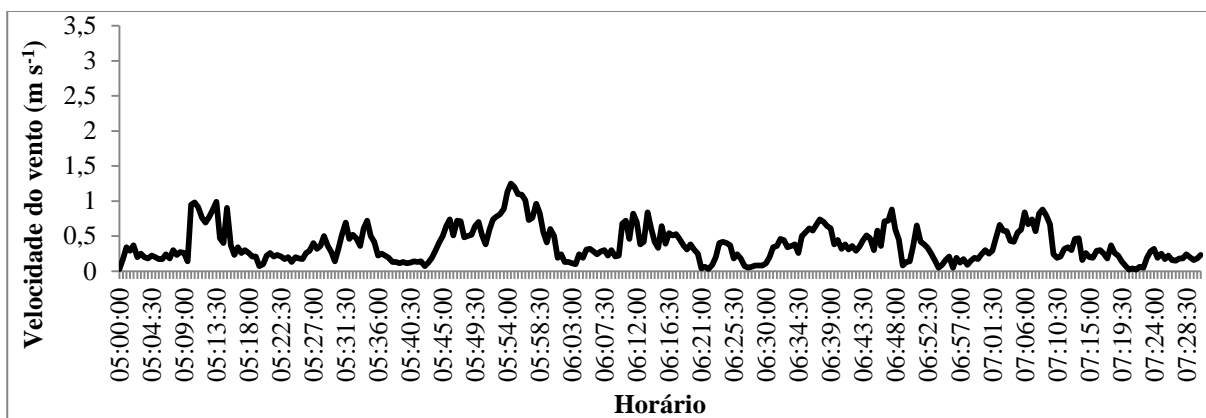


Figura 16 - Velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a 1 metro de altura do solo no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

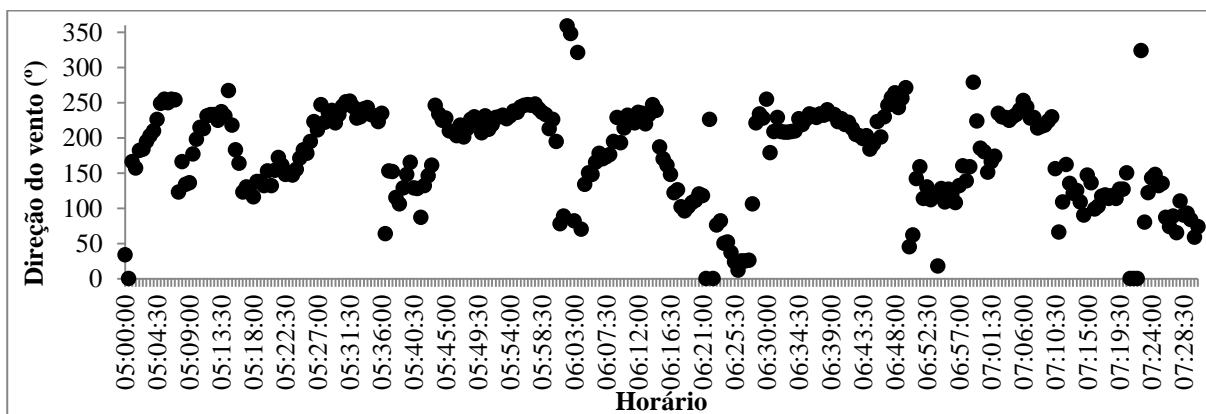


Figura 17 - Direção do vento ( $^{\circ}$ ) a 1 metro de altura do solo no dia 24/05/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

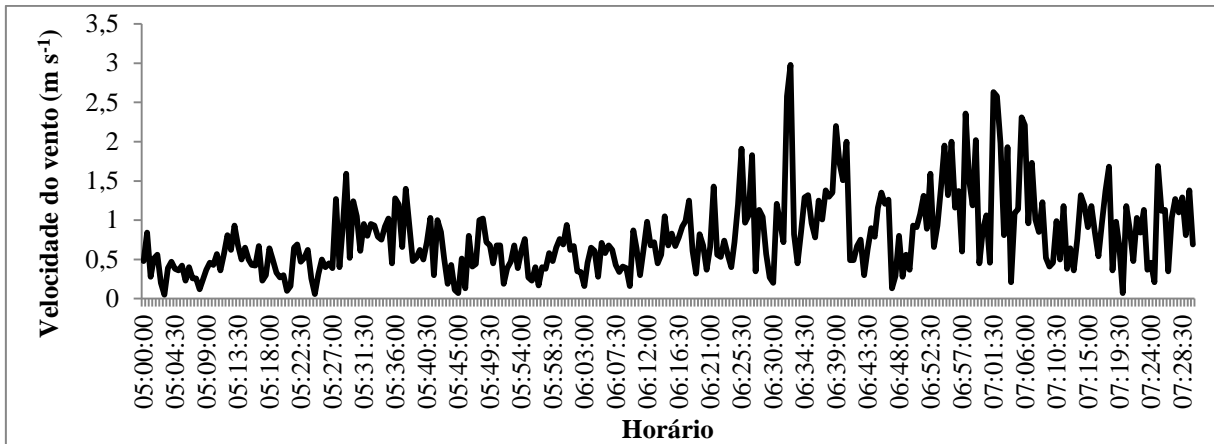


Figura 18 - Velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a 1 metro de altura do solo no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

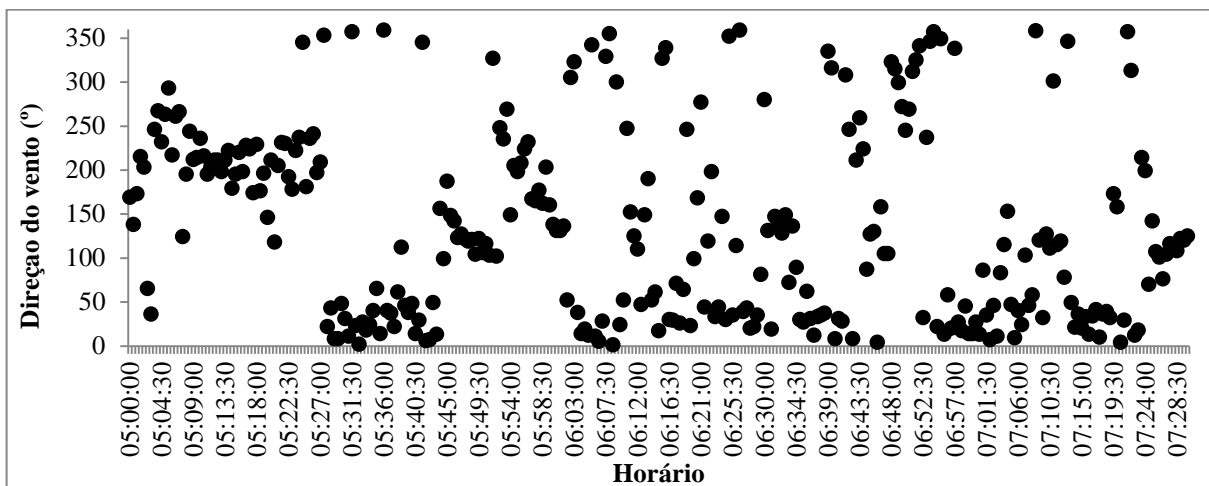


Figura 19 - Direção do vento ( $^{\circ}$ ) a 1 metro de altura do solo no dia 03/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

#### 4.6.2 Dia 19 e 20 de Junho de 2014

Para a geada de 19/06/2014 são apresentados os dados de saldo de radiação ( $R_n$ ), temperatura de folhas, temperatura do ar a 3 cm do solo, temperatura do solo a 2 cm de profundidade, temperatura do ar a 27 cm do solo, temperatura da superfície do solo ( $T_{fvr}$ ), velocidade e direção do vento e sobrevivência de plantas após a geada. As avaliações são correspondentes ao período de tempo compreendido entre 05h00min a 07h15min para  $R_n$  e de

05h00min a 07h30min para as demais variáveis, sendo que neste intervalo de tempo ocorreram os menores valores térmicos.

A avaliação do Rn em 19/06/2014 (Figura 20) foi realizada na segunda data de semeadura da canola, quando foram registrados valores variando de  $-84,9 \text{ W m}^{-2}$  a  $-107,8 \text{ W m}^{-2}$ . Em contraste aos dias 24/05/2014 (Figura 4) e 03/06/2014 (Figura 5) o Rn menos negativo foi encontrado no tratamento CT, com valor constante de  $-84 \text{ W m}^{-2}$  durante todo o período avaliado. Enquanto isso, os tratamentos SSP, CS e LSP apresentaram Rn mais negativo que no tratamento CT. Os valores de Rn nos tratamentos SSP, CS e LSP foram próximos entre si, porém em LSP foram encontrados os valores mais negativos durante todo o período avaliado. Embora com oscilações durante o tempo, os tratamentos SSP e CS apresentaram valores muito parecidos.

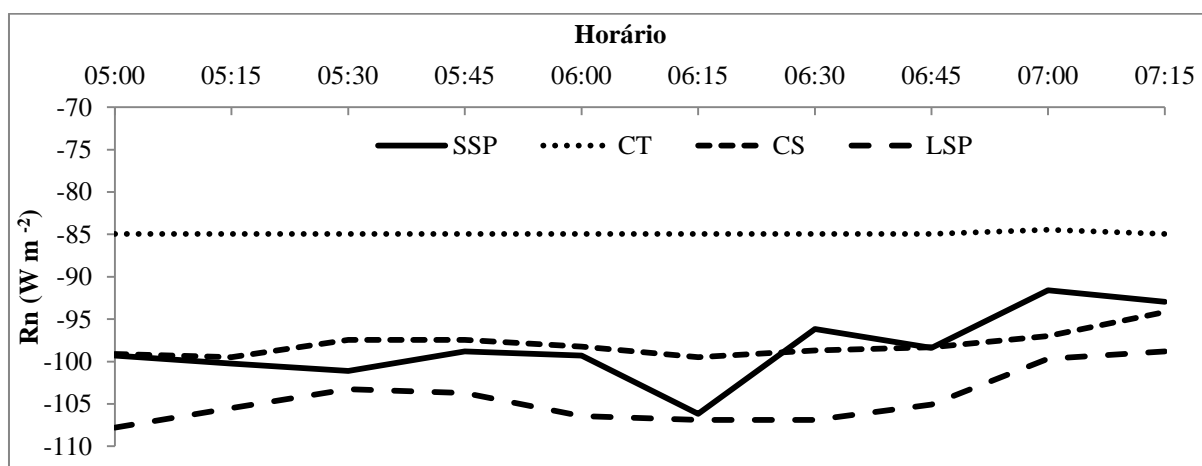


Figura 20 - Saldo de radiação (Rn) em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.

No dia 19/06/2014 a Tifvr nos quatro tratamentos não apresentou grandes oscilações, mas considerando-se o início (05h00min) e o fim (07h15min) do período avaliado, percebe-se que a temperatura apresentou ligeiro declínio com o decorrer do tempo, sendo a média de Tifvr nos quatro tratamentos de  $0,86 \text{ °C}$  as 05h00min e  $-0,09 \text{ °C}$  as 07h15min (Figura 21). Além disso, a média da Tifvr nos quatro tratamentos, em todo o intervalo de tempo avaliado foi de  $0,24 \text{ °C}$ . Considerando os tratamentos de cobertura do solo no intervalo de tempo avaliado, a menor Tifvr encontrada foi  $-1,13 \text{ °C}$  no tratamento de CT e a maior foi  $1,13 \text{ °C}$  no

tratamento LSP. Durante todo o período os tratamentos SSP, CS e LSP apresentaram valores de Tifvr muito semelhantes, com média geral de 0,32 °C para SSP, 0,41 °C para CS e 0,60 °C para LSP. O tratamento CT apresentou os menores valores de Tifvr registrados, sendo somente os horários de 05h00min a 05h15min positivos, a partir deste horário até o final da avaliação os valores foram negativos, apresentando média geral de -0,36 °C para o período total.

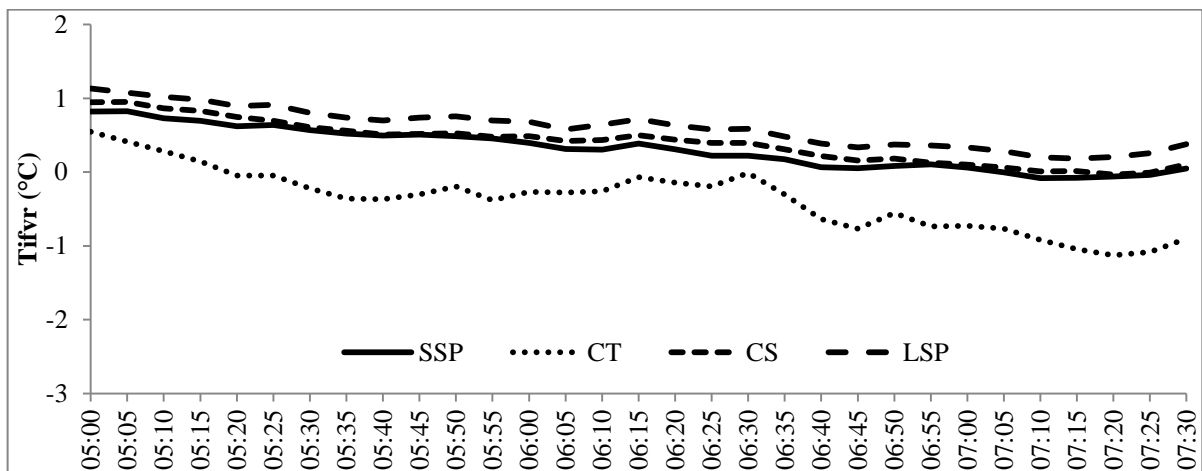


Figura 21 - Temperatura da superfície em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

No dia 19/06/2014 novamente não foram encontradas grandes diferenças entre os tratamentos na temperatura do ar a 27 cm de altura do solo (Figura 22). A média de temperatura do ar considerando os quatro tratamentos para a presente data foi 0,48 °C, com o menor valor médio de temperatura encontrado no tratamento SSP (-0,40 °C) e o maior em LSP (1,41 °C). A média de temperatura do ar, ao considerar-se todo o período avaliado, ou seja, das 05h00min até 07h30min, no tratamento de SSP foi de 0,43 °C, no tratamento de CT foi 0,46 °C, no tratamento CS foi 0,50 °C e no tratamento LSP foi 0,54 °C. Também se verificou que no intervalo de tempo considerado, com início as 05h00min e fim as 07h30min, que a temperatura do ar apresentou ligeiro declínio, sendo a média da temperatura no início das avaliações 1,34 °C e -0,13 °C no fim.

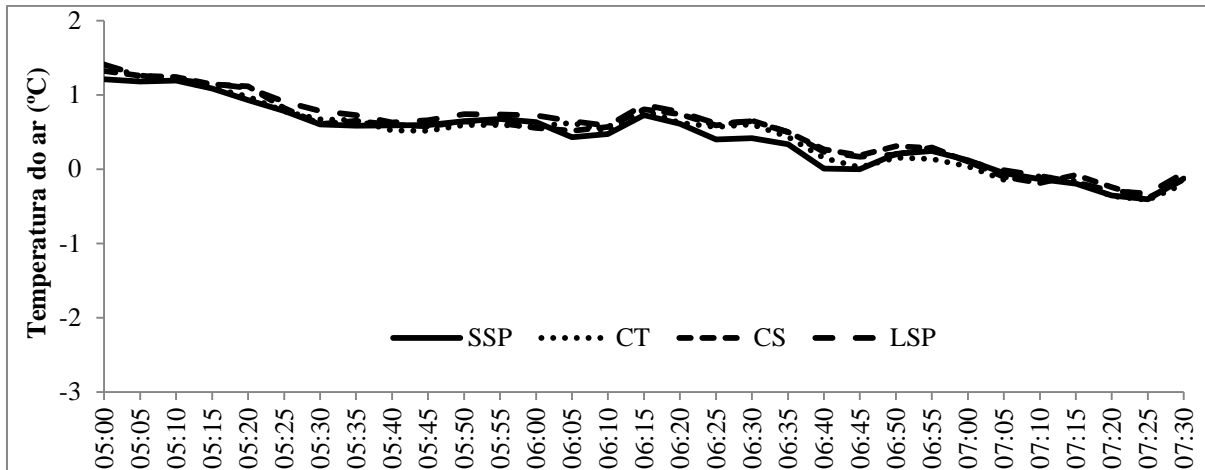


Figura 22 - Temperatura do ar a 27 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

A média da temperatura do ar a 3 cm da superfície do solo nos tratamentos SSP, CT, CS e em LSP do dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min foi  $-0,30\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 23). A média de temperatura do ar mais baixa encontrada foi  $-2,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no tratamento CT, enquanto a temperatura máxima foi  $1,18\text{ }^{\circ}\text{C}$  no tratamento CS. Durante o decorrer do tempo verificou-se que a temperatura do ar baixou desde o início até o fim do período, sendo que as 05h00min a temperatura média do ar foi  $0,52\text{ }^{\circ}\text{C}$  e as 07h30min foi  $-0,59\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Em relação aos tratamentos, a menor média de temperatura do ar foi encontrada, durante todo o intervalo de tempo, no tratamento CT, com média de  $-0,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os maiores valores de temperatura do ar foram verificados no tratamento CS, quando a média para o período foi  $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Com valores de temperatura do ar intermediários aos encontrados nos demais tratamentos, em LSP e SSP a temperatura média do ar foi  $-0,46\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-0,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

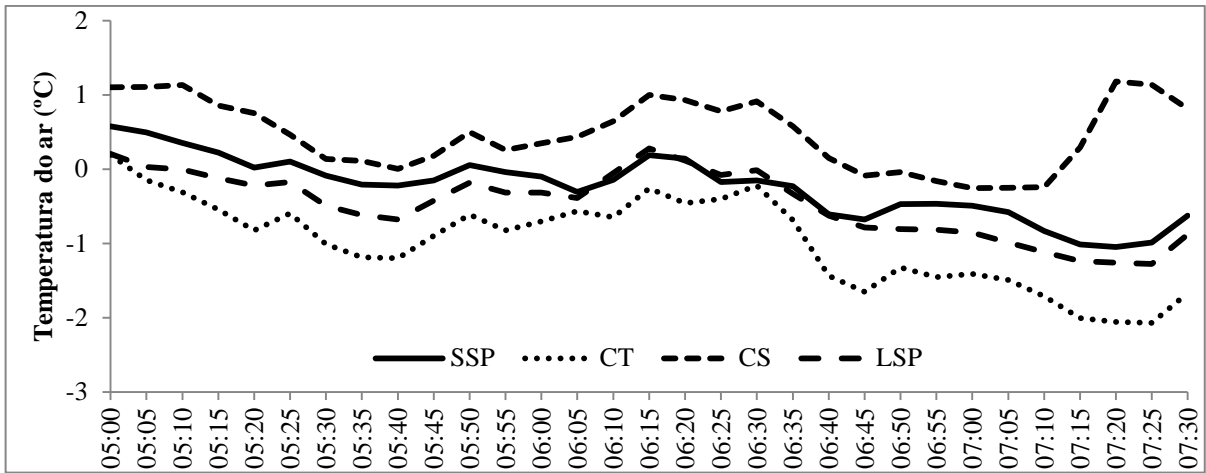


Figura 23 - Temperatura do ar a 3 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

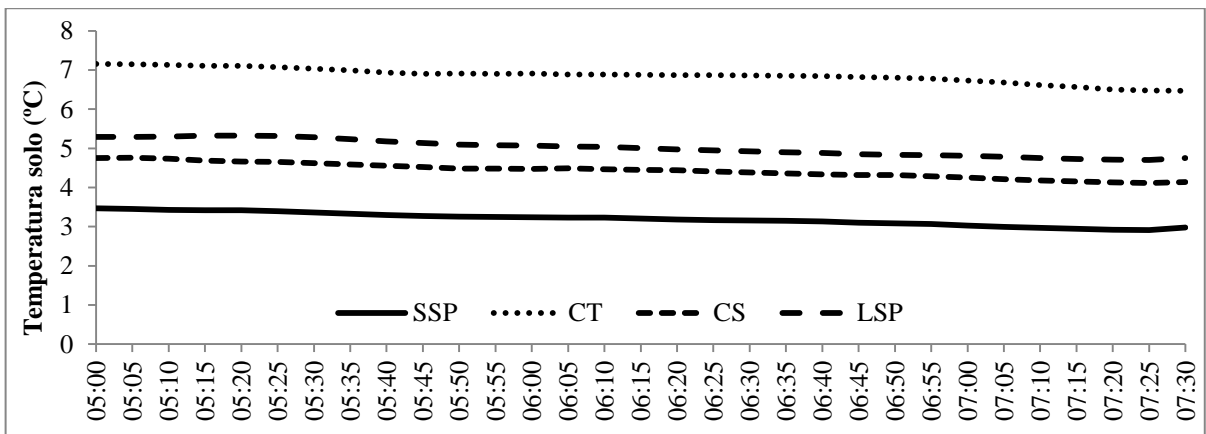


Figura 24 - Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Na geadas ocorrida em 19/06/2014 a média de temperatura do solo a 2 cm de profundidade para todos os tratamentos no período de 05h00min a 07h30min foi 4,88 °C, com a menor média de temperatura do solo de 2,91 °C no tratamento SSP e maior 7,15 °C no tratamento CT (Figura 24). A resposta da temperatura do solo apresentou-se diferente daquela encontrada nos dias 24/05/2014 e 03/06/2014, uma vez que no tratamento CT a temperatura do solo se apresentou com valores superiores aos demais tratamentos (média de 6,86 °C). No

entanto, assim como nas outras datas avaliadas, as menores temperaturas do solo foram encontradas no tratamento SSP, com temperatura média de 3,19 °C. Enquanto isso, no tratamento CS e LSP, a temperatura do solo apresentou valores intermediários aos demais tratamentos, com médias de 4,43 °C e 5,01 °C, respectivamente.

A média da temperatura da roseta das plantas no dia 19/06/2014, nos quatro tratamentos, em todo o período avaliado (05h00min até 07h30min) foi 0,32 °C (Figura 25). Em relação a extremos de temperatura das rosetas, o menor valor médio foi encontrado no tratamento CT, com valor de -1,51 °C, enquanto o maior valor foi em CS, com valor de 1,51 °C. Além disso, desde o início até o fim das avaliações verificou-se que a média de temperatura das rosetas apresentou um sutil decréscimo, sendo que as 05h00min a média foi 0,97 °C e as 07h30min foi 0,05 °C. Em contraponto ao que foi encontrado em 24/05/2014 e 03/06/2014, os menores valores de temperatura das rosetas foram encontrados durante todo o intervalo de tempo no tratamento CT, com a média para o período em consideração de -0,69 °C. Porém, assim como nas datas anteriores, o tratamento CS exibiu os maiores valores de temperatura das rosetas, com média de 0,96 °C. Enquanto isso, nos tratamentos LSP e SSP a temperatura das folhas mostrou valores intermediários aos demais, embora com valores mais próximos ao tratamento CS do que CT, com valores de 0,42 °C em LSP e 0,60 °C em SSP.

Na geada do dia 19/06/2014 o Rn (Figura 20) e a temperatura do solo a 2 cm de profundidade (Figura 24) apresentaram pouca ou nenhuma oscilação durante a madrugada. Apesar disso, foram encontrados diferentes valores entre os tratamentos, quando no tratamento CT, com 82% da superfície coberta com palha (Apêndice T) foi encontrada a maior temperatura do solo, o que está de acordo com o encontrado por Furlani et al. (2008), que também encontrou maior temperatura do solo quando havia maior presença de palha na superfície. Isso ocorre, segundo Araújo et al. (1999), porque a palhada sobre o solo atua como isolante e dificulta trocas energéticas com o ar adjacente, assim o solo se resfria menos durante períodos frios. Nesse sentido, a temperatura do solo no tratamento SSP foi em média 3,6 °C mais baixa que no tratamento CT, enquanto nos tratamentos CS e LSP, que apresentavam 53 e 59% da superfície coberta com palha os valores foram intermediários aos tratamentos CT e SSP (Figura 24).



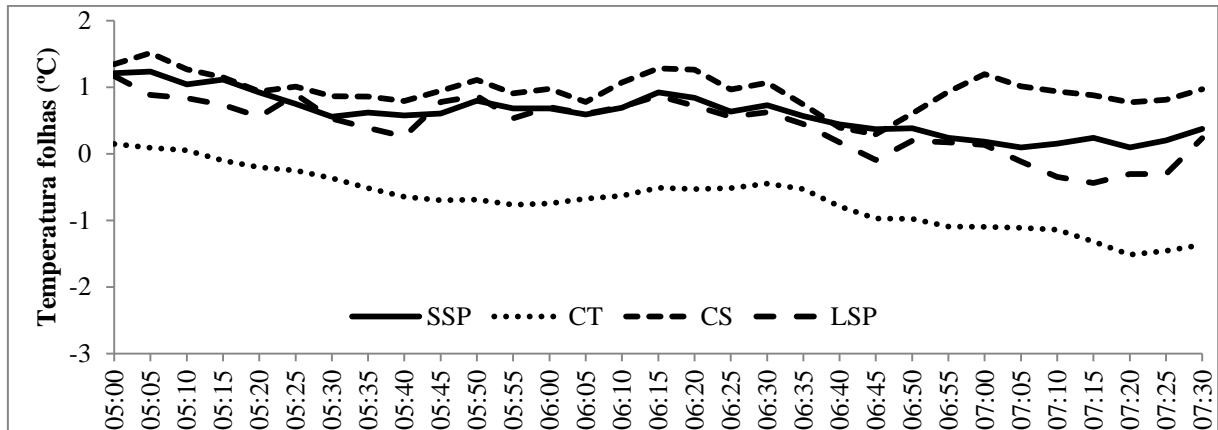


Figura 25 - Temperatura de folhas em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

O Rn no período noturno é comandado principalmente pela emissão de ondas longas da superfície e pela contraradiação da atmosfera. Assim, de acordo com a lei de Stefan-Boltzmann, a emissão de ondas longas de uma superfície é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura, portanto, o Rn menos negativo em CT ocorre pelo maior resfriamento da palha que é decorrente do efeito de isolamento que a palha exerce sobre o solo (FONTANA; BERLATO; BERGAMASCHI, 1991). Considerando a média dos tratamentos, em CT registrou-se Rn aproximadamente  $25 \text{ W m}^{-2}$  menos negativo do que em CS e SSP (Figura 20), enquanto essa diferença aumentou para  $34 \text{ W m}^{-2}$  para o tratamento LSP. Essa resposta está de acordo com a temperatura média da superfície que foi  $0,68 \text{ }^{\circ}\text{C}$  mais baixa em CT do que em SSP, enquanto entre CS e CT essa diferença foi de  $0,76 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os tratamentos SSP e CS apresentaram valores de temperatura da superfície próximos, porém, de acordo com a resposta encontrada no Rn, a temperatura da superfície em CS deveria apresentar-se mais baixa para estar de acordo com a lei de Stefan-Boltzmann, o que não ocorreu. Esse contraste na resposta entre as variáveis Rn e Tifvr nos tratamentos CS e SSP, provavelmente, ocorreu porque a área de leitura dos termômetros infravermelhos era menor que a área de leitura do saldoradiômetro, e como a distribuição de palha sobre o solo em CS era desuniforme, a superfície coberta pela palhada na área de leitura do termômetro infravermelho em CS pode não ter sido a mesma que na área de leitura do saldoradiômetro, o que provocou essa contradição entre os dados de Rn e Tifvr. Para isso, em futuros estudos envolvendo as duas variáveis, é imprescindível que os dois sensores (termômetro infravermelho e

saldoradiômetro) sejam posicionados de forma a medir exatamente a mesma área da superfície, sendo uma alternativa posicionar os sensores mais próximos à superfície do solo, embora deva-se tomar precauções para que os sensores provoquem mínima interferência sobre as variáveis medidas. Mesmo assim, para o presente estudo ressalta-se que os valores de  $R_n$  e  $T_{fvr}$  nos dois tratamentos foram próximos entre si, o que minimiza a resposta contrastante entre as variáveis.

A temperatura do ar a 3 cm de altura apresentou oscilação relativamente alta (Figura 23), o que provavelmente é explicado por pequenos pulsos de brisa noturna com mudanças frequentes da direção dos fluxos de ar (Figura 26), que provocava maior transferência de calor sensível do ar, uma vez que em CT, durante todo o período, foram visualizados menores valores. Em seguida foi verificada a variação na temperatura da roseta da planta, porém menos acentuada que a temperatura do ar (Figura 23). No tratamento CT a roseta das plantas apresentou resfriamento mais intenso do que os demais tratamentos (CT, CS e LSP), provavelmente, devido ao maior resfriamento da superfície da palha e conseqüentemente do ar adjacente, uma vez que as plantas encontravam-se praticamente em contato com a palha.

No tratamento CS a partir de 06h45min a temperatura da roseta das plantas e a temperatura do ar, a partir das 07h00min, aumentaram rapidamente, com tendência distinta daquela encontrada nos outros três tratamentos. O que possivelmente está relacionado à ocorrência de brisa localizada na unidade experimental em que foi medida a temperatura das plantas, associado ao aumento do  $R_n$  a partir das 07h00min. Esse pode ser um dos motivos pelo qual o tratamento CS apresentou menor resfriamento das plantas e do ar nesse período, mas, sobretudo, permite inferir que é este o porquê de em noites com maior calma e  $R_n$  mais negativo (19/06 e 14/08) o resfriamento mais intenso da superfície, do ar e das plantas ser mais intenso no tratamento CT.

Permite inferir também que em madrugadas com  $R_n$  menos negativo, com perturbações heterogêneas de fluxo de ar na forma de pequenos pulsos de brisa, o efeito da cobertura de palha na temperatura do ar e da roseta das plantas pode apresentar respostas não coerentes com a quantidade e distribuição de palha na superfície, uma vez que a tendência lógica é as menores temperaturas, tanto do ar como das plantas de canola, acontecerem em locais com maior quantidade de palha. Isso é reforçado pela variação da temperatura da superfície medida com termômetro infravermelho, associada às mudanças de velocidade e direção do vento. Nesse sentido, no período de 05h40min a 06h26min predominou velocidade do vento acima de  $0,6 \text{ m s}^{-1}$  (Figura 26), e assim, nesse período verificou-se que somente no tratamento CT houve aumento da temperatura da superfície, provavelmente porque a palha

estava isolada do solo e em função de sua rugosidade aerodinâmica (LYRA; PEREIRA, 2007), com o aumento da velocidade do vento, tenha ocorrido transporte de calor sensível do ar para a superfície da palha (HELDWEIN, 1993; LYRA, 2005). Aliado a isso, a palha possui menor calor específico que o solo, portanto determinou um aumento mais rápido da temperatura da superfície em CT, mas ainda assim permanecendo com temperatura na superfície menor do que nos tratamentos SSP, CS e LSP, que apresentaram temperatura da superfície em constante decréscimo.

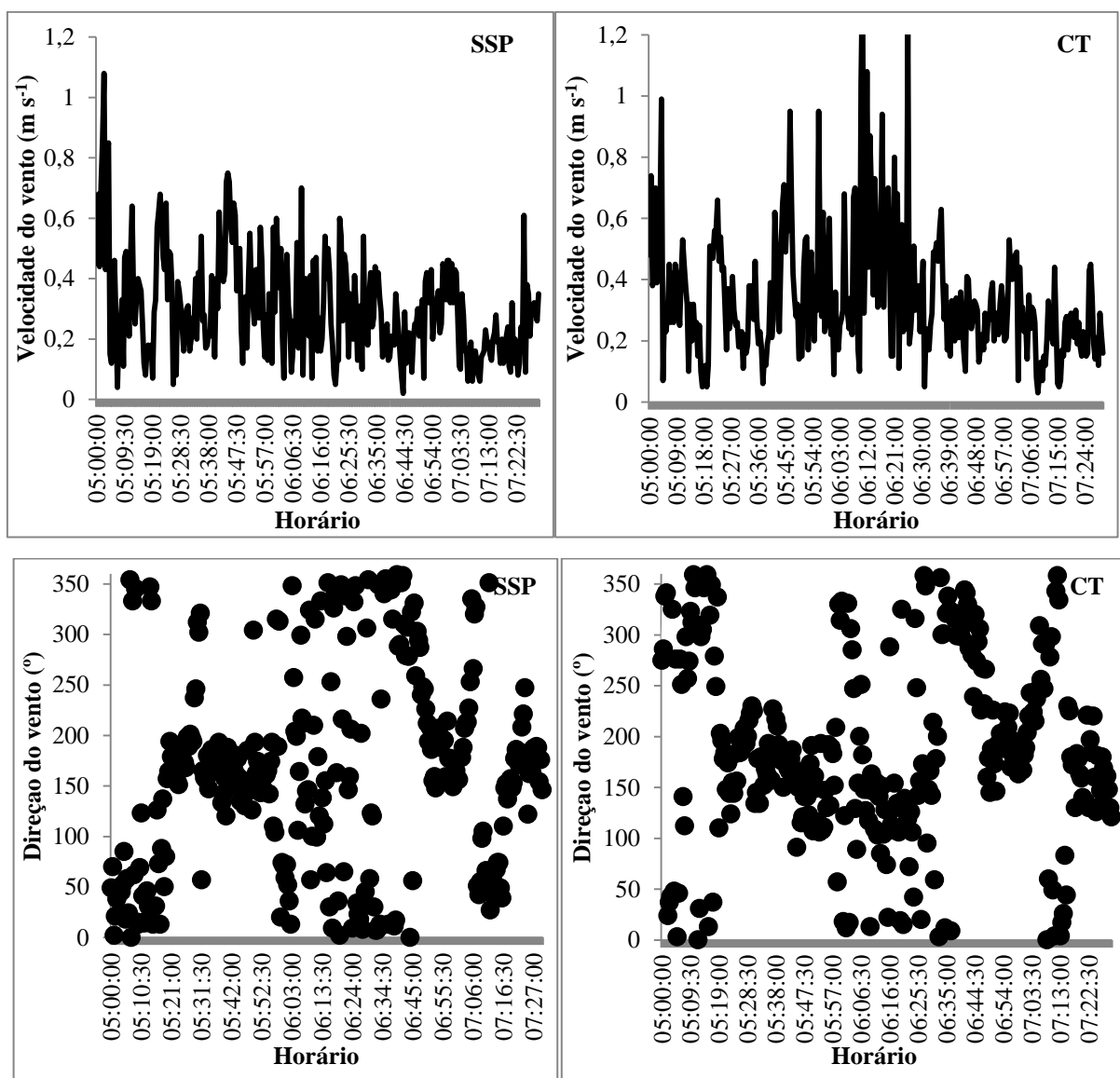


Figura 26 - Velocidade ( $\text{m s}^{-1}$ ) e direção do vento ( $^{\circ}$ ) nos tratamentos solo sem palha na superfície (SSP) e solo totalmente coberto com palha (CT) em 19/06/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

De acordo com Heldwein (1993) a velocidade do vento acima de  $0,6 \text{ m s}^{-1}$  a 1 m de altura pode produzir fluxos turbulentos junto às folhas em plantas de baixo porte durante a noite, o que aumenta o coeficiente de transporte de calor sensível. Portanto, a superfície da palha por estar mais fria que o ar (tratamento CT), provoca uma inversão térmica no ar alguns centímetros acima da superfície, que é mais acentuada do que se comparado com um solo desnudo. A partir do momento em que a velocidade do vento aumenta (e principalmente se for alcançada a velocidade de turbulência, que é  $0,6 \text{ m s}^{-1}$  a 1 m de altura), logo acima da palha se verifica um maior aumento relativo da temperatura do ar do que nos demais tratamentos, que tem menos palha na superfície. A temperatura da roseta das plantas se apresentou geralmente acima da temperatura do ar provavelmente porque estava em contato direto com solo, favorecendo assim a condução de calor do solo para a planta, suprimindo parte da energia perdida pelo  $R_n$  negativo. Considerando as Figuras 24 e 25 verifica-se que a temperatura do solo sempre foi maior do que a roseta das plantas em todos os tratamentos, reforçando assim o cenário de que o solo supriu energia às plantas. No tratamento CT verificou-se que a roseta das plantas apresentou temperatura bem menor do que nos demais tratamentos, o que provavelmente tenha como causa o menor contato da roseta da planta com o solo, devido à presença de palha. Aliado a isso, com a maior quantidade de palha sobre o solo, ao emergir a planta tende a vencer essa barreira de palha em busca de radiação solar, similarmente ao que ocorre com outras plantas (CORREIRA et al., 2005), o que fez a roseta das plantas ficar mais distante do solo e mais próxima da palha, acentuando assim o seu resfriamento.

Na noite de 19 e 20 de junho verificou-se que houve um contínuo resfriamento da superfície em todos os tratamentos (Figura 27), mesmo com velocidade do vento maior do que  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Nos períodos em que a velocidade foi em média menor do que  $0,6 \text{ m s}^{-1}$  (21h40min às 23h04min; 0h16min às 0h44min; 1h00min às 1h45min e pequenos períodos posteriores) ocorreu um resfriamento mais acentuado e quando novamente a velocidade do vento aumentou houve um retorno à tendência de diminuição de temperatura da superfície visualizado anteriormente (Figura 28). Considerando todo o período em que se manteve a tendência de resfriamento (18h00min às 1h45min), sempre a superfície coberta com palha (CT) se manteve significativamente menor do que nos outros três tratamentos, confirmando que durante o período em que as condições são favoráveis ao resfriamento da superfície, a retirada da palha na faixa da linha de semeadura melhora o microclima de forma a ser menos favorável ao dano por frio em plantas jovens de canola.

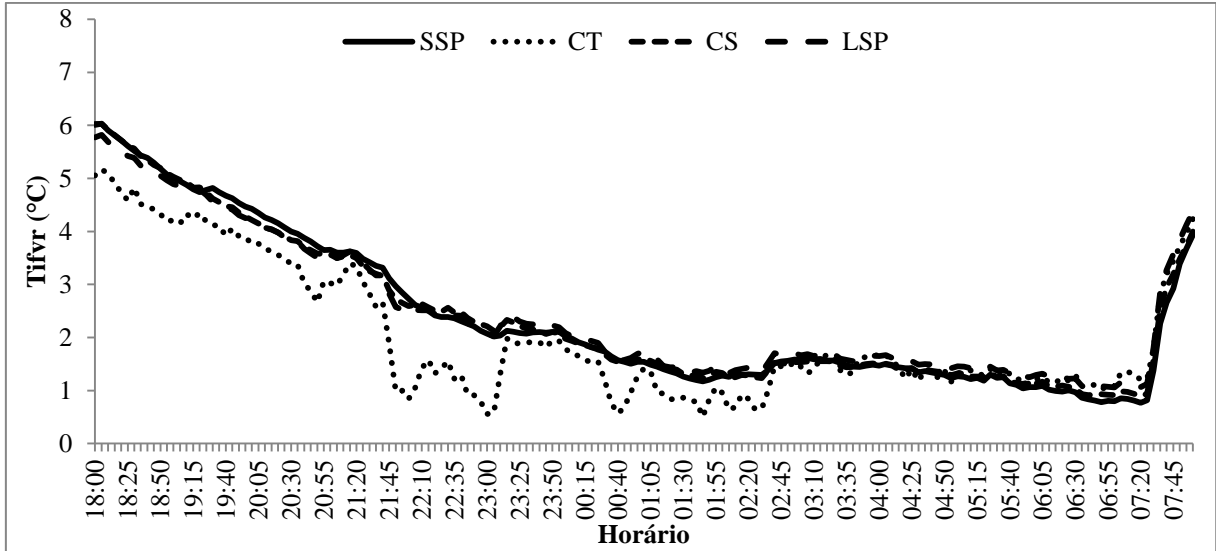


Figura 27 - Temperatura da superfície (Tifvr) medida com termômetro infravermelho no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) nos tratamentos solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) em canola. Coxilha-RS, 2014.

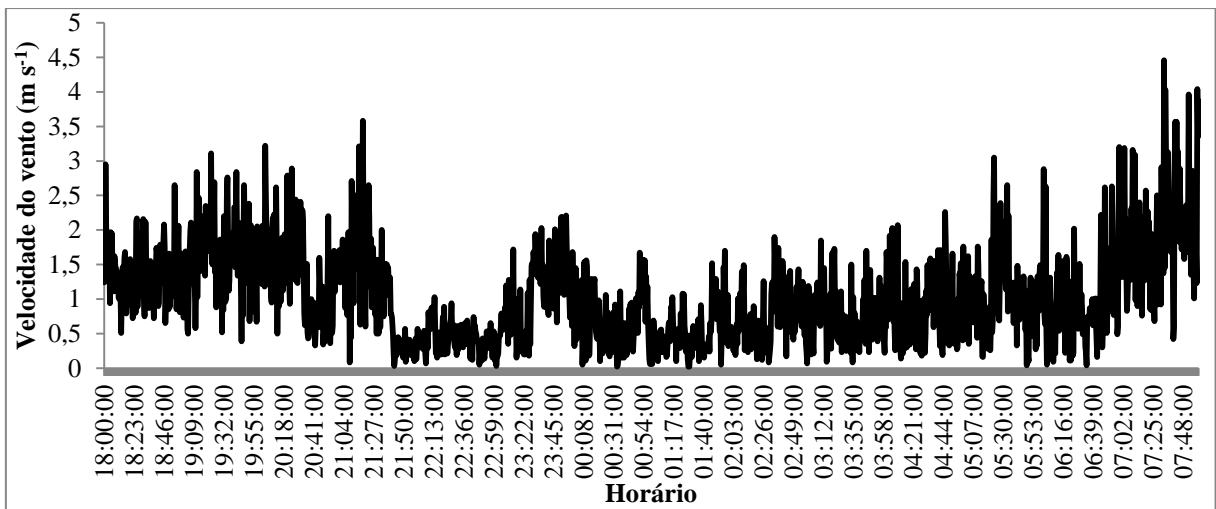


Figura 28 - Velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a 1 m de altura do solo medida no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.

Às 2h34min a direção do vento que era Sul mudou para sudeste e a velocidade aumentou para valores acima de  $1 \text{ m s}^{-1}$  (Figura 28), o que determinou um aumento da temperatura do ar (Figura 31), da roseta das plantas (Figura 30) e da superfície (Figura 32), principalmente no tratamento CT. Após as 4h00min verificou-se um decréscimo contínuo da

temperatura do ar até o nascer do sol (7h30min), mas com oscilações frequentes determinadas por flutuações na velocidade do vento. No entanto, este decréscimo da temperatura não mais se verificou nas rosetas das plantas (Figura 30), nem na superfície (Figura 32), principalmente no tratamento CT após esse horário. Isso pode ser atribuído em parte ao aumento do saldo de radiação de ondas longas da superfície (menos negativo) (Figura 31), que contribuiu para essa diferença de tendência da temperatura da superfície e das plantas em relação à temperatura do ar.

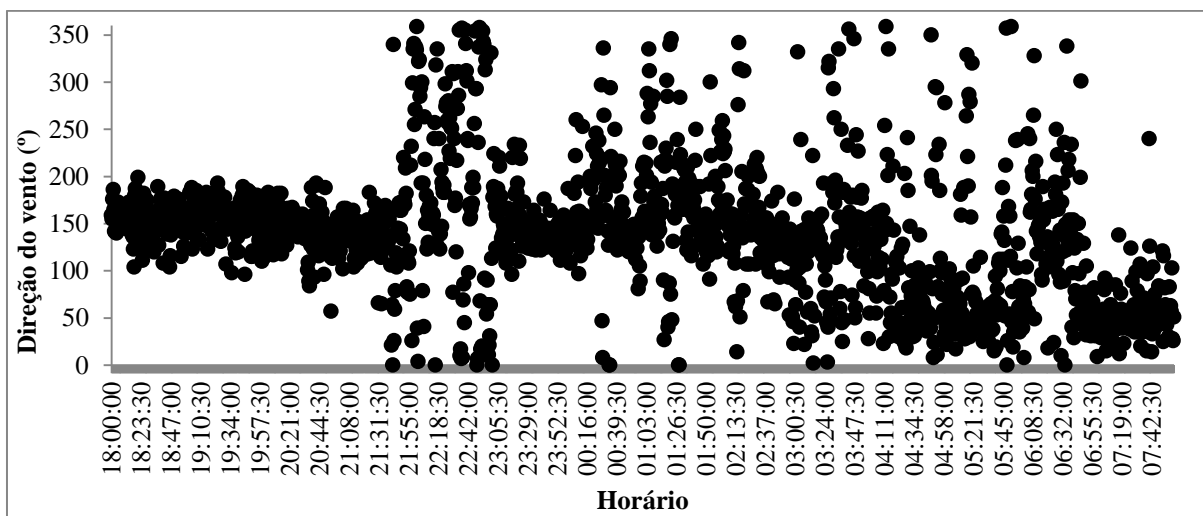


Figura 29 - Direção do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a 1 m de altura do solo medida no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.

Foi visualizada pequena camada de neblina no nível aproximado do topo da inversão térmica a partir das 2h30min em bacia hidrográfica situada na cidade de Passo Fundo, o que explicaria o aumento do  $R_n$  em nível de superfície nos tratamentos da área experimental. No entanto, próximo à superfície, a presença desse fenômeno não se confirmou de imediato nos níveis das medições micrometeorológicas na área experimental, visto que os valores de umidade relativa do ar (UR) foram bem menores do que 100%. Somente as 07h15min a UR aumentou rapidamente, alcançando 100%, o que confirma a presença de neblina também nos níveis próximos ao solo, ou seja, a 27 cm de altura.

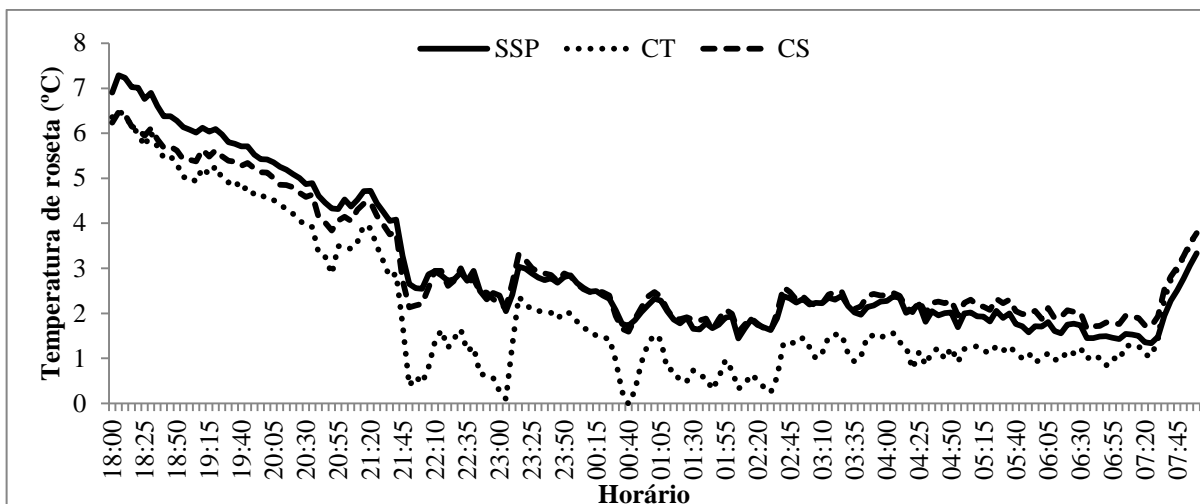


Figura 30 - Temperatura de rosetas de plantas de canola em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT) e solo com resíduos de outros cultivos (CS) no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.

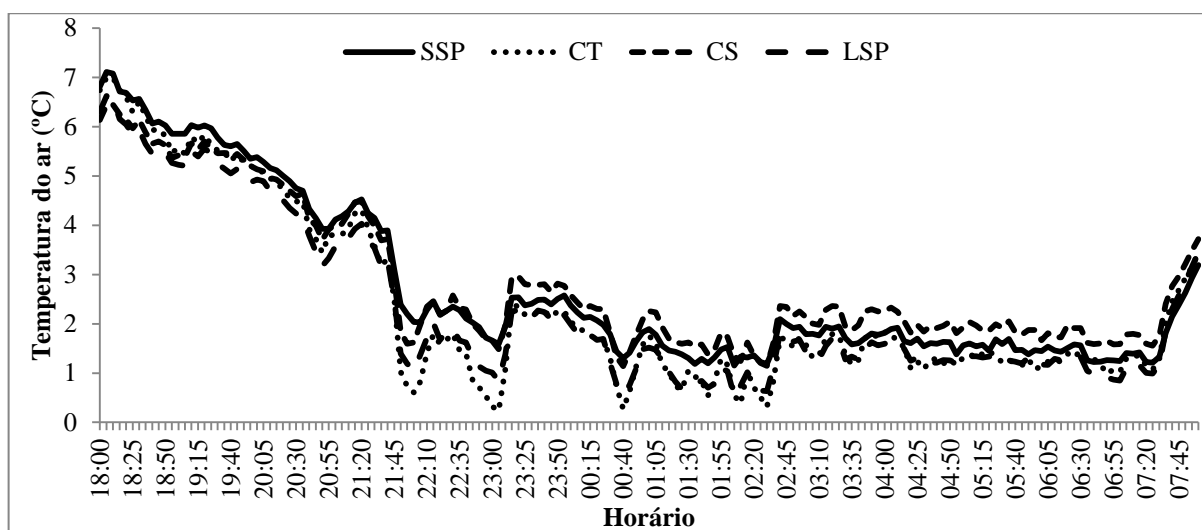


Figura 31 - Temperatura do ar a 3 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.

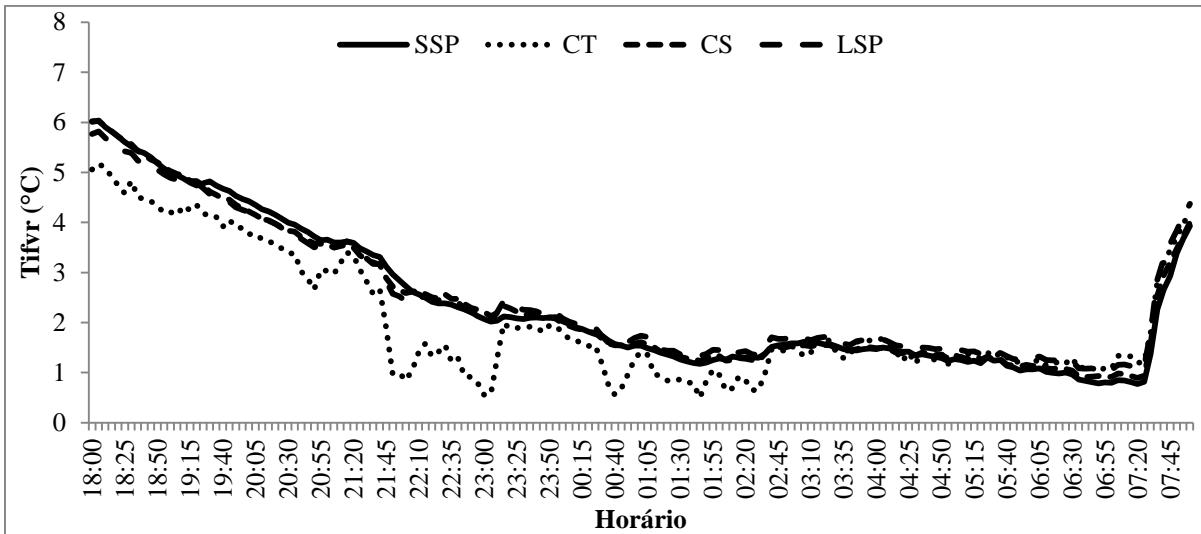


Figura 32 - Temperatura da superfície em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.

A presença de gotículas de água condensada, mesmo em pequenas camadas transfere parte das trocas de energia radiante com a atmosfera para a camada de neblina, principalmente para seu topo, o que poderia ter contribuído para a continuidade do resfriamento do ar sem haver resfriamento na superfície da palha e ou do solo abaixo. As diferenças de  $R_n$  entre os quatro tratamentos no período das 3h15min às 4h55min (Figura 33) não se explicam pelas diferenças de emissão de energia radiante, pois a temperatura da superfície foi similar nos quatro tratamentos, e sim pela maior ou menor contraradiação do ar acima, o que só seria possível se houvesse diferença de concentração de gotículas de água condensada acima dos tratamentos ou se houvesse diferença de condensação de água sobre os diferentes sensores saldoradiômetros.



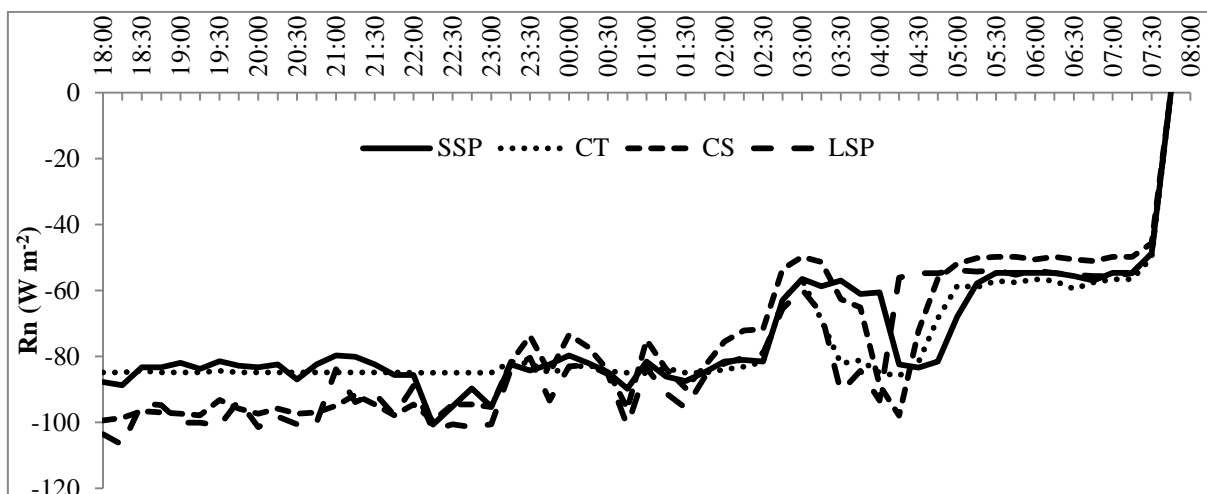


Figura 33 - Saldo de radiação (Rn) em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014) em canola. Coxilha-RS, 2014.

Pode-se inferir também que o resfriamento do ar a partir das 4h00min, mantendo-se até 7h30min, foi em parte decorrente do contato com as plantas e superfície abaixo, por estas estarem mais frias, e provavelmente também devido ao transporte advectivo de ar frio de outras partes do relevo, até porque após 7h00min a média da velocidade do vento aumentou significativamente e mesmo assim a temperatura do ar ainda decresceu substancialmente até às 7h30min. Assim, os resultados obtidos com as diferentes variáveis medidas, permitem inferir que, além do efeito local do tipo de cobertura da superfície no balanço de radiação, e conseqüentemente no balanço de energia, na temperatura das plantas, na temperatura da superfície e na temperatura do ar na área experimental, houve efeito significativo do transporte advectivo de ar frio das áreas adjacentes em função da conformação topográfica da minibacia hidrográfica, podendo causar também uma camada inicial estreita de nevoeiro. No entanto, os dados também confirmam que o efeito do transporte advectivo afeta bem mais a temperatura do ar do que a das plantas quando estas ainda são de pequeno porte e quando a velocidade do vento não é alta o suficiente para promover a mistura das camadas de ar frio estratificadas por diferença de densidade na camada de inversão térmica.

Dessa forma, a discussão dos resultados obtidos nas diferentes noites frias do período experimental fica sujeita a contradições se não for possível elucidar os efeitos peculiares específicos de cada condição de transporte advectivo de ar provenientes de áreas adjacentes, mais frio ou mais quente que a superfície e as plantas. No entanto, é a análise dos períodos de

intenso resfriamento noturno que melhor respaldam a informação desejada de qual é o tratamento de cobertura do solo que mais atenua o resfriamento das plantas jovens de canola e, portanto, retardam ou evitam a ocorrência de condições térmicas causadoras de dano por geada.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados de sobrevivência de plantas de canola à geada ocorrida em 19/06/2014. As plantas nesta data estavam em estágio B1 (9 dias após a emergência), ou seja, com uma folha desenvolvida e com altura média menor que 5 cm. A primeira avaliação após a geada foi realizada em 26/06/2014 e foi verificada mortalidade de plantas somente no tratamento CT, que diferiu significativamente quanto à sobrevivência de plantas, em relação aos outros tratamentos, que apresentaram 100% de sobrevivência. Em 02/07/2014, duas semanas após a geada de 19/06/2014, verificou-se que na semana compreendida entre 25/06/2014 e 02/07/2014 a mortalidade de plantas foi maior do que na semana anterior. Além disso, novamente verificou-se que somente o tratamento CT apresentou sobrevivência de plantas significativamente menor que os tratamentos de SSP, CS e LSP, que não apresentaram diferenças significativas entre si, embora em CS 5,5% das plantas tenham morrido devido à geada. Esse resultado era esperado, uma vez que a palha na superfície do solo atua como uma barreira física restringindo as trocas energéticas entre solo e atmosfera, o que leva a uma redução mais acentuada da temperatura do ar próximo a palhada (PREVEDELLO, 1996; SILVA et al., 2006). Assim, a menor média de temperatura do ar próximo às plantas no tratamento CT (3 cm de altura do solo) foi  $-2,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Esse valor foi  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  mais baixo que no tratamento LSP, que não apresentou morte de plantas. Além disso, as plantas em CT foram expostas por quase uma hora (06h40min a 07h30min) a temperatura do ar na faixa de  $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-2,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sendo que no mesmo período em LSP essa variação foi de  $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Isso indica que a mortalidade de plantas de canola em estágio B1 iniciou somente com temperatura do ar abaixo de  $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A temperatura exata em que as plantas morreram não foi determinada, no entanto, este valor é próximo ao que foi encontrado por Wilen et al. (2004), que para plantas em mesmo estágio de desenvolvimento que neste estudo (B1), verificaram morte de plantas ou retardamento no desenvolvimento das mesmas com temperatura do ar na faixa de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

É importante ressaltar que nos dias que antecederam a geada de 19/06/2014 não ocorreram temperaturas do ar com potencial para promover a aclimação ao frio na canola. A ocorrência de temperaturas ar com potencial de aclimação ( $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (RIFE; ZENAILI, 2003; TASSEVA et al., 2004) previamente a ocorrência da geada pode aumentar substancialmente a tolerância da canola aos danos provocados pelo frio. Nesse sentido, os

resultados de morte de plantas em função da temperatura do ar na geada de 19/06/2014 estão de acordo com Dalmago et al. (2010), que em ambiente controlado verificaram que a temperatura do ar de -2 °C provocou danos foliares em plantas de canola até 15 dias após a emergência em plantas não aclimatadas ao frio. Os autores ainda verificaram que após período de aclimação somente foram visualizados danos foliares com temperatura do ar de -6 °C.

Para o mesmo período em que foram registradas as menores temperaturas do ar (06h40min a 07h30min), a temperatura da roseta das plantas variou de -0,7 °C a -1,5 °C no tratamento CT e de 0,2 °C a -0,35 °C em LSP, ou seja, a temperatura da roseta foi maior que a temperatura do ar. Isso ocorreu, provavelmente, devido à proximidade da roseta das plantas com o solo (aproximadamente 2 cm) que supriu a energia perdida por irradiação de ondas longas pelas plantas. Assim, isso indica que em nível de tecido vegetal a morte das plantas pode ocorrer com temperaturas mais altas que -1,5 °C para a canola em estágio fenológico B1 e que em estudos envolvendo danos por frio em canola, além da temperatura do ar, a temperatura das plantas, ou especificamente das folhas, deve ser considerada para a correta caracterização da interação entre o ambiente e a resposta das plantas. Além disso, o tempo de exposição das plantas a temperaturas congelantes é outro fator determinante a ser considerado na quantificação de danos em plântulas de canola.

Tabela 6 - Sobrevivência de plantas (%) de canola em 7 e 14 dias após ocorrência de geada em 19/06/2014 na segunda data de semeadura em solo sem palha em superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP)<sup>(1)</sup>. Coxilha – RS, 2014.

Data de semeadura	Data de avaliação	Sobrevivência de plantas/Tratamento				CV (%)
		SSP	CT	CS	LSP	
29/05/2014	18/jun	100A	100A	100A	100A	0
29/05/2014	26/jun	100A	91,75B	100A	100A	8,42
29/05/2014	03/jul	100A	70B	94,5A	100A	7,95

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.6.3 Dia 26 e 27 de julho de 2014

Nas datas de 26 e 27 de julho de 2014 foram medidas as seguintes variáveis: saldo de radiação ( $R_n$ ), temperatura de folhas, temperatura do ar a 3 cm do solo, temperatura do solo a 2 cm de profundidade, temperatura do ar a 27 cm do solo e temperatura da superfície do solo ( $T_{ifvr}$ ).

Em relação ao dia 19/06/2014 o  $R_n$  do dia 26/07/2014 (Figura 34) apresentou-se menos negativo em todos os tratamentos em todo o período avaliado, tendo variado de  $-53 \text{ W m}^{-2}$  a  $-79 \text{ W m}^{-2}$ . Além disso, no intervalo avaliado foram verificadas oscilações nos valores de  $R_n$  em todos os tratamentos. Embora ocorressem oscilações, no dia 26/07/2014 o tratamento CS apresentou o  $R_n$  menos negativo, resposta distinta daquela encontrada no dia 19/06/2014, quando o tratamento CT apresentou  $R_n$  menos negativo. Porém, ressalta-se que no dia 19/06/2014 as perdas radiativas pela superfície foram maiores que em 26/07/2014. O tratamento CT apresentou valores de  $R_n$  próximos aos de CS, porém sempre com valores ligeiramente mais negativos. Os tratamentos SSP e LSP apresentaram valores de  $R_n$  praticamente iguais até as 06h30min, quando após esse momento o tratamento LSP passou a ser menos negativo até 07h15min.

No dia 27/07/2014 o  $R_n$  variou na faixa de  $-50 \text{ W m}^{-2}$  a  $-76 \text{ W m}^{-2}$  (Figura 35). Assim como no dia 26/07/2014 (Figura 34), o tratamento CS apresentou o  $R_n$  menos negativo durante todo o período de avaliação. Os tratamentos CT, SSP e LSP apresentaram o  $R_n$  com valores muito próximos durante todo o intervalo avaliado, sendo estes tratamentos mais negativos que CS. A única exceção a esta resposta foi verificada nos horários compreendidos entre 05h00min e 05h30min, quando o tratamento CT mostrou-se menos negativo que os tratamentos CS e LSP.

Em 26/07/2014 a  $T_{ifvr}$  (Figura 36) apresentou resposta semelhante ao dia 19/06/2014 (Figura 21), com média para os quatro tratamentos em todo o período de avaliação (05h00min a 07h30min) de  $0,89 \text{ }^\circ\text{C}$ . No tratamento CT foram encontrados os menores valores para o período em avaliação, com média de  $0,41 \text{ }^\circ\text{C}$ . Além disso, os tratamentos SSP, CS e LSP também se mostraram semelhantes, com temperaturas muito próximas entre si durante todo o período. Os valores médios de  $T_{ifvr}$  para o período avaliado foram de  $1,09 \text{ }^\circ\text{C}$  para SSP,  $0,92 \text{ }^\circ\text{C}$  para CS e  $1,16 \text{ }^\circ\text{C}$  para LSP. A menor  $T_{ifvr}$  registrada foi  $-0,21 \text{ }^\circ\text{C}$  no tratamento CT, enquanto a maior foi  $1,94 \text{ }^\circ\text{C}$  no tratamento LSP. Assim como no dia 19/06/2014, os valores

da Tifvr apresentaram ligeiro declínio desde as 05h00min até 07h30min, com média 1,74 °C para as 05h00min e 0,93 °C as 07h30min.

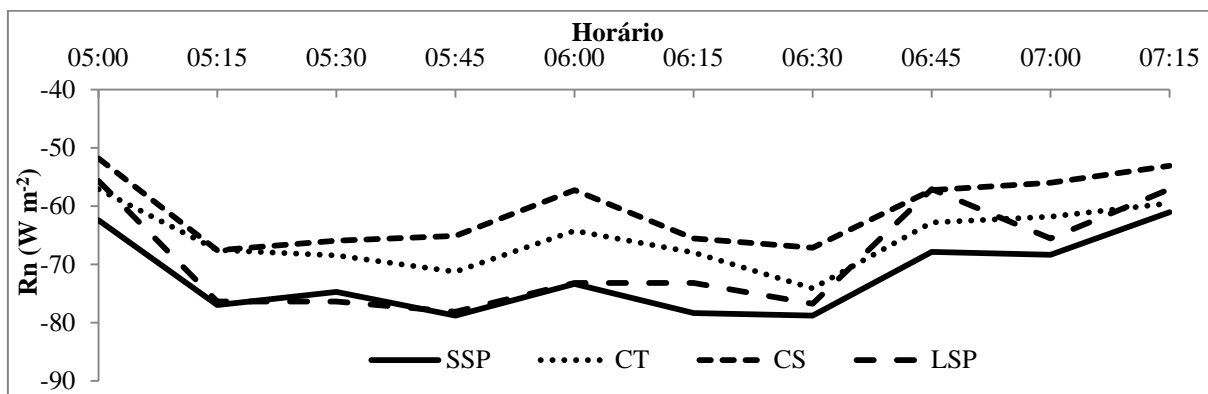


Figura 34 - Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.

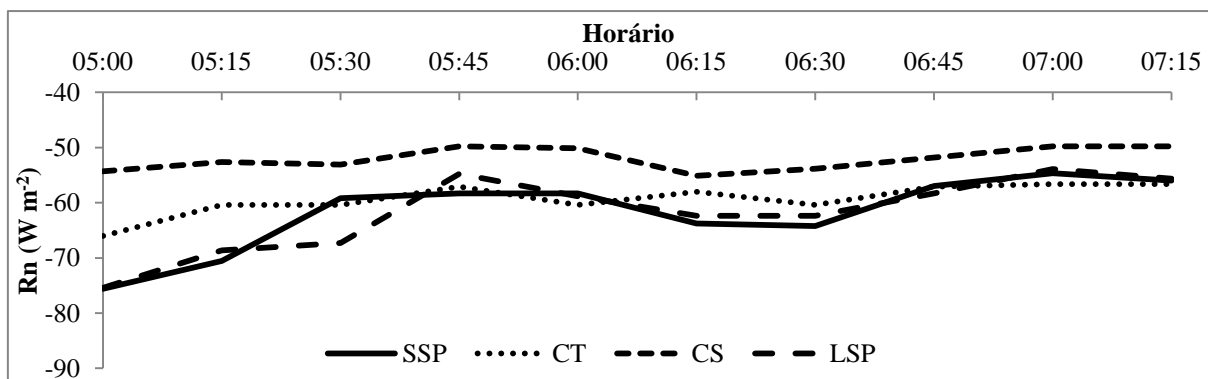


Figura 35 - Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.

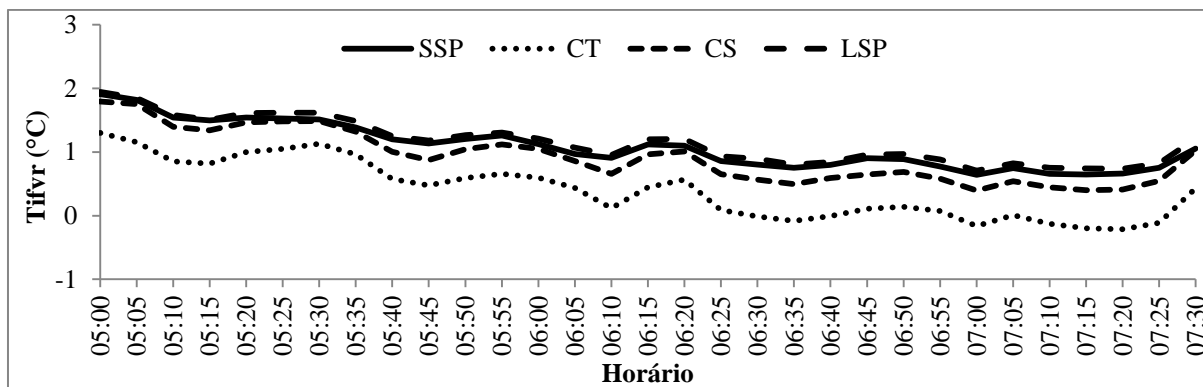


Figura 36 - Temperatura da superfície medida com termômetro infravermelho em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Na geada ocorrida no dia 27/07/2014 os menores valores de Tifvr para o período de 05h00min a 07h30min foram registrados no tratamento CT, com média para o período de 0,97 °C (Figura 37). Os tratamentos SSP, CS e LSP, assim como em 19/06/2014 e 26/07/2014, apresentaram valores de Tifvr superiores ao CT e semelhantes entre si, exibindo média geral para o intervalo de 05h00min a 07h30min de 1,54 °C para SSP e CS, enquanto para o tratamento LSP a média foi de 1,68 °C. Considerando os quatro tratamentos avaliados, a menor Tifvr encontrada foi 0,39 °C no tratamento CT e a maior foi 2,10 °C no tratamento LSP, sendo a média dos quatro tratamentos dentro do período avaliado de 1,44 °C. Diferentemente do que foi encontrado em outras datas com ocorrência de geada, a Tifvr apresentou maiores oscilações, especialmente no tratamento CT. Foram verificadas duas oscilações nos valores, sendo que nos dois casos a Tifvr apresentou declínio mais acentuado do que nos demais tratamentos. No primeiro caso, as 05h30min a Tifvr apresentava-se em 1,78 °C, baixando para 0,28 °C, as 05h50min. Logo em seguida, as 06h05min, a Tifvr aumentou para 1,20 °C, e na sequência baixou para 0,39°C as 06h15min, e as 06h40min já aumentou para 1,20°C, novamente.

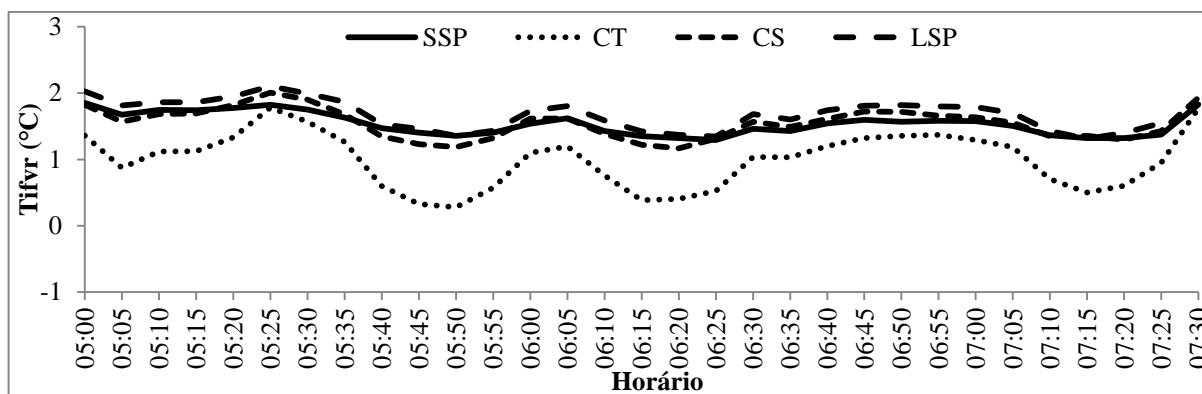


Figura 37 - Temperatura da superfície medida com termômetro infravermelho em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

A temperatura do ar a 27 cm de altura em 26/07/2014 (Figura 38) apresentou curva de resposta similar a aquela encontrada no dia 19/06/2014. Além disso, a média de temperatura do ar para o período de 05h00min até 07h30min, considerando todos os tratamentos, foi 0,46 °C, ou seja, muito próximo ao valor encontrado em 19/06/2014, que foi 0,48 °C. O menor valor médio de temperatura do ar encontrado foi -0,33 °C no tratamento SSP e o maior foi 1,80 °C no tratamento LSP. Em relação à temperatura do ar nos diferentes tratamentos de cobertura do solo, novamente verificou-se pequena diferença nos valores, sendo a menor média encontrada no tratamento de SSP com 0,41 °C. Os tratamentos CT, CS e LSP apresentaram valores muito próximos entre si, com 0,53 °C, 0,52 °C e 0,55 °C, respectivamente. Outra semelhança com o dia 19/06/2014 é o declínio da temperatura em todos os tratamentos com o decorrer do tempo, sendo que a média da temperatura do ar as 05h00min, no início da avaliação, foi 1,69 °C, enquanto as 07h30min, quando a temperatura já começava a subir, foi 0,20 °C.

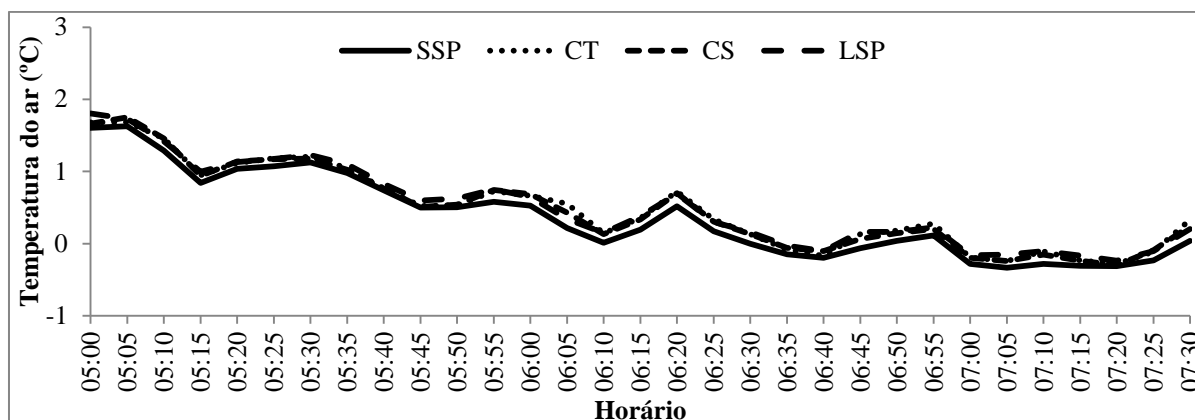


Figura 38 - Temperatura do ar (a 27 cm de altura do solo) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Em 27/07/2014 verificaram-se valores de temperatura do ar a 27 cm de altura do solo superiores aos encontrados em 19/06/2014 e 26/07/2014, uma vez que a média para o período de 05h00min a 07h30min, considerando os quatro tratamentos de cobertura do solo foi 2,04 °C (Figura 39). Nesse mesmo período, no tratamento SSP foi encontrada a menor temperatura do ar, com valor de 1,28 °C. Já no tratamento CS o valor de 2,81 °C corresponde ao maior valor de temperatura do ar para o intervalo avaliado. Assim como nas demais datas avaliadas, não foram verificadas grandes diferenças nos valores de temperatura do ar entre os tratamentos, principalmente nos tratamentos CT, CS e LSP, quando a média de temperatura do ar para o intervalo de tempo avaliado foi 2,09 °C em CT, 2,11 °C em CS e 2,09 °C em LSP. No tratamento SSP a temperatura do ar apresentou-se ligeiramente mais baixa que nos demais tratamentos em todo o período, quando a média para o período em questão foi 1,85 °C. Além disso, em todos os tratamentos foram encontradas flutuações nos valores de temperatura do ar com o decorrer do tempo, quando os valores variaram dentro da faixa de 1 °C a 3 °C.



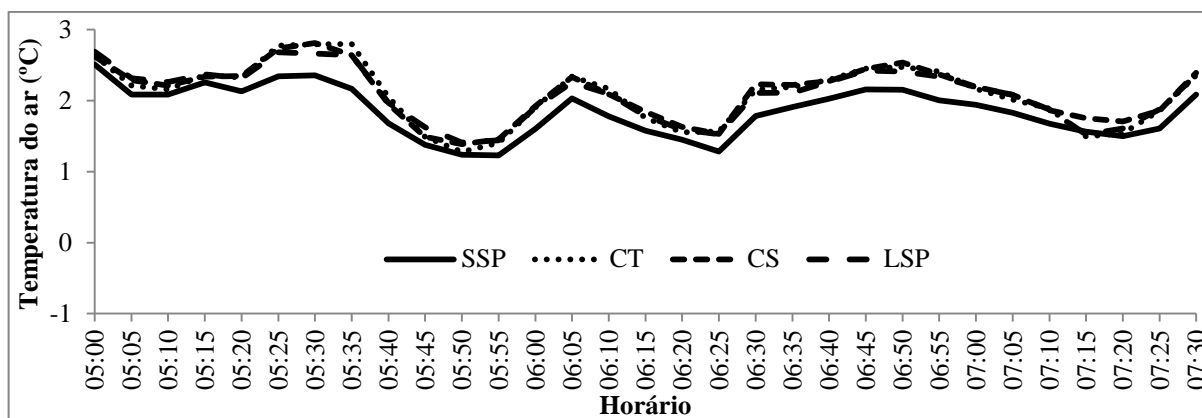


Figura 39 - Temperatura do ar (a 27 cm de altura do solo) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

No dia 26/07/2014, considerando os quatro tratamentos no intervalo de tempo avaliado (05h00min a 07h30min) a menor média da temperatura do ar a 3 cm de altura do solo foi 0,64 °C, com menor valor encontrado no tratamento CT (-0,66 °C) e maior no tratamento CS (2,15 °C) (Figura 40). Assim como no dia 19/06/2014, a temperatura do ar apresentou-se mais alta às 05h00min do que as 07h30min, com valores de 1,54 °C e 0,56 °C, respectivamente. Com diferença menor do que no dia 19/06/2014, em relação aos demais tratamentos, a temperatura do ar encontrada no tratamento CT apresentou os menores valores durante todo o período, com média 0,29 °C. No tratamento CS novamente foram encontrados os maiores valores de temperatura do ar durante todo o período, quando a média para o período foi 1,06 °C. Os tratamentos SSP e LSP exibiram valores de temperatura do ar intermediários aos tratamentos CT e CS, e valores muito próximos entre si, sendo que a média encontrada no período em questão para SSP foi 0,61 °C e para LSP foi 0,57 °C.

Para o dia 27/07/2014, a média de temperatura do ar a 3 cm de altura do solo nos quatro tratamentos no intervalo avaliado foi 1,51 °C, com valor médio mínimo de 0,24 °C no tratamento CT e médio máximo 2,69 °C em CS. Ainda, em 27/07/2014 (Figura 41) a temperatura do ar apresentou resposta semelhante aos dias 19/06/2014 e 26/07/2014 nos tratamentos de cobertura do solo, com os menores valores em CT, que apresentou média de 1,18 °C. No tratamento CS foram encontrados os maiores valores de temperatura do ar, com média de 1,95 °C, enquanto em SSP e LSP foram verificados valores intermediários aos demais tratamentos, com média de 1,56 °C e 1,42 °C, respectivamente. No entanto, durante o tempo avaliado ocorreram oscilações nos valores de temperatura do ar em todos os

tratamentos. Essa resposta foi constatada entre 05h30min e 06h30min, quando as 05h45min observou-se a primeira queda brusca na temperatura do ar, que logo em seguida, as 06h00min, aumentaram para valores semelhantes aos encontrados as 05h30min (1,75 °C). A segunda queda brusca na temperatura do ar aconteceu às 06h15min, e em seguida, as 06h30min, novamente houve aumento para valores próximos aos anteriormente encontrados (1,71 °C).

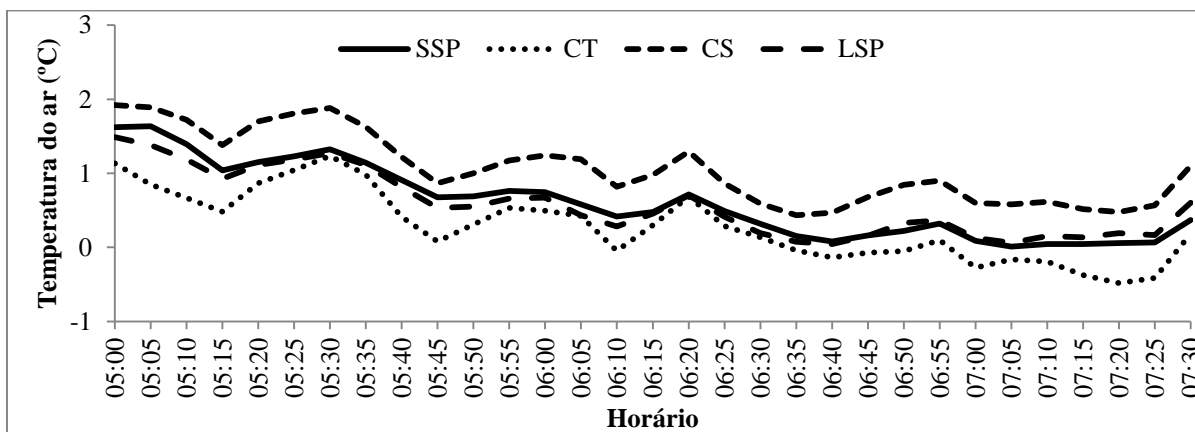


Figura 40 - Temperatura do ar (a 3 cm de altura do solo) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de sementeira sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

No dia 26/07/2014 a temperatura média do solo, nos quatro tratamentos de cobertura do solo no intervalo de tempo avaliado foi de 5,50 °C, com menor temperatura média encontrada no tratamento SSP (3,57 °C) e máxima no tratamento CT (7,36 °C) (Figura 42). Em relação aos tratamentos de cobertura do solo, foi encontrada resposta semelhante ao dia 19/06/2014, quando no tratamento SSP foram encontrados os menores valores de temperatura do solo. A temperatura do solo apresentou-se mais alta em todo o intervalo de tempo avaliado no tratamento CT, uma vez que a média foi 7,27 °C. Enquanto isso, nos tratamentos CS e LSP a temperatura média do solo foi 5,31 °C e 5,56 °C, respectivamente.

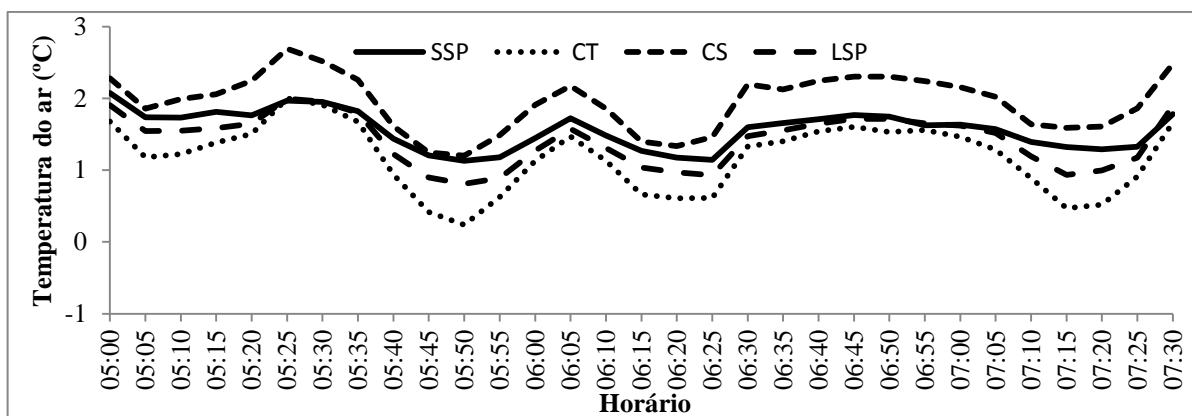


Figura 41 - Temperatura do ar (a 3 cm de altura do solo) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min. Coxilha-RS, 2014.

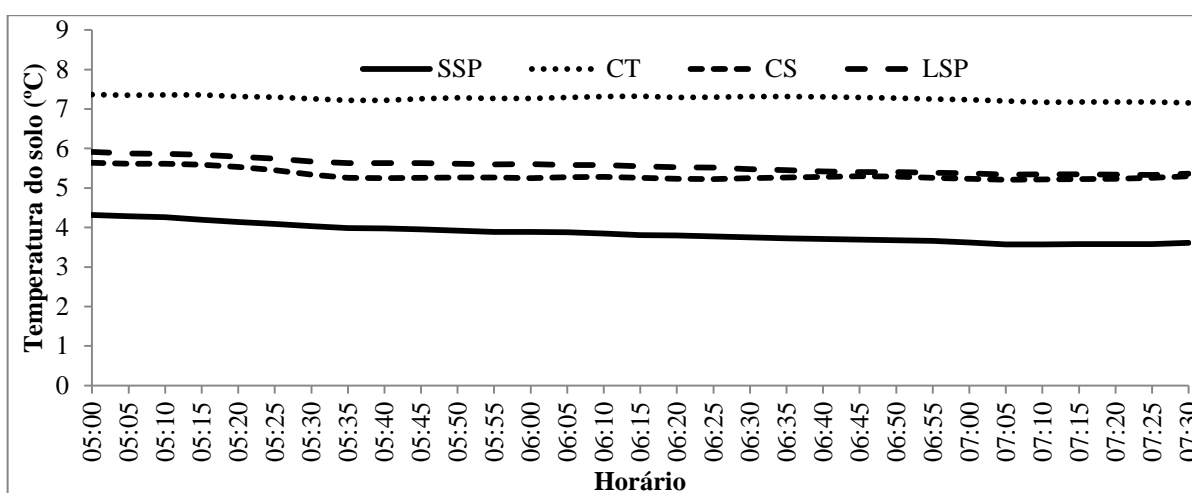


Figura 42 - Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Em 27/07/2014 os valores de temperatura do solo (Figura 43) foram muito próximos aos encontrados em 26/07/2014 (Figura 42), o que se constata pela média de temperatura encontrada no período de 05h00min a 07h30min, que foi 5,43 °C, ou seja, 0,07 °C mais baixa do que em 26/07/2014. Além disso, a menor média de temperatura do solo foi 3,72 °C e encontrada no tratamento SSP, enquanto a maior foi 7,35 °C e ocorreu no tratamento CT. No tratamento CT foram encontrados os maiores valores de temperatura do solo, com média de

7,11 °C. Já os tratamentos CS e LSP apresentaram valores de temperatura do solo intermediários aos demais tratamentos, e com médias próximas entre si, com a média em CS foi 5,15 °C e em LSP foi 5,50 °C.

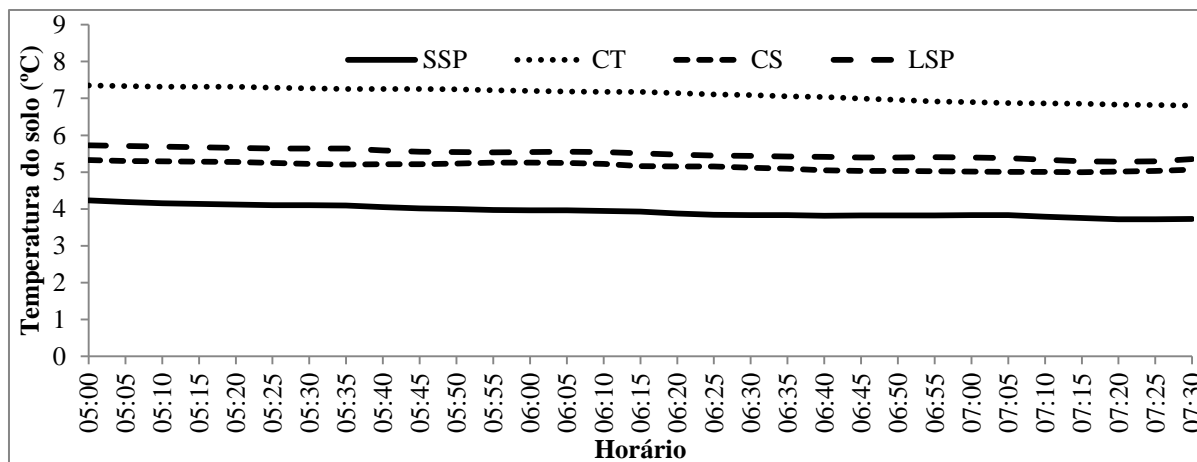


Figura 43 - Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h30min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Na geada ocorrida em 26/07/2014 a média de temperatura de folhas nos quatro tratamentos de cobertura de solo e considerando todo o intervalo de tempo avaliado foi 0,22 °C (Figura 44). No tratamento SSP o valor de -0,78 °C corresponde ao valor médio mais baixo para temperatura das folhas encontrado para a data em questão, enquanto isso, no tratamento CS encontrou-se a temperatura de folhas média mais elevada, com valor de 1,30 °C. Assim como em 19/06/2014, a média de temperatura das folhas decresceu com o decorrer do tempo, sendo que no início das avaliações a média nos quatro tratamentos foi 0,90 °C e no fim 0,19 °C. Porém, nos tratamentos a resposta de temperatura das folhas foi distinta daquela do dia 19/06/2014, sendo que, exceto o horário das 05h00min, quando os tratamentos LSP e CT apresentaram valores de temperatura de folhas similares, os menores valores foram sempre encontrados no tratamento LSP, com média de -0,12 °C para o período em questão. Já o tratamento CT, apesar de igualar-se a LSP no início das avaliações, quando se considera o período total, apresentou praticamente a mesma média de temperatura de folhas que em CS, com 0,41 °C para LSP e 0,40 °C para CS. Enquanto isso, no tratamento SSP, a média de temperatura de folhas foi 0,41 °C de média para todo o período.

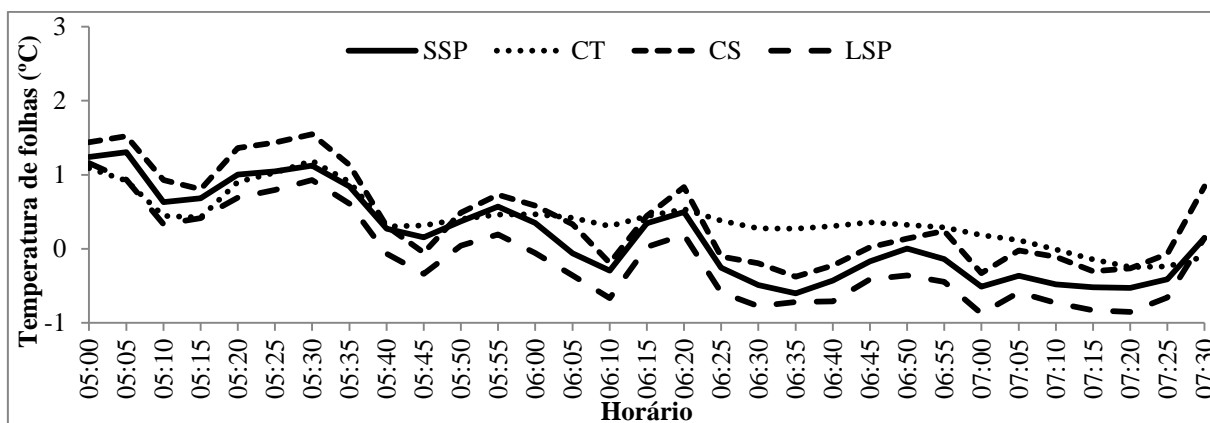


Figura 44 - Temperatura de folhas de canola em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 26/07/2014 no período de 05h00min a 07h15min em canola. Coxilha-RS, 2014.

A média de temperatura das folhas em 27/07/2014 foi 1,24 °C no intervalo de tempo compreendido entre 05h00min até 07h30min e considerando os quatro tratamentos de cobertura do solo (Figura 45). O valor de 0,12 °C condiz com a menor média de temperatura das folhas encontrada na presente data, sendo isso no tratamento CT. Já o valor máximo de temperatura das folhas foi 2,30 °C no tratamento CS. Durante o decorrer do tempo, em todos os tratamentos verificou-se que ocorreram oscilações nos valores de temperatura das folhas, com reduções e elevações razoavelmente acentuadas. Desta forma, os tratamentos CT e LSP apresentaram valores médios de temperatura das folhas muito parecidos, sendo 0,99 °C e 0,98 °C, respectivamente. No tratamento CS foram encontrados os maiores valores de temperatura de folhas em todo o período avaliado, sendo a média do período 1,70 °C, e em SSP a temperatura médias das folhas foi 1,28 °C.

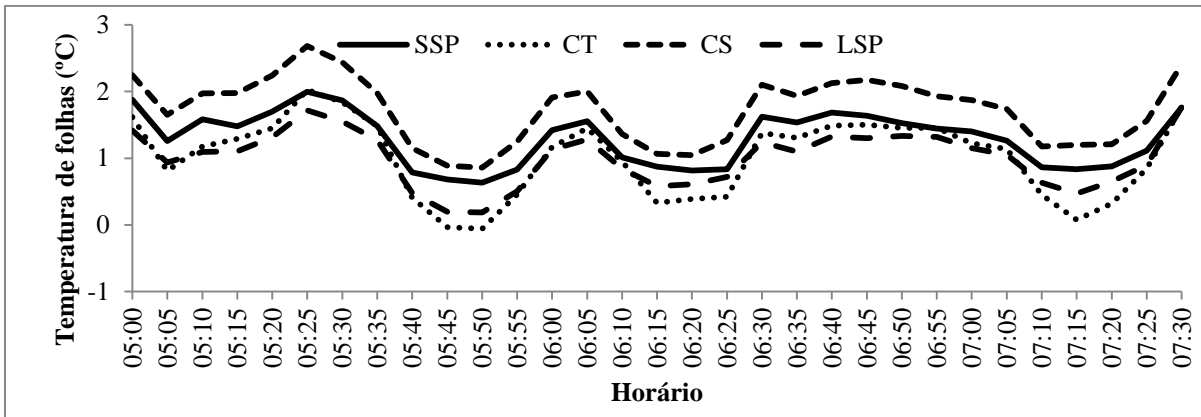


Figura 45 - Temperatura de folhas de canola em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 27/07/2014 no período de 05h00min a 07h15min canola. Coxilha-RS, 2014.

#### 4.6.4 Dia 14 de agosto de 2014

São apresentados os dados de saldo de radiação, temperatura de folhas, temperatura do ar a 3 cm do solo, temperatura do solo a 2 cm de profundidade, temperatura do ar a 27 cm do solo e temperatura da superfície do solo no dia 14/08/2014, na segunda data de semeadura da canola. As avaliações são correspondentes ao período entre 00h00min a 08h00min, intervalo de tempo no qual ocorreram os menores valores térmicos no ambiente nesta noite.

As perdas radiativas pela superfície no dia 14/08/2014 foram intensas, quando o  $R_n$  variou de  $-84 \text{ W m}^{-2}$  a  $-108 \text{ W m}^{-2}$  nos diferentes tratamentos de cobertura do solo (Figura 46). Assim como no dia 19/06/2014, quando a intensidade de perda de radiação pela superfície foi semelhante a esta data, o tratamento CT foi o que apresentou o  $R_n$  menos negativo, com valor constante de  $-84,9 \text{ W m}^{-2}$ , o que é um indicativo de ser esta a superfície exposta mais fria. Os tratamentos SSP e LSP apresentaram o  $R_n$  mais negativo na maior parte do tempo, com valores superiores a  $-100 \text{ W m}^{-2}$  e muito próximos entre si após as 3h00min. Considerando toda a madrugada, os tratamentos SSP, CS e LSP apresentam  $R_n$  médio de  $-95,5 \text{ W m}^{-2}$ ,  $-96,8 \text{ W m}^{-2}$  e  $-103,2 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente. No período de 00h00min a 03h00min os tratamentos SSP e CT apresentaram praticamente o mesmo valor de perda radiativa ( $-85 \text{ W m}^{-2}$ ). A partir de 03h00min os valores de  $R_n$  em SSP foram caindo (tornando-se mais negativos) quando a partir de 04h15min atingiram os valores mínimos, que foram semelhantes ao que ocorreu no tratamento LSP durante toda avaliação (cerca de  $-105 \text{ W m}^{-2}$ ). No período considerado

(00h00min a 07h00min) a diferença entre a média de Rn dos tratamentos LSP (o mais negativo) com CT (o menos negativo) foi de  $18 \text{ W m}^{-2}$ . Enquanto isso, no tratamento CS, que em datas com perdas radiativas menos intensas apresentou o Rn menos negativo, nesta data apresentou Rn mais negativo do que em CT e menos negativo do que no tratamento LSP durante todo o tempo avaliado.

Em 14/08/2014 verificou-se a maior intensidade de resfriamento dentre todas as datas avaliadas, uma vez que a média de Tifvr dos quatro tratamentos foi  $-3,42 \text{ }^\circ\text{C}$  as 05h00min. Durante todo o período avaliado, que foi de 00h00min até 08h00min, foram verificadas Tifvr negativas em todos os tratamentos, com média de  $-2,39 \text{ }^\circ\text{C}$  considerando-se a Tifvr dos quatro tratamentos no período (Figura 47). Os tratamentos CT, CS e LSP apresentaram valores de Tifvr semelhantes durante todo o período avaliado, com média de  $-2,32 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $-2,23 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $-2,41 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente, enquanto no tratamento SSP a Tifvr apresentou-se mais baixa que nos demais tratamentos durante toda a madrugada, sendo que a média para o período foi  $-2,61 \text{ }^\circ\text{C}$ .

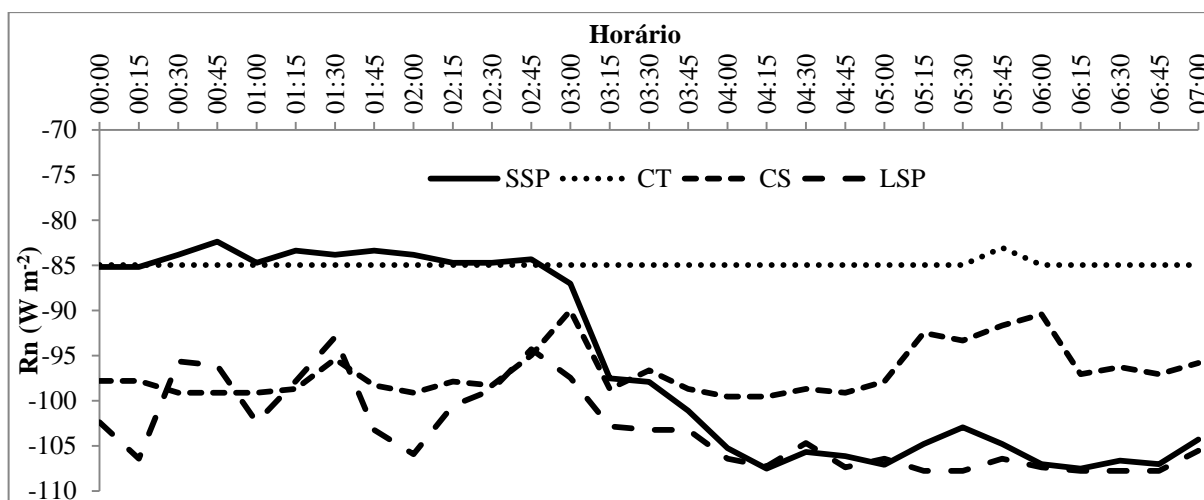


Figura 46 - Saldo de radiação em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 07h00min em canola. Coxilha-RS, 2014.

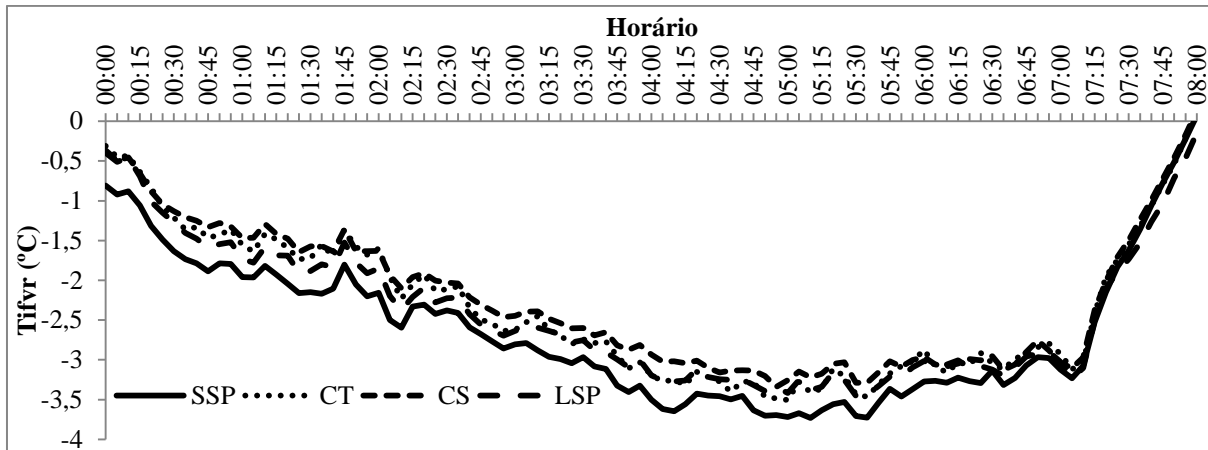


Figura 47 - Temperatura da superfície em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 08h00min em canola. Coxilha-RS, 2014.

A queda da temperatura da superfície apresentou declínio constante até as 04h00min, quando a partir deste horário o decréscimo da temperatura passou a ser mais suave, até o momento em que foram atingidas as menores Tifvr nos tratamentos (05h00min) (Figura 47). Ao observar a Figura 47, verifica-se que, ao invés de diminuir, a Tifvr segue aumentando continuamente em todos os tratamentos após as 5h00min. Como o solo tem capacidade calorífica maior do que a palha e a palha tem maior rugosidade aerodinâmica para trocar calor sensível com o ar (LYRA, 2005), no momento em que o fluxo de calor sensível supera as perdas de energia por  $R_n$  negativo (Figura 46), o solo não se aquece rapidamente, apresentando defasagem em relação às superfícies que apresentam algum tipo de cobertura vegetal.

Os menores valores de temperatura do ar (medida a 27 cm de altura do solo) dentre as datas avaliadas ocorreram no dia 14/08/2014 (Figura 48), uma vez que considerando o período de 00h00min a 08h00min, a média conjunta de todos os tratamentos foi  $-1,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nesse sentido, o menor valor médio de temperatura do ar foi  $-3,31\text{ }^{\circ}\text{C}$  no tratamento CT, as 05h10min, momento em que nos demais tratamentos também ocorreu a menor temperatura do ar. No intervalo entre 02h10min a 06h15min verificou-se que a temperatura do ar no tratamento CT foi mais baixa do que nos demais tratamentos, sendo a média para o período em questão de  $-2,67\text{ }^{\circ}\text{C}$  em CT,  $-2,39\text{ }^{\circ}\text{C}$  em CS,  $-2,38\text{ }^{\circ}\text{C}$  em LSP e  $-2,23\text{ }^{\circ}\text{C}$  em SSP. No entanto, as maiores diferenças entre os tratamentos foram encontradas no período de 04h15min até 06h15min, quando a média de temperatura do ar no tratamento CT foi  $-3,09\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,



em LSP foi  $-2,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , em CS foi  $-2,69\text{ }^{\circ}\text{C}$  e em SSP foi  $-2,64\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A partir das 06h15min até 07h00min os quatro tratamentos apresentaram valores médios de temperatura do ar semelhantes entre si, quando no tratamento SSP a temperatura do ar foi  $-2,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no tratamento CT foi  $-2,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no tratamento CS foi  $-2,20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e em LSP foi  $-2,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Após as 07h00min, devido à influência da radiação solar, a temperatura do ar aumentou rapidamente. No período de 05h00min até 07h15min, a menor média de temperatura do ar foi encontrada no tratamento CT, com valor de  $-2,54\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os tratamentos LSP e SSP apresentaram temperatura do ar muito próxima, com valores de  $-2,25\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-2,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Portanto, cerca de  $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$  maior do que o tratamento CT, assim, considerando os resultados já discutidos para a noite de 19/06/2014, os dados de temperatura do ar, medidos a 27 cm de altura em cultivo de canola com altura de 30 cm, confirmam que o tipo de cobertura do solo continua influenciando na temperatura do ar, sendo vantajoso retirar a palha de pelo menos uma faixa ao longo da linha de semeadura.

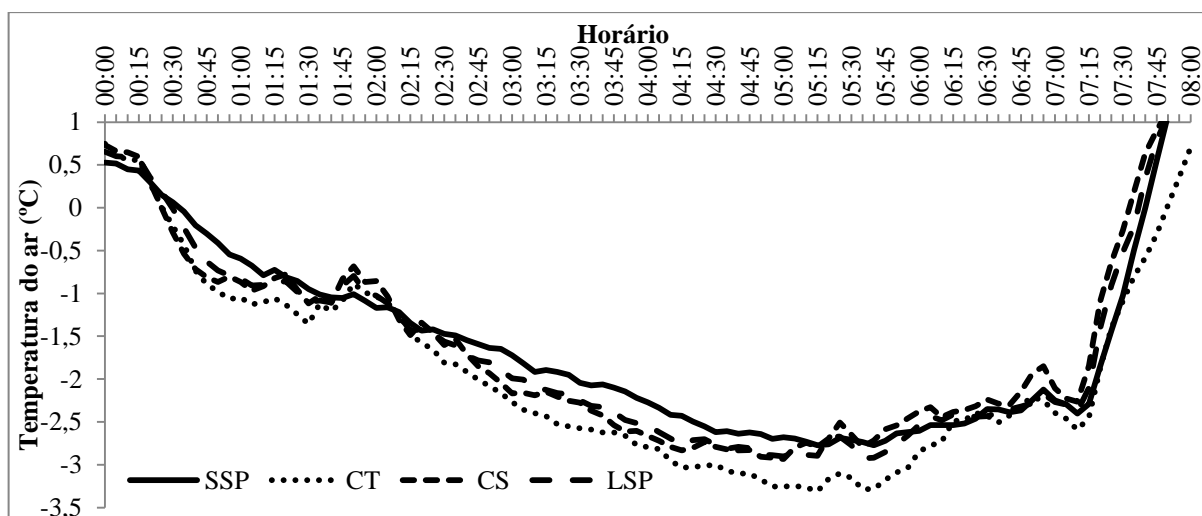


Figura 48 - Temperatura do ar a 27 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 08h00min em canola. Coxilha-RS, 2014.

De acordo com os dados de temperatura do ar a 3 cm do solo a média de temperatura do ar para o período entre 00h00min a 08h00min, considerando todos os tratamentos, foi  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 49). A menor média de temperatura do ar registrada em 14/08/2014 foi  $-2,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ , às 06h35min. Desde as 00h00min a temperatura do ar baixou gradativamente nos quatro

tratamentos até, aproximadamente, às 05h00min, quando começou a atenuação da queda. Porém, mesmo que em ritmo mais lento, a temperatura do ar continuou baixando até, aproximadamente, 06h00min, quando atingiu os menores valores e manteve-se estável até as 07h15min, momento em que iniciou acentuada elevação nos quatro tratamentos, o que ocorreu devido à aproximação do nascer do sol. Assim como verificado em 19/06/2014, 26/07/2014 e em 27/07/2014, os menores valores de temperatura do ar foram encontrados no tratamento CT durante todo o intervalo de tempo avaliado, com média de  $-0,82\text{ }^{\circ}\text{C}$  para o período em questão. No tratamento SSP foram encontrados os maiores valores de temperatura do ar, uma vez que a média para o período avaliado foi  $0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nos tratamentos LSP e CS foram encontrados valores de temperatura do ar intermediários aos tratamentos CT e SSP, sendo que no tratamento CS ocorreram valores superiores a LSP, com temperatura do ar média de  $0,39\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. No período mais frio da madrugada (05h00min a 07h15min) a média de temperatura do ar foi  $-1,87\text{ }^{\circ}\text{C}$  em CT,  $-1,11\text{ }^{\circ}\text{C}$  em LSP,  $-0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$  em CS e  $-0,26\text{ }^{\circ}\text{C}$  em SSP. Esses resultados ratificam que também próximo à superfície o efeito da cobertura da palha contribui para o resfriamento do ar, mesmo que as plantas de canola já cubram parte significativa da superfície (índice de área foliar de 1,86 em SSP, 0,93 em CT, 0,96 em CS e 0,76 em LSP) e apresentem altura média de 30 cm e, portanto, mostram que é vantajoso retirar a palha da superfície do solo, mesmo que seja apenas numa faixa da linha de semeadura para fins de atenuação de resfriamento do ar próximo as plantas de canola.

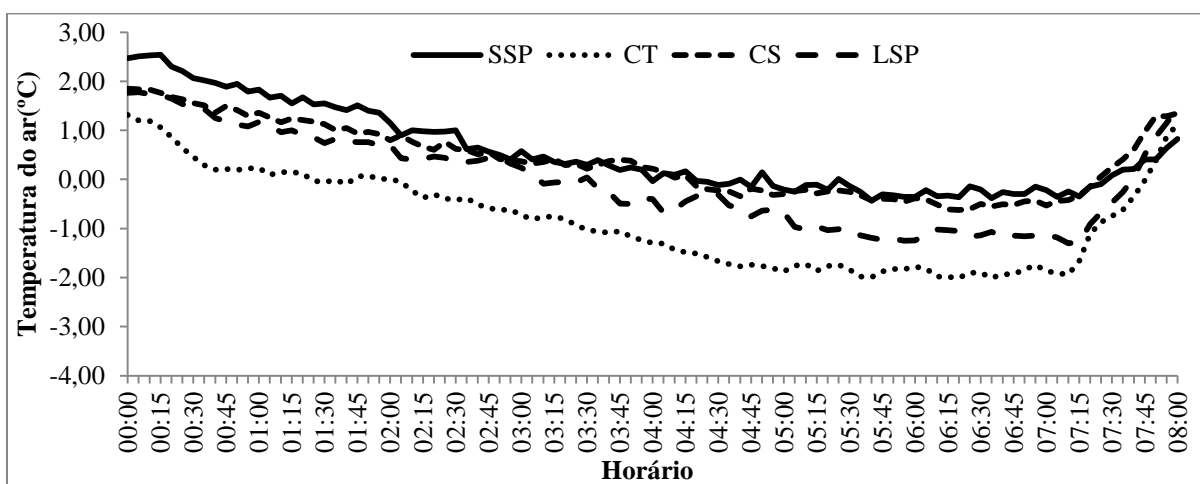


Figura 49 - Temperatura do ar a 3 cm de altura em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 08h00min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Na geada de 14/08/2014 ocorreram os menores valores de temperatura do ar dentre as datas avaliadas, porém, essa mesma condição não foi encontrada para a temperatura do solo a 2 cm de profundidade, sendo inclusive a média de temperatura do solo em 14/08/2014 uma das mais altas dentre as datas avaliadas, uma vez que o valor médio para os quatro tratamentos no período foi 7,76 °C (Figura 50). Provavelmente porque o solo havia se aquecido mais nos dias anteriores a 14/08/2014, apresentando maior reserva de calor, do que nas datas 19/06/2014, 26/07/2014 e em 27/07/2014. Nesse sentido, o menor valor médio de temperatura do solo ocorreu no tratamento de SSP com temperatura de 4,47 °C. No tratamento CT foram encontrados os maiores valores de temperatura do solo em todo o período avaliado, com média de 9,96 °C. Contrastando a isso, no tratamento SSP foram encontrados os menores valores de temperatura do solo em todo o período avaliado, com média de 5,60 °C. E assim como nas demais datas com avaliação na segunda data de semeadura, os tratamentos CS e LSP apresentaram valores intermediários aos tratamentos SSP e CT, com média de temperatura de 8,46 °C em CS e 7,04 °C em LSP. Esses resultados eram esperados e confirmam a teoria de que em noites com saldo de radiação bastante negativo, típicos de condição de geada, ou de acentuado resfriamento noturno, a cobertura de resíduos vegetais atua como isolante térmico diminuindo a condução de calor até a superfície e, conseqüentemente, ocorre um menor resfriamento abaixo da palha e um maior resfriamento no topo da superfície da palha em comparação a superfície de solo desnudo. Na superfície de solo desnudo a maior densidade de fluxo de calor transportada até a superfície exposta resulta em compensação de uma parcela maior de energia perdida por radiação de ondas longas atenuando mais a taxa de resfriamento do que sobre a palha (PREVEDELLO, 1996; SILVA et al., 2006).

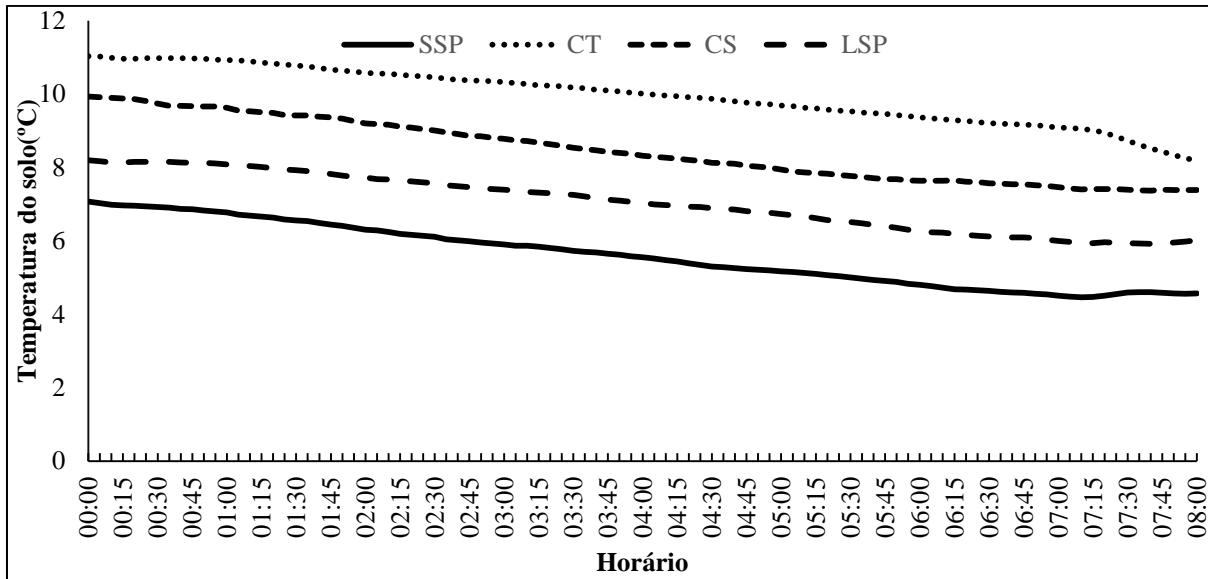


Figura 50 - Temperatura do solo a 2 cm de profundidade em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 08h00min em canola. Coxilha-RS, 2014.

Em 14/08/2014 também foram encontrados os menores valores de temperatura das folhas (Figura 51), com média dos quatro tratamentos em todo intervalo avaliado (00h00min até 08h00min) de  $-2,87$  °C. Em relação aos valores extremos de temperatura de folhas, o menor valor foi  $-4,18$  °C, encontrado no tratamento de SSP às 04h30min. Considerando toda a madrugada (00h00min até 08h00min), a média de temperatura das folhas no tratamento SSP, CT, CS e LSP foi  $-3,06$  °C,  $-2,91$  °C,  $-2,65$  °C e  $-2,87$  °C, respectivamente. A temperatura das folhas nos quatro tratamentos apresentou acentuado declínio no período de 00h00min até 01h05min, quando baixou de  $-0,72$  °C para  $-2,40$  °C no tratamento SSP, de  $-0,67$  °C para  $-2,37$  °C em CT, de  $-0,51$  °C para  $-2,17$  °C em CS e de  $-0,84$  °C para  $-2,40$  °C em LSP. No período de 01h05min até 04h30min a temperatura das folhas continuou em declínio em todos os tratamentos, mas menos acentuado do que no período de 00h00min a 01h05min, uma vez que no tratamento SSP registrou-se redução na temperatura das folhas de  $-2,40$  °C para  $-4,17$  °C, de  $-2,37$  °C para  $-3,91$  °C em CT, de  $-2,17$  °C para  $-3,64$  °C em CS e de  $-2,40$  °C para  $-3,85$  °C em LSP. Aproximadamente as 04h30min foram registrados os menores valores de temperatura das folhas nos quatro tratamentos, e após isso, gradativamente a temperatura das folhas, em todos os tratamentos, começou a aumentar, com ritmo relativamente constante até as 07h00min, quando por influência da aproximação do nascer do sol ocorreu acentuada elevação de temperatura em todos os tratamentos. Em relação aos tratamentos de cobertura do

solo, no período de 00h00min até 01h00min a temperatura das folhas nos quatro tratamentos apresentou-se semelhante. Após esse período, no tratamento CS a temperatura das folhas foi maior do que nos demais tratamentos até as 05h00min, quando a partir deste horário as folhas do tratamento LSP apresentaram maior temperatura. No tratamento SSP a temperatura das folhas foi mais baixa do que nos demais tratamentos, especialmente no período de 02h00min até 06h00min. As folhas dos tratamentos CT e LSP apresentaram valores parecidos no período de 00h00min até 05h00min, quando no tratamento LSP a temperatura das folhas aumentou em ritmo mais elevado do que em CT.

Considerando os objetivos principais do trabalho, a discussão dos resultados obtidos durante as noites com geada de maior intensidade são os mais importantes. Assim, no ano de 2014 a madrugada de 14/08/2014 foi a mais fria, com temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  na estação meteorológica de Passo Fundo e  $-3,31\text{ }^{\circ}\text{C}$  a 27 cm de altura do solo na área experimental. A altura das plantas de canola na noite de 13/08/2014 a 14/08/2014 era de aproximadamente 30 cm (Tabela 4), portanto os miniabrigos com os sensores termopares encontravam-se abaixo das folhas, enquanto as folhas em que se procedeu a medição da temperatura na nervura central do limbo foliar encontravam-se aproximadamente a 20 cm de altura e estavam completamente expostas às perdas radiativas.

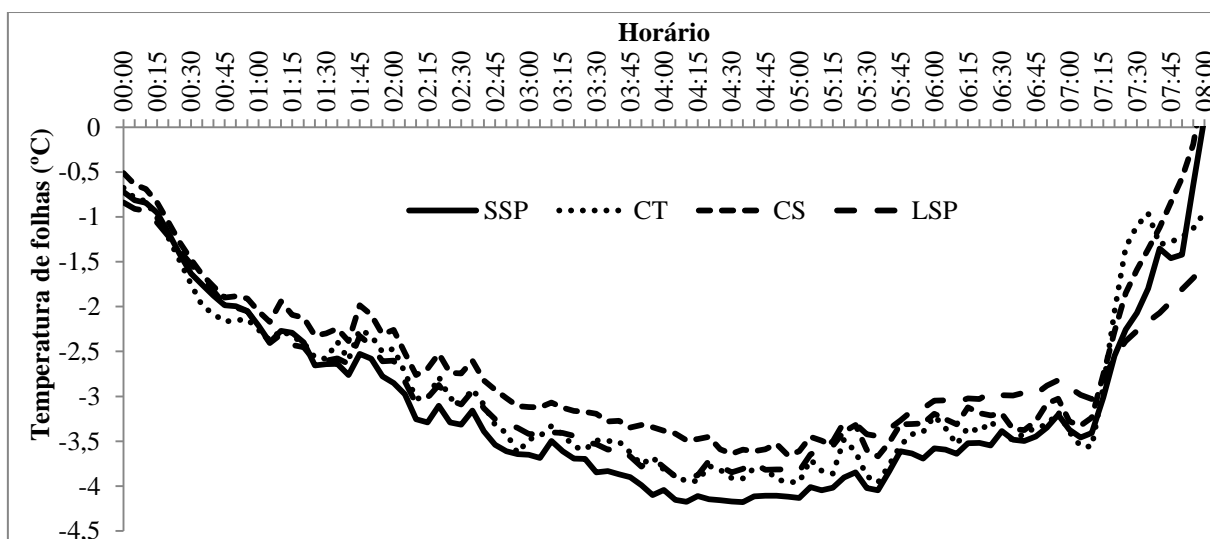


Figura 51 - Temperatura das folhas medidas com termopares em solo sem palha na superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) no dia 14/08/2014 no período de 00h00min a 07h00min. Coxilha-RS, 2014.

A velocidade do vento das 18h00min até 07h30min (de 13/08/2014 e 14/08/2014) foi baixa, com picos de velocidade acima de  $0,6 \text{ m s}^{-1}$  apenas no período das 21h50min à 0h10min e de 0h38min às 1h31min (Apêndices U e V). Portanto, a condição de vento foi relativamente favorável ao resfriamento e formação de inversão térmica durante a maior parte da noite, especialmente ao fim da madrugada, com a intensificação do resfriamento e queda na temperatura do ar (HELDWEIN, 1993).

A média da temperatura das folhas no tratamento SSP no período com menores temperaturas (02h00min a 06h00min) foi  $-3,77 \text{ }^\circ\text{C}$ , ou seja,  $0,25 \text{ }^\circ\text{C}$  mais baixa do que em CT,  $0,33 \text{ }^\circ\text{C}$  mais baixa do que em LSP e  $0,54 \text{ }^\circ\text{C}$  mais baixa do que em CS (Figura 51). Esperava-se que a temperatura das folhas fosse menor em CT, devido à superfície da palha que se resfria mais do que a superfície do solo desnudo, pois o isolamento produzido pela palha implica em menor condução de calor desde o solo até a superfície exposta e menor aporte de energia para as folhas na forma de radiação de ondas longas, emitida pela superfície exposta por esta estar mais fria (PREVEDELLO, 1996; SILVA et al., 2006). Portanto, a quantidade de palha na superfície do solo não foi a principal variável a afetar a temperatura das folhas da canola com as plantas em estágio fenológico D2. A distância vertical do solo para as folhas em que foram realizadas as medições variou de 15 a 20 cm e diminuiu o efeito da cobertura do solo sobre a temperatura das folhas. No entanto, a principal razão pela qual a temperatura das folhas foi menor em SSP foi o maior índice de área foliar, que foi 1,86 em SSP, ou seja, duas vezes maior que em CT, CS e LSP, que tinham índice de área foliar de 0,93, 0,96 e 0,76, respectivamente. Folhas expostas na parte superior do dossel de plantas que tem maior massa e área de folhas abaixo delas recebem menos energia na forma de radiação de onda longa emitida pela superfície e, portanto se resfriam mais do que folhas expostas que não tem essa barreira de folhas ao fluxo de radiação emitido pela superfície (FONTANA; BERLATO; BERGAMASCHI, 1991). Essa constatação é reforçada pela temperatura da superfície medida com termômetro infravermelho (Figura 47) que também registrou os menores valores de temperatura em SSP.

O isolamento produzido pela palha e a conseqüentemente menor condução de calor do solo em direção à superfície explica porque, para a condição meteorológica desta data, no início da noite (e outras com ocorrência de geada com condições meteorológicas semelhantes) o saldo de radiação de ondas longas é mais negativo do que no final da madrugada, pois após a superfície estar mais fria, segundo a lei de Steffan-Boltzmann, ela tem menor emissão de radiação de ondas longas. O fato dos dados de temperatura da superfície medidos com termômetros infravermelho serem semelhantes entre os tratamentos não invalida essa

inferência, uma vez que estes termômetros não foram calibrados para os respectivos coeficientes de emissividade das superfícies que compunham os respectivos tratamentos. Além disso, com índice de área foliar de 0,9 a 1,8 entre os diferentes tratamentos, e com altura de plantas de 30 cm, as entrelinhas estavam quase totalmente cobertas, portanto as medições de temperatura realizadas pelos equipamentos foram na realidade do dossel de plantas, sendo que a cobertura do solo apresentou pouca ou nenhuma influência sobre a temperatura do dossel de plantas, uma vez que os valores medidos não são fisicamente coerentes com a quantidade de palha na superfície, e com os valores encontrados em outras datas com ocorrência de geada quando no início do ciclo da canola.

A análise dos dados do período da madrugada anterior às 5h00min do dia 14/08 mostra que às 1h35min a temperatura da superfície, a temperatura das folhas e a temperatura do ar a 27 cm de altura apresentaram nítida elevação por cerca de 10 minutos, o que não foi observado na temperatura do ar em miniabrigos a 3 cm de altura (exceto por uma pequena elevação no tratamento CT). Como não há aumento do  $R_n$  (tornar-se menos negativo), exceto no tratamento LSP entre 1h10min e 1h30min, pode-se inferir que esse aumento de temperatura da superfície, folhas e ar (a 27cm) seja decorrente de movimento de ar menos frio na parte superior do dossel de plantas, uma vez que a velocidade do vento aumentou a 20 cm de altura, enquanto a direção permaneceu com predominância do quadrante Sul (Apêndices U e V). Situação semelhante também ocorreu às 5h20min e das 5h40 min às 6h55min, quando um leve aumento na velocidade foi seguido pelo aumento da temperatura da superfície do dossel de plantas. Já a temperatura do ar a 3 cm do solo não apresentou essa elevação após o aumento na velocidade do vento porque, provavelmente, a cobertura das folhas funcionou como uma barreira e atenuou a velocidade do vento e a transferência de calor sensível para próximo da superfície do solo.

Uma situação atípica ocorreu às 3h00min, quando o  $R_n$  sobre o tratamento com solo desnudo começou a cair rapidamente de  $-85 \text{ W m}^{-2}$  para cerca de  $-106 \text{ W m}^{-2}$  às 4h10min, o que também ocorreu nos tratamentos CS e LSP, porém com diminuição menos acentuada, já que o  $R_n$ , nestes tratamentos, já era mais negativo do que em SSP. Porém, a consequência lógica que seria a atenuação na diminuição da temperatura da superfície (ou até mesmo o aumento da mesma), das folhas e do ar não ocorreu, uma vez que o ritmo de queda destes valores apresentou-se praticamente constante desde as 2h15min. Além disso, no tratamento CT essa queda no  $R_n$  não foi verificada, com o  $R_n$  apresentando-se constante durante toda a madrugada ( $-85 \text{ W m}^{-2}$ ). Assim, como não foi encontrada uma explicação fisicamente plausível, especula-se que essa alteração no  $R_n$  esteja atrelada a mudança na direção do vento

a partir das 3h00min, que antes desse horário tinha direção predominante de Sul, e após foi progressivamente mudando para nordeste e norte, permanecendo então com pulsos de brisa predominando dessa direção no restante da madrugada, embora apresentando oscilações de todas as direções.

#### 4.7 Temperatura de folhas de canola (3ª folha desenvolvida) expostas a céu aberto medida com termômetro infravermelho portátil em noite com ocorrência de geada (14/08/2014)

Na Tabela 7 são apresentados os resultados para temperatura de folhas de canola medida com termômetro infravermelho no período de 04h00min até 08h00min no dia 14/08/2014 na terceira data de semeadura da canola. A temperatura de folhas foi medida nos tratamentos SSP, CT, CS e LSP. As médias de temperatura das folhas dos tratamentos foram comparadas somente dentro de cada um dos horários, entre os horários as médias não foram comparadas. Dentre os horários avaliados, na grande maioria verificou-se diferença significativa de temperatura de folhas entre os tratamentos. Além disso, considerando a média de todos os horários, no tratamento CT a temperatura de folhas apresentou-se mais baixa que nos demais tratamentos, e estes por sua vez não apresentaram diferenças significativas entre si.

Tabela 7 - Temperatura de folhas (3ª folha desenvolvida) expostas de plantas de canola em dia com ocorrência de geada (14/08/2014) medida com termômetro infravermelho portátil em área sem palha na superfície do solo (SSP) solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>.

Tratamento	Média da Temperatura das folhas medida em 3 repetições (°C)									Média
	04:00	04:30	05:00	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	08:00	
SSP	-1,34a	-3,42a	-3,16a	-3,49a	-3,42a	-3,73a	-3,02a	-3,24a	0,47b	-2,71a
CT	-2,74b	-5,42b	-4,68b	-5,12b	-4,62b	-5,39b	-3,79a	-2,94a	2,12a	-3,62b
CS	-1,42a	-3,94a	-3,77a	-3,95a	-3,63a	-4,48a	-3,47a	-3,15a	0,27b	-3,06a
LSP	-1,87a	-3,84a	-3,73a	-3,98a	-3,7a	-3,83a	-2,83a	-2,85a	0,68b	-2,88a
Média	-1,84	-4,16	-3,78	-4,13	-3,84	-4,36	-3,28	-3,05	0,89	-
CV(%)	22,18	9,12	11,8	8,45	12,28	13,87	17,85	24,55	98,49	-

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade em cada horário.

<sup>(2)</sup> Foram necessários aproximadamente 20 minutos para realizar a leitura em cada um dos horários.



No período compreendido entre 04h00min e 06h30min o tratamento CT apresentou a temperatura de folhas significativamente mais baixa que os demais tratamentos. Enquanto isso, a temperatura de folhas encontrada nos tratamentos de SSP, CS e LSP não diferiram entre si, porém, em todos os horários a temperatura das folhas no tratamento SSP apresentaram-se mais altas. Nos tratamentos CS e LSP, embora sem diferença significativa, verificaram-se valores de temperatura de folhas mais baixas que no tratamento SSP. Ainda, quando se comparam os tratamentos SSP e LSP, percebe-se que na maior parte do tempo a temperatura das folhas apresentou-se muito próxima, com alternância de tratamento com a temperatura de folhas mais baixa no decorrer das avaliações com o passar do tempo.

Antes das 04h30min o CV é alto porque a temperatura das folhas ainda está em decréscimo, portanto há maior variação entre a temperatura das mesmas. Após as 04h30min, com a estabilização do decréscimo de temperatura das folhas, o CV foi menor, porque neste período ocorreu a maior homogeneidade e os menores valores de temperatura das folhas. As 06h00min, e após esse horário, o CV começa a aumentar gradualmente, provavelmente, em função de que a temperatura do ar, suavemente, começou a aumentar (Figura 48) e assim provocar maior variação na temperatura das folhas entre as unidades experimentais. No entanto, o aumento na temperatura das folhas foi verificado somente as 07h00min e mais acentuadamente as 08h00min.

Nas avaliações realizadas as 07h00min e 07h30min não foram encontradas diferenças significativas de temperatura de folhas entre os quatro tratamentos de cobertura do solo. Porém, às 07h00min, a diferença entre o tratamento com menor temperatura de folhas (CT) e o tratamento com maior temperatura de folhas (LSP) foi de 0,96 °C. Nestes dois horários os tratamentos não diferiram significativamente quanto à temperatura de folhas, provavelmente, devido ao alto CV para estes dois horários. No entanto, esses resultados confirmam que no início do aumento da temperatura, a superfície da palha, devido ao seu isolamento do solo e ao seu menor calor específico, se aquece mais rapidamente (Figura 47), tal como acontece de forma inversa no resfriamento, o que então se reflete em parte nas folhas das plantas, principalmente se estas não têm outras folhas interpostas até o solo.

Na avaliação realizada às 08h00min, contrariando todas as avaliações realizadas antes da ocorrência de radiação solar difusa ou durante os períodos em que não houve aumento de temperatura, o tratamento CT teve a maior temperatura das folhas, enquanto nos tratamentos SSP, CS e LSP a temperatura das folhas não diferiu significativamente entre si, confirmando o que foi discutido no parágrafo anterior. Porém, destaca-se o elevado CV, que pode ser

atribuído a influência dos primeiros raios solares na elevação da temperatura do ar, das plantas e da superfície.

#### **4.8 Morte de plantas provocada por geada em 14/08/2014**

Após a geada de 14/08/2014 a primeira avaliação de sobrevivência de plantas foi realizada 7 dias após sua ocorrência, em 21/08/2014, quando se verificou que 72,5% das plantas sobreviveram à geada no tratamento CT, enquanto no restante dos tratamentos não foi verificada morte de plantas (Tabela 8). A segunda avaliação foi feita em 28/08/2014, assim como na geada de 19/06/2014, na segunda semana avaliada (período de 21/08/2014 a 28/08/2014), foi encontrada maior mortalidade de plantas do que na primeira, uma vez que em todos os tratamentos verificou-se morte de plantas. Porém, novamente o tratamento CT apresentou sobrevivência significativamente menor que os demais tratamentos. Os tratamentos SSP, CS e LSP não diferiram entre si, embora nos três tratamentos tenha havido morte de plantas entre o dia 21/08/2014 e 28/08/2014, principalmente no tratamento LSP, que apresentou mortalidade de plantas de 8,75%, nesse período. Assim, considerando os níveis de temperatura mínima alcançada nas rosetas e folhas das plantas de canola, nas superfícies com diferentes tipos de cobertura e solo desnudo e no ar, em função do saldo de radiação e da velocidade do vento registrados, pode-se inferir que o afastamento (retirada) da palha em uma faixa de largura de 10 cm da linha de semeadura tem efeito similar ao da retirada total da palha na superfície do solo (solo desnudo) na redução da injúria produzida por geada. Portanto, essa prática de manejo garante diminuir significativamente o risco de dano por geada em cultivos de canola. No entanto, os resultados também indicam que essa prática no momento da implantação da lavoura não dá garantia de que não haverá danos mais severos, principalmente quando ocorrerem geadas mais intensas do que as registradas nos três experimentos de 2014 em Coxilha – RS e também porque o nível de dano depende da aclimação das plantas de canola ao frio nos dias anteriores à ocorrência da geada (RIFE e ZENAILI, 2003; TASSEVA et al., 2004; DALMAGO et al., 2010).

Tabela 8 - Sobrevivência de plantas (%) de canola em 7 e 14 dias após ocorrência de geada em 19/06/2014 (segunda data de semeadura) e 14/08/2014 (terceira data de semeadura) em solo sem palha em superfície (SSP), solo totalmente coberto com palha (CT), solo com cobertura remanescente de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP) <sup>(1)</sup>

Data de semeadura	Data de avaliação	Sobrevivência de plantas/Tratamento				CV (%)
		SSP	CT	CS	LSP	
16/07/2014	14/ago	100,0A	100,0A	100,0A	100,0A	0
16/07/2014	21/ago	100,0A	72,5B	100,0A	100,0A	7,74
16/07/2014	28/ago	91,2A	67,2B	99,0A	98,7A	7,48

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



## 5 CONCLUSÕES

- 1) A retirada da palha da linha de semeadura reduz a mortalidade de plantas de canola provocada por geada até estágio fenológico B3, se comparado com o solo totalmente coberto com palha.
- 2) Não ocorrem grandes diferenças de temperatura do ar a 27 cm de altura do solo entre os tratamentos em geadas com intensidade fraca, embora em solo totalmente coberto com palha a temperatura do ar tenha sido levemente mais baixa. Com ocorrência de geada forte essa tendência é mantida, mas a diferença do tratamento com palhada na superfície perante os demais é acentuada.
- 3) A temperatura do ar próximo à superfície, (a 3 cm de altura do solo) em solo totalmente coberto com palha foi menor que nos demais tratamentos, sendo que essa diferença foi mais acentuada com ocorrência de geadas fortes e com baixa velocidade do vento. No entanto, devido à proximidade do sensor com o solo e a natural variabilidade da quantidade de palha na superfície nas unidades experimentais, a temperatura do ar, em noites de geadas fracas, por vezes não apresentou a tendência lógica que é a menor temperatura do ar ocorrer aonde há maior quantidade de palha;
- 4) Em solo totalmente coberto com palha a temperatura do solo a 2 cm de profundidade é maior que nos demais tratamentos, o que confirma a teoria de que em noites com ocorrência de geada radiativa, ou de resfriamento noturno, a palhada sobre a superfície do solo atua como isolante térmico, e atenua o resfriamento do solo nos primeiros centímetros.
- 5) A temperatura da roseta e das folhas da canola é menor quando o solo é totalmente coberto com palha do que quando se afasta a palha da linha de semeadura em noites com ocorrência de geada. No entanto, com a canola em estágio fenológico a partir de B5, a cobertura do solo não foi o principal fator a definir a temperatura das folhas.
- 6) Em noites com geada de intensidade fraca e pulsos de vento com velocidade alta e heterogênea, o efeito da cobertura da palha na temperatura do ar, da superfície, da roseta das plantas e das folhas, pode apresentar respostas não coerentes com a

quantidade e distribuição de palha na superfície, o que é decorrente de advecção de energia de áreas adjacentes.

- 7) A velocidade do vento maior que  $1 \text{ m s}^{-1}$  a 1 metro de altura provoca aumento da temperatura da superfície, principalmente se a superfície do solo tem maior quantidade de palha devido à maior rugosidade aerodinâmica e o maior calor específico da palha, se comparado com o solo desnudo;
- 8) Em função dos níveis de temperatura do ar, das rosetas e das folhas das plantas de canola nas superfícies com diferentes tipos de cobertura na ocorrência de geada, em função do saldo de radiação e da velocidade do vento registrados, pode-se inferir que o afastamento (retirada) da palha em uma faixa de largura de 10 cm da linha de semeadura tem efeito similar ao da retirada total da palha na superfície do solo (solo desnudo) na redução da injúria produzida por geada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. V.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 139-146, 1998.

ANDRÉ, R. G. B., VISWANADHAM, Y. Distribuição de energia numa cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 20-37, 1986.

ARAÚJO, A. G. et al. **Mobilização do solo em emergência de plantas na semeadura direta de soja e milho em solos argilosos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal-SP, v. 19, n. 2, p. 226-237, 1999.

ASGHARI, A. et al. Analysis of quantitative trait loci associated with freezing tolerance in rapeseed (*Brassica napus*, L.). **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 22, p. 548-552, 2008.

AZEVEDO, P. V. et al. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 5, n. 1, p. 403-410, 1990.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil structure: Evaluation and agricultural significance. 4. ed. New York, J. Wiley, 1972. 498 p.

BELLIDO, L. L. **Cultivos herbáceos-cereais**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1991.

BOOSTMA, A. Estimating grass minimum temperatures from screen minimum values and other climatological parameters. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 16, p. 103-113, 1976.

CAMARGO, M. B. P. et al. **Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no estado de São Paulo**. Bragantia, Campinas, v. 52, n. 2, p. 161-168, 1993.

CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY, 2011. Disponível em: < <http://www.inspection.gc.ca/plants/eng/1299162629094/1299162708850>> Acesso em 05 dezembro 2014.

CARGNELUTTI FILHO, A.; GONÇALVES, E. C. P. Estimativa do número de repetições para a avaliação de caracteres de produtividade e de morfologia em genótipos de soja. **Comunicata Scientiae**, v. 2, n. 1, p. 25-33, 2011.

COMIRAN, F. et al. **Trocas de energia na superfície do solo em plantio direto e preparo convencional II: Balanço de energia**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 16, Aracaju-SE, Anais... Aracaju. 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB) 2013. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_10\\_16\\_14\\_32\\_01\\_boletim\\_portugues\\_-\\_setembro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_10_16_14_32_01_boletim_portugues_-_setembro_2013.pdf)> Acesso 23 set. 2013.

\_\_\_\_\_. 2014. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_10\\_23\\_10\\_20\\_02\\_boletim\\_graos\\_o\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_10_23_10_20_02_boletim_graos_o_2014.pdf)> Acesso 11 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. 2015. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_01\\_09\\_09\\_00\\_21\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_09_00_21_boletim_graos_janeiro_2015.pdf)> Acesso em 15 janeiro 2015.

CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 9-16, 1994.

CUNHA, G. R. **Meteorologia: fatos & mitos**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. 267 p.

\_\_\_\_\_. Geada e trigo. *Informativo Fundação Pró-Sementes & Apassul*. Passo Fundo, n. 4, 2003

CUNHA, G. R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.; MATZENAUER, R. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-14, 1996.

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

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; BIANCHI, C. A. M. **Reflectância para a radiação fotossinteticamente ativa e fluxo de calor em solo sob plantio direto e preparo convencional**. In: X Reunión Argentina de Agrometeorología, IV Reunión Latino Americana de Agrometeorología. Mar del Plata, Argentina, 2004.



DALMAGO, G. A.; FOCHESSATO, E.; KOVALESKI, S.; TAZZO, I. F.; BOLIS, L. M., CUNHA, G. R. da.; NIED, A. H.; BERGAMASCHI, H.; SANTI, A. Filocrono e número de folhas de canola em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 573-581. 2013.

DALMAGO, G. A.; CUNHA, G. R. da; SANTI, A.; PIRES, J. L. F.; MÜLLER, A. L.; BOLIS, L. M. Aclimação ao frio e dano por geada em canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 933-943, 2010.

DALMAGO, G. A.; CUNHA, G. R. da; TOMM, G. O.; PIRES, J. L.F.; SANTI, A.; PASINATO, A.; SCHWEING, E.; Müller, A. L. **Zoneamento agroclimático de canola para o Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa trigo, 2008. 76 p.

EDWARDS, HERTEL, K, Canola Growth & Development. New South Wales: Department of Primary Industries, 2011. 89p.

EIRA, A. F. Influência da cobertura morta na biologia do solo. In: I Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas, 1995, Curitiba. **Anais do I Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**. Curitiba - PR, 1995. p. 11-18.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de radiação da soja em região subtropical do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 26, n. 3, p. 411-418, 1991.

FOWLER, D. B.; LIMIN, A. E.; RITCHIE, J. T. Low-temperature tolerance in cereals: model and genetic interpretation. **Crop Science**, v. 39, p. 626-633, 1999.

FRIEDT, W.; SNOWDON, R. **Oiseed 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.

FUCHS, M.; TANNER, C. B. Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 7, p. 329-334, 1970.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 388-395, 2004.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; SILVA, R. D. da.; CORTEZ, J. W. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 375-380, 2008.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. **Balço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro**. *Bragantia*, v. 60, p. 139-147, 2001.

GASPARIM, E.; RICIERE, R. P.; SILVA, S. de L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. **Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu**. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Maringá, v. 27, p. 107-115, 2005.

GENE TECHNOLOGY REGULATOR. 2002. Disponível em <<http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/publications-index-1>>. Acesso em: 20 novembro 2014.

GRODZKI, L. et al. Risco de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1 p. 93-99, 1996.

GUSTA, L. V. et al. The Effect of Water, sugars, and proteins on the pattern of ice nucleation and propagation in acclimated and nonacclimated canola leaves. **Plant Physiology**, v. 135, p. 1642-1653, 2004.

GUSTA, L. V. et al. Factors to consider in artificial freeze tests. **Acta Horticulture**, v. 618, p. 493-507. 2003.

GUSTA, L. V.; TRISCHUK, R.; WEISER, C. J. Plant cold acclimation: the role of abscisic acid. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 24, p. 308-318, 2005.

HAWKINS, G. P. et al. Characterization of freezing tolerance and vernalization in vern-, a spring type *Brassica napus* line derived from a winter cross. *Planta*, v. 216, p. 220-226, 2002.

HELDWEIN, A. B. et al. Estimativa do saldo de radiação em girassol como função da radiação solar global. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 194-199, 2012.

HELDWEIN, A. B. **Determinação do tempo de molhamento de dosséis por orvalho através de métodos micrometeorológicos e convencionais**. 1993. 206 f. Tese (Doutorado). Universidade Técnica de Berlin. Berlin, 1993.

HELDWEIN, A. B. et al. Análise das temperaturas mínimas do ar registradas em Santa Maria, RS. I- Estimativa das temperaturas mínimas do ar a 5 cm da superfície do solo relvado e do solo desnudo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 18, p. 3-14, 1988.

IBA, K. Acclimative response to temperature stress in higher plants: Approaches of gene engineering for temperature tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 53, p. 225-245, 2002.

IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. Cultivo de Colza. 1. ed. **Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA**. Buenos Aires, 2008. 156p.

KASPAR, T. C.; ERBACH, D. C. Improvement stand establishment in no-till with residue-clearing planter attachments. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineering**, v. 41, p. 301-306, 1998.

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: 12 dezembro 2014.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, 2007.

LARDON, A.; TRIBOI-BLONDEL, A. M. Cold and freeze stress at flowering: effects on seed yields in winter rapeseed. **Field Crops Research**, v. 44, p. 95-101, 1995.

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

LOPES, S. B.; BRUM, B.; SANTOS, V. J.; FAGAN, E. B.; LUZ, G. L.; MEDEIROS, S. L. P. Estimativa da área foliar de meloeiro em estádios fenológicos por fotos digitais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1153-1156, 2007.

LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R. Dificuldades de estimativa dos parâmetros de rugosidade aerodinâmica pelo perfil logarítmico do vento sobre vegetação esparsa em região semi-árida. **Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)**, v. 25, p. 187-197, 2007.

- LYRA, G. B. **Parâmetros de rugosidade sobre vegetação esparsa**. 2005. 75 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2005.
- MACIEL, C. D. G.; CORRÊA, M. R.; ALVES, E.; NEGRISOLI, E.; VELINI, E. D.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O.; BOARO, C. S. F. Influência do manejo da palhada de capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) sobre o desenvolvimento inicial de soja (*Glycine max*) e amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 365- 373, 2003.
- MASSIGNAM, A. M.; DITTRICH, R. C. Estimativa do número médio e da probabilidade mensal de ocorrência de geadas para o estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria - RS, v. 6, n. 2, p. 213-220, 1998.
- MCCLINCHEY, S. L.; KOTT, L. S. Production of mutants with high cold tolerance in spring canola (*Brassica napus*). **Euphytica**, v. 162, p. 51-67, 2008.
- MORRISON, M. J.; STEWART, D. W. Heat stress during flowering in summer *Brassica*. **Crop Science**, v. 42, p. 797-803, 2002.
- MORRISON, M. J.; McVETTY, P. B. E.; SHAYKEWICH, C. F. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of westar summer rape. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 69, p. 455-464, 1989.
- 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**, v. 42, p. 125-134, 1995.
- NIED, A. H. **Parâmetros bioclimáticos e respostas da canola ao ambiente físico**. 150 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2013.
- PEARCE, R. S. Plant freezing and damage. **Annals of Botany**, London, v. 87, p. 417-424, 2001.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: Esalq, Departamento de Ciências Exatas, 2007. 192p.
- PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J. **Balço de energia em vinhedo de "niágara rosada"**. *Bragantia*, v. 62, p.155-161, 2003.

PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A.; MEYER, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 1-4, 1995.

PILAU, F. G.; FARIAS, J. R. B.; ALMEIDA, I. R.; MARIN, F. R. Balanço de energia de uma área de soja sob plantio direto pelo método da razão de Bowen. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracaju. **Anais**. Aracaju: Embrapa, 2007.

PILLAR, V. D. Disponível em: <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/ecoqua/main.html>>. Acesso 24 set. 2013.

PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, **Salesward-Discovery**, 1996. 446p.

QUERALTO, F. D. **Práctica de la defensa contra heladas**. Dilagro: Lerida, 1971. 384 p.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 42-49, 2006.

RAPACZ, M. Frost resistance and cold acclimation abilities of spring-type oilseed rape. **Plant Science**, v. 147, p. 55-64, 1999.

RAPACZ, M.; TOKARZ, K.; JANOVWIAK, F. The initiation of elongation growth during long-term low-temperature stay of spring-type oilseed rape may trigger loss of frost resistance and changes in photosynthetic apparatus. **Plant Science**, v. 161, p. 221-230, 2001.

REIS, G. N.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; CAVALIN NETO, J.; GROTTA, D. C. G.; CORTEZ, J. W. Manejo do consórcio com culturas de adubação verde em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, p. 677-681, 2007.

RIFE, C. L.; ZEINALI, H. Cold tolerance in oilseed rape over varying acclimation durations. **Crop Science**, v. 43, p. 96-100, 2003.

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

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico vermelho-escuro de Eldorado de Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 313-319, 1995.

SALTVEIT, M. E.; MORRIS, L. L. **Overview of chilling injury of horticultural crops**. In: YANG, C. Y. (Ed.) *Chilling Injury of Horticultural Crops*. Boca Raton: CRC Press, 1990, p. 3- 15.

SCHWAB, N. T.; STRECK, N. A.; LANGNER, J. A.; RIBEIRO, B. S. M. R.; UHLMANN, L. O.; BECKER, C. C. Aplicabilidade do termo antocrono para representar a velocidade de abertura de flores em inflorescência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 657-664, 2014.

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

SILVA, E. P. et al. Fatores abióticos envolvidos na tolerância de trigo a geada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 43, n. 10, p. 1257-1265, 2008.

SILVA, E. P. et al. Influência da aclimação na tolerância de cultivares de trigo a geada. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15, Campinas, **Anais...** Campinas: Unicamp, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na Temperatura do Solo em Três Sistemas de Manejo na Cultura do Feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 30, p. 391-399, 2006.

SLONEKER, L. L.; MOLDENHAUER, W. C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankey, v. 32, n. 5, p. 231-237, 1977.

SNYDER, R. L.; MELO-ABREU, J. P. **Protección contra las heladas: fundamentos, practica y economia**. Roma: Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), 2010. 242 p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222 p.

STRECK, N. A.; LANGER, J. A.; LAGO, I. Maize leaf development under climate change scenarios. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1227-1236, 2010.

SZÚCS, P.; VEISZ, O.; BEDO, Z. Frost tolerance of *Triticum durum* (Desf.) genotypes in soils with various moisture contents. **Cereal Research Communications**, Szeged, v. 31, n. 1-2, p. 153-160, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 449-484.

TASSEVA, G. et al. Changes in the endoplasmic reticulum lipid properties in response to low temperature in *Brassica napus*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, p. 811-822, 2004.

TAYO, T. O., MORGAN, D. G. Quantitative analysis of the growth, development and distribution of flowers and pods in oilseed rape (*Brassica napus*). **Journal Agriculture Science**, v. 85, p. 103-110, 1975.

THOMAS, P. **Canola grower's manual**. Winnipeg: Canola Council of Canada. Disponível em: <<http://www.canolacouncil.org/crop-production/canola-grower's-manual-contents>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

THOMASHOW, M. F. So what's new in the field of plant cold acclimation? Lots! **Plant Physiology**, v. 125, p. 89-93, 2001.

THOMASHOW, M. F. Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 571- 599, 1999.

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

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) 2013. Disponível em <<http://www.ers.usda.gov/media/1056538/ocs13c.pdf>> Acesso 06 jul. 2013.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: INMET. 2006. 463p.

VILLA NOVA, N. A. **Estudos sobre balance de energia em cultura de arroz**. 1973, 89p. Tese (Livre Docência), Escola Superior de Agronomia Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1973.

WEXLER, A. **Humidity and Moisture**. New York: Reinhold, v. 2. 1965.

WILEN, R. W. et al. Effects of Abscisic Acid (ABA) and ABA analogs on freezing tolerance, low-temperature growth, and flowering in rapeseed. **Journal Plant Growth Regulation**, v. 13, p. 235-241, 1994.

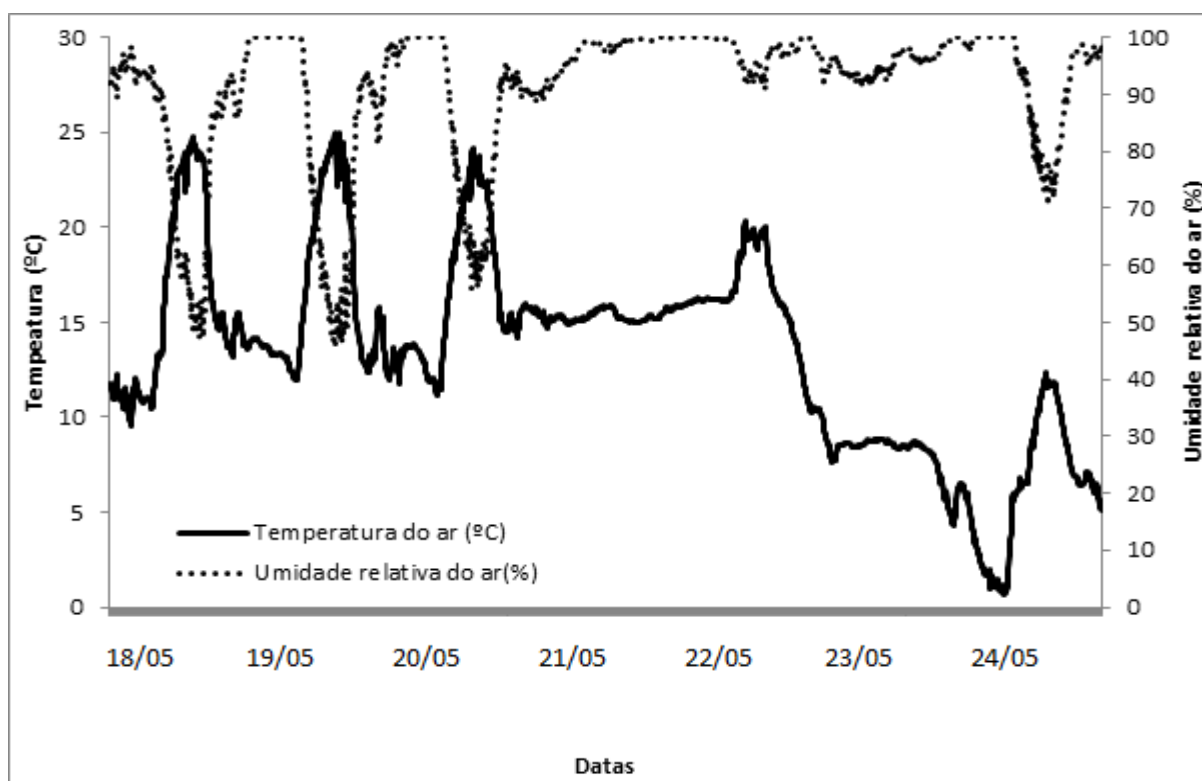
XIN, Z.; BROWSE, J. Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 23, p. 893-902, 2000.



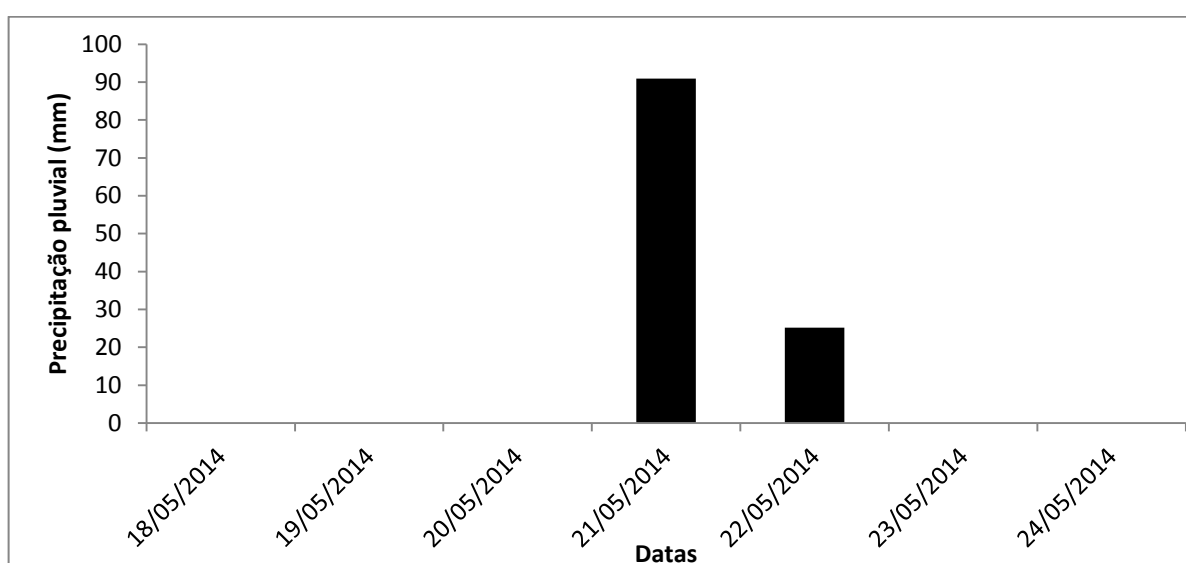
## **APÊNDICES**



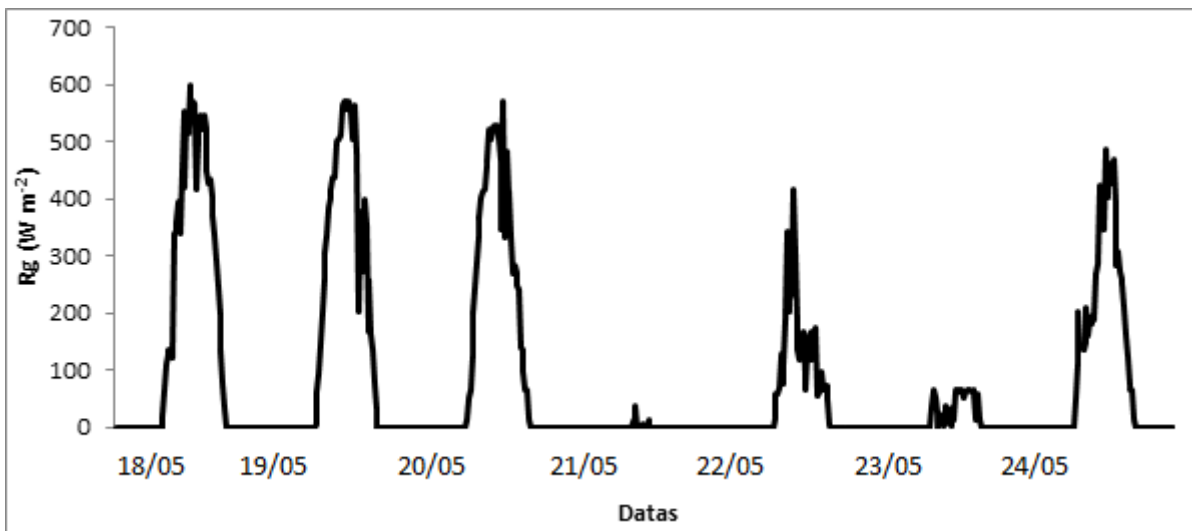
**Apêndice A - Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 18/05/2014 a 24/05/2014. Coxilha-RS, 2014.**



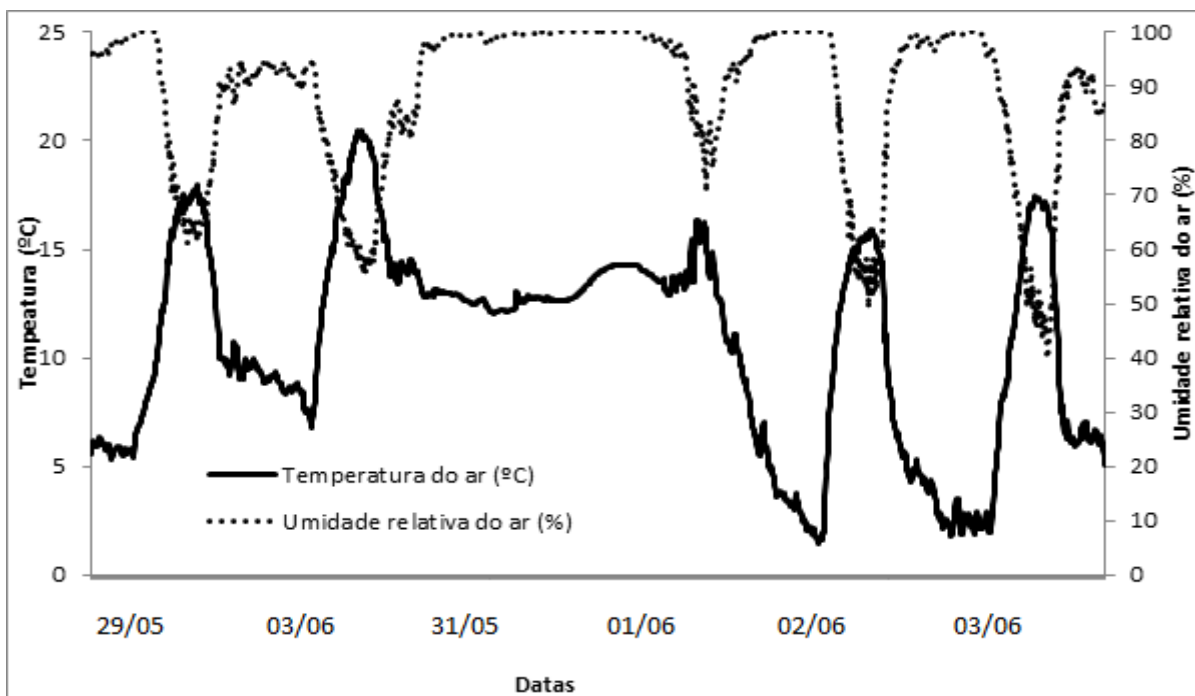
**Apêndice B - Precipitação pluvial diária (mm) no período de 18/05/2014 a 24/05/2014. Coxilha-RS, 2014.**



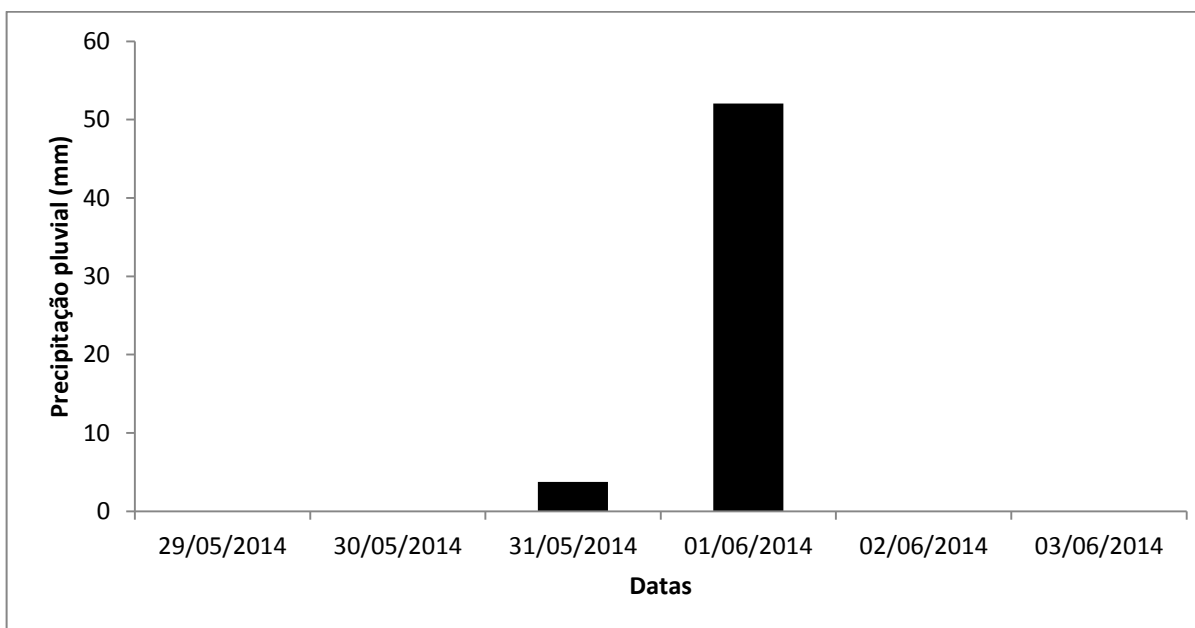
**Apêndice C - Radiação solar global (Rg) diária o período de 18/05/2014 a 24/05/2014. Coxilha-RS, 2014.**



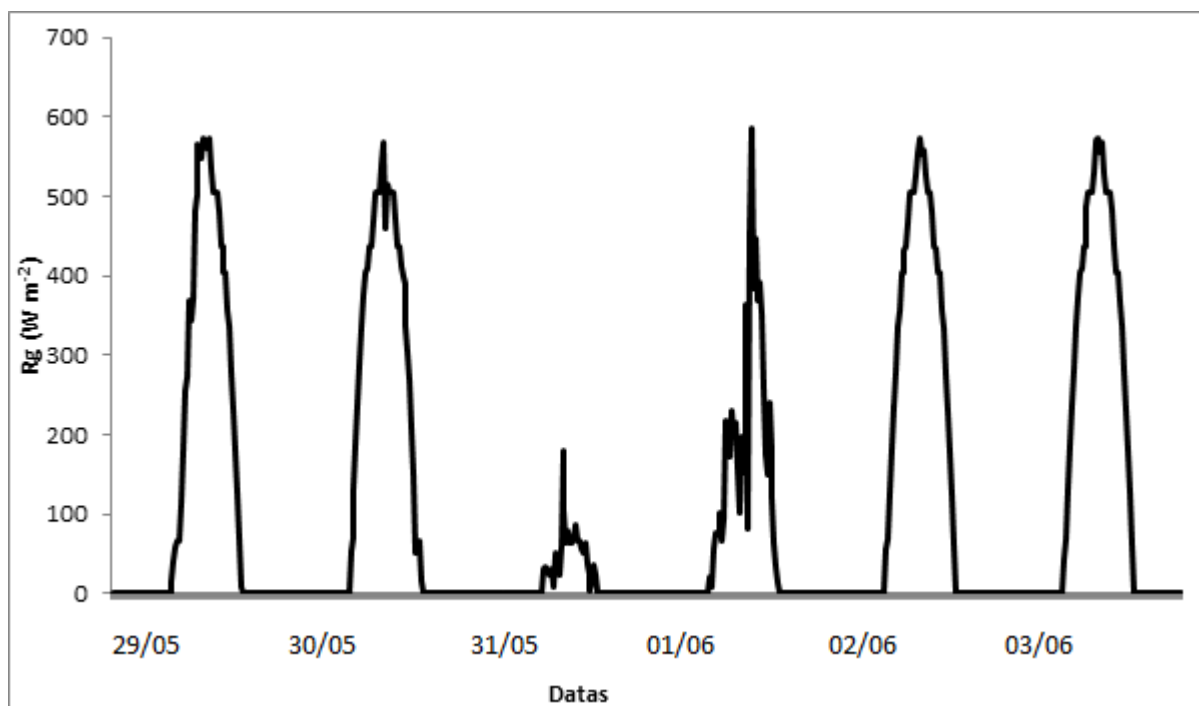
**Apêndice D - Temperatura ( $^{\circ}C$ ) e umidade relativa do ar (%) para o período de 29/05/2014 a 03/06/2014. Coxilha-RS, 2014.**



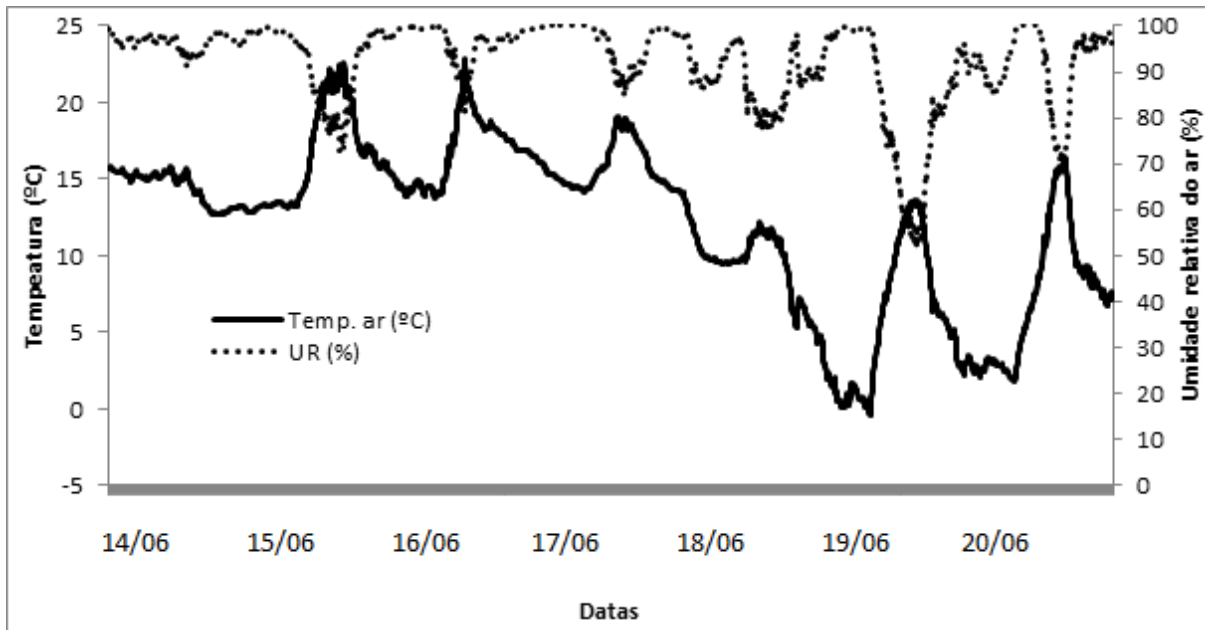
**Apêndice E - Precipitação pluvial diária (mm) no período de 29/05/2014 a 03/06/2014. Coxilha-RS, 2014.**



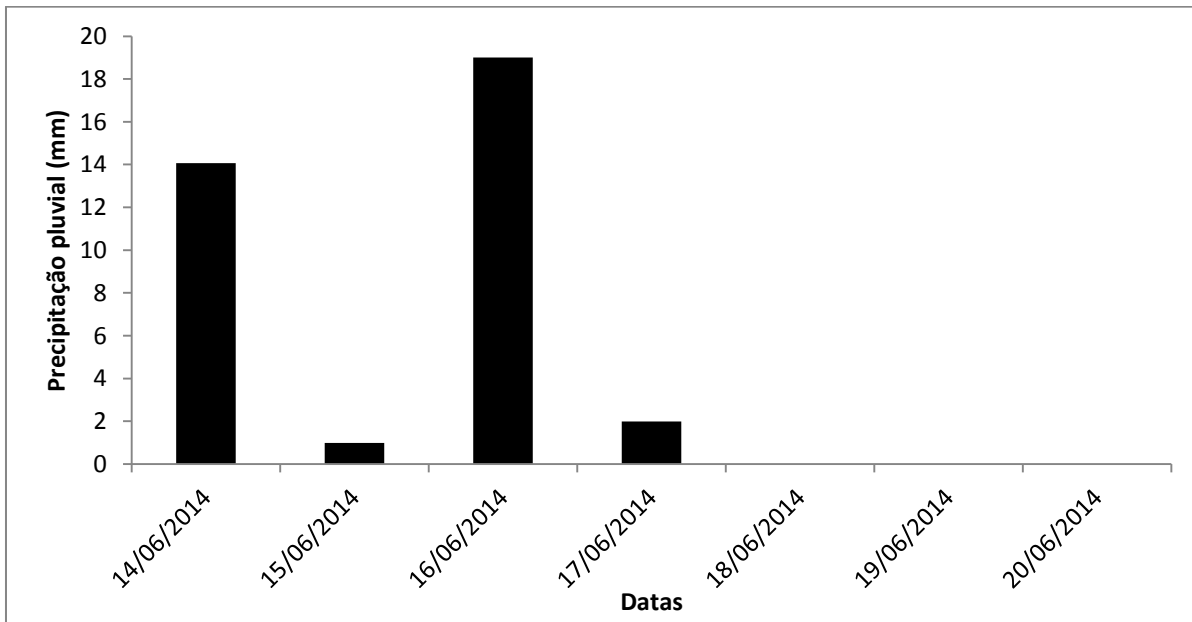
**Apêndice F - Radiação solar global (Rg) diária o período de 29/05/2014 a 03/06/2014. Coxilha-RS, 2014.**



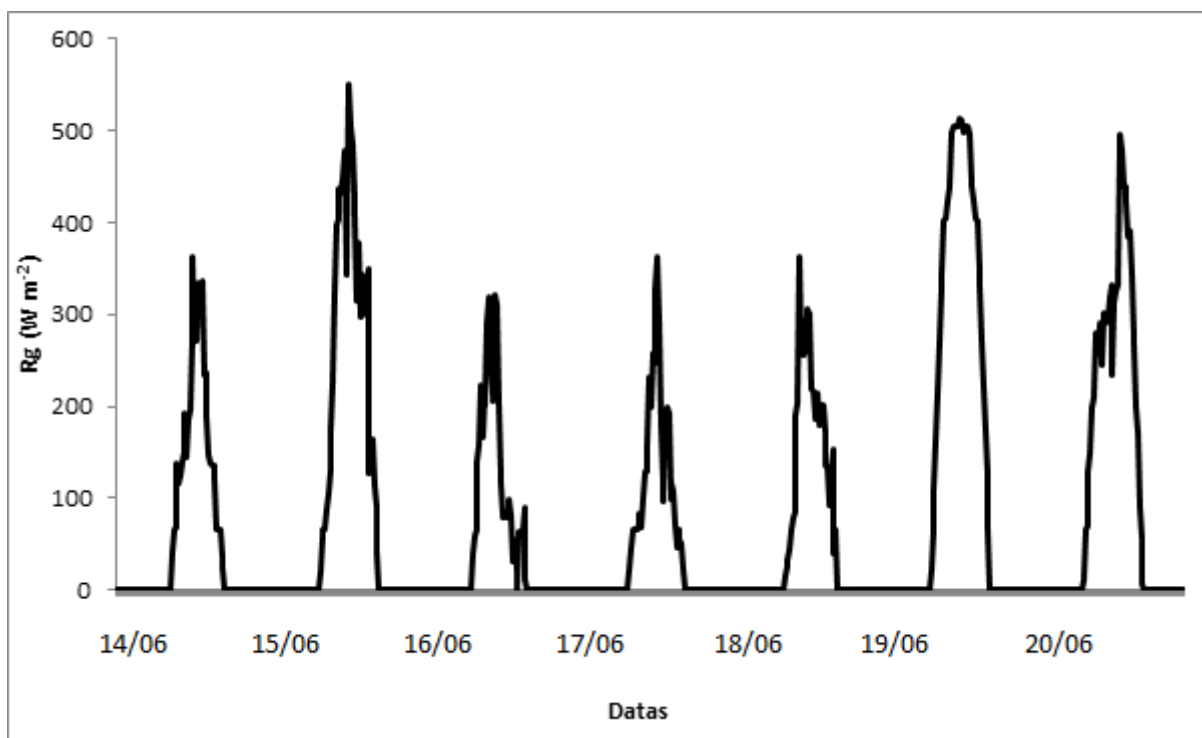
**Apêndice G - Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 14/06/2014 a 20/06/2014. Coxilha-RS, 2014.**



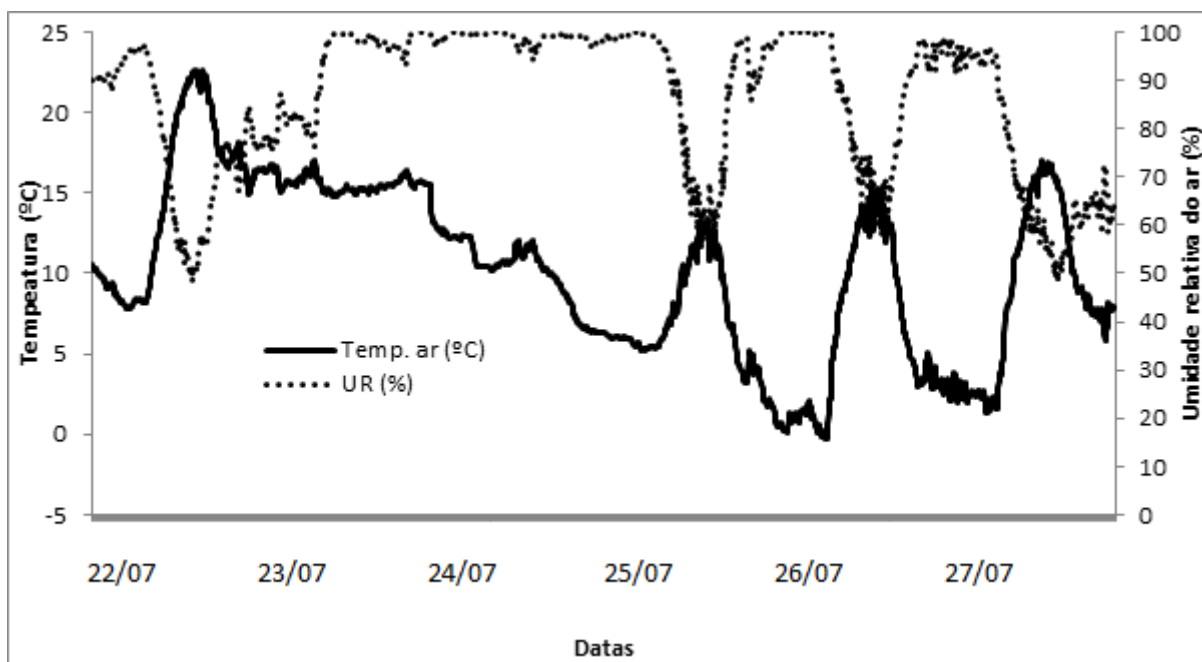
**Apêndice H - Precipitação pluvial diária (mm) no período de 14/06/2014 a 19/06/2014. Coxilha-RS, 2014.**



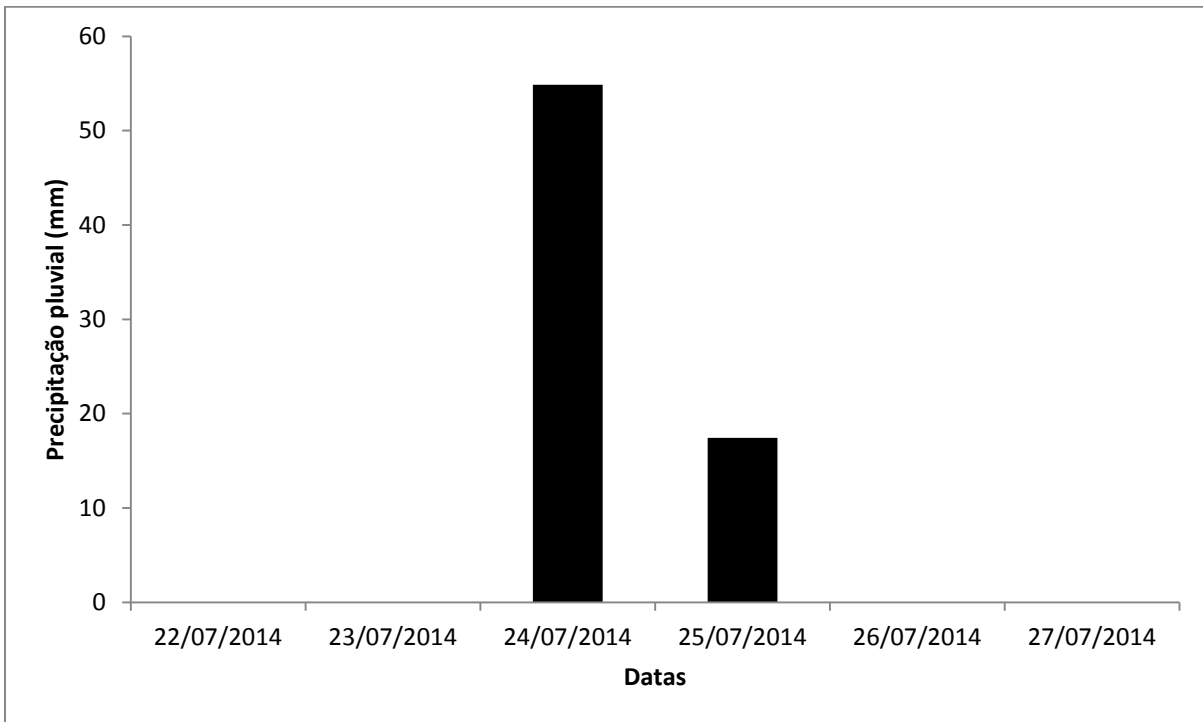
Apêndice I - Radiação solar global (Rg) diária o período de 14/06/2014 a 20/06/2014. Coxilha-RS, 2014.



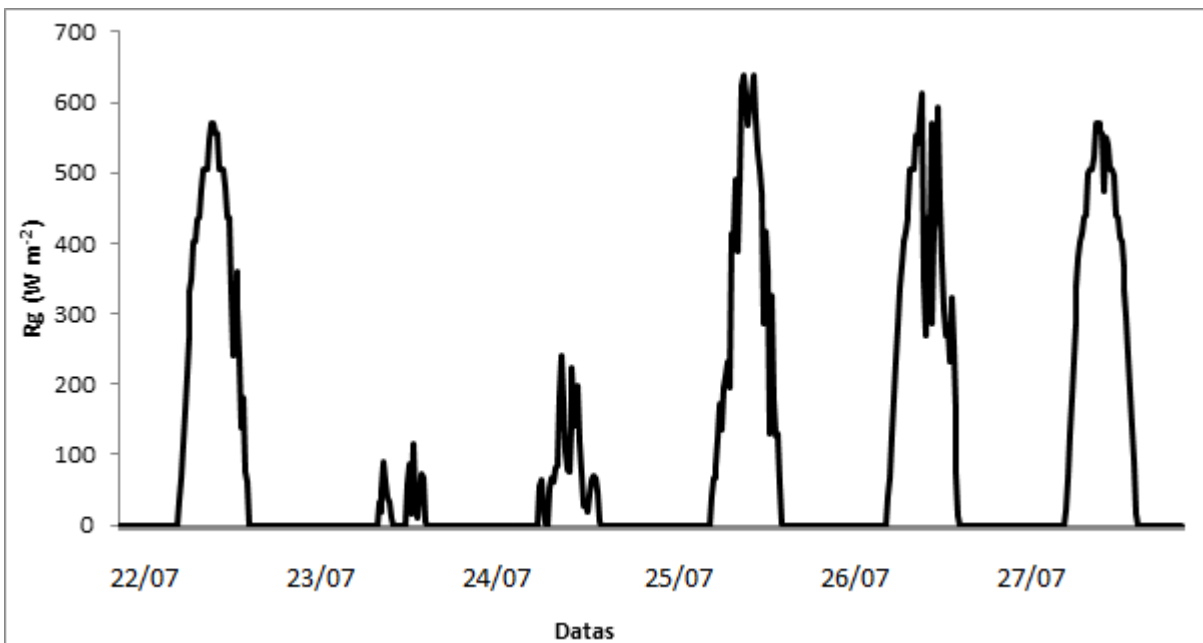
Apêndice J - Temperatura ( $^{\circ}C$ ) e umidade relativa do ar (%) para o período de 22/07/2014 a 27/07/2014. Coxilha-RS, 2014.



**Apêndice L - Precipitação pluviométrica diária (mm) no período de 22/07/2014 a 27/07/2014. Coxilha-RS, 2014.**

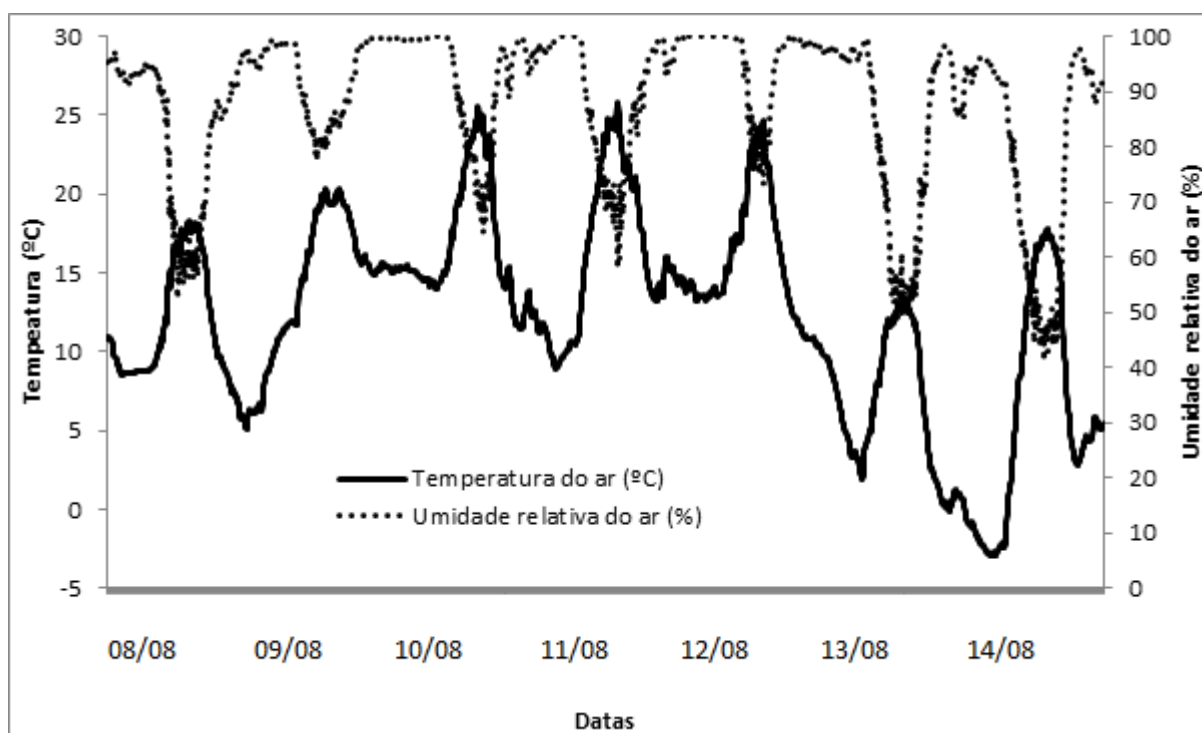


**Apêndice M - Radiação solar global (Rg) diária no período de 22/07/2014 a 27/07/2014. Coxilha-RS, 2014.**

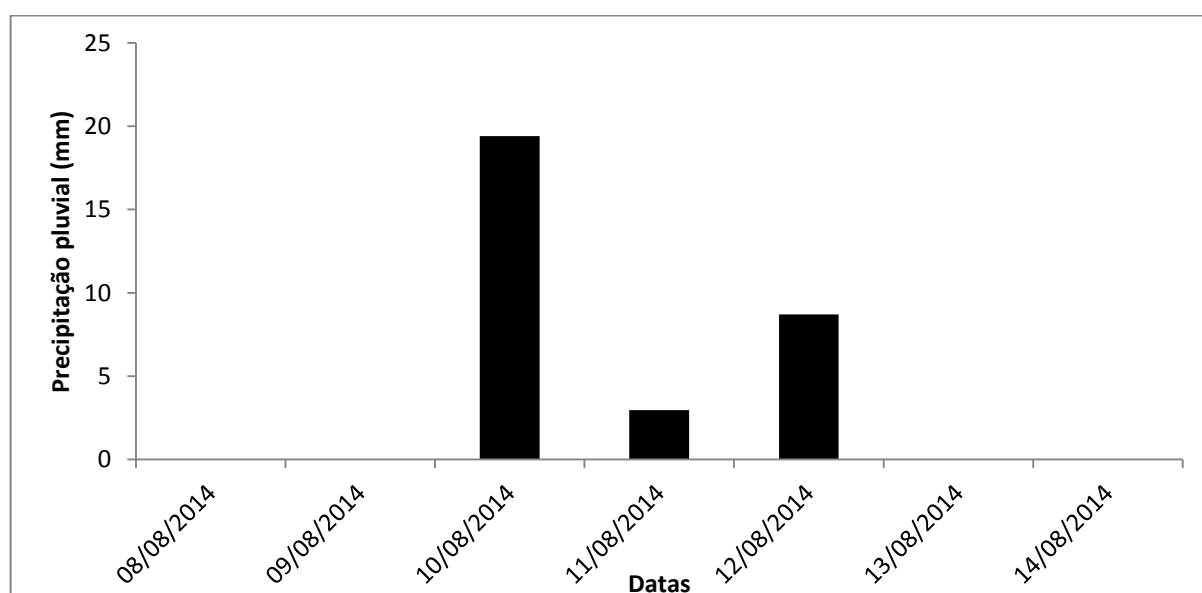




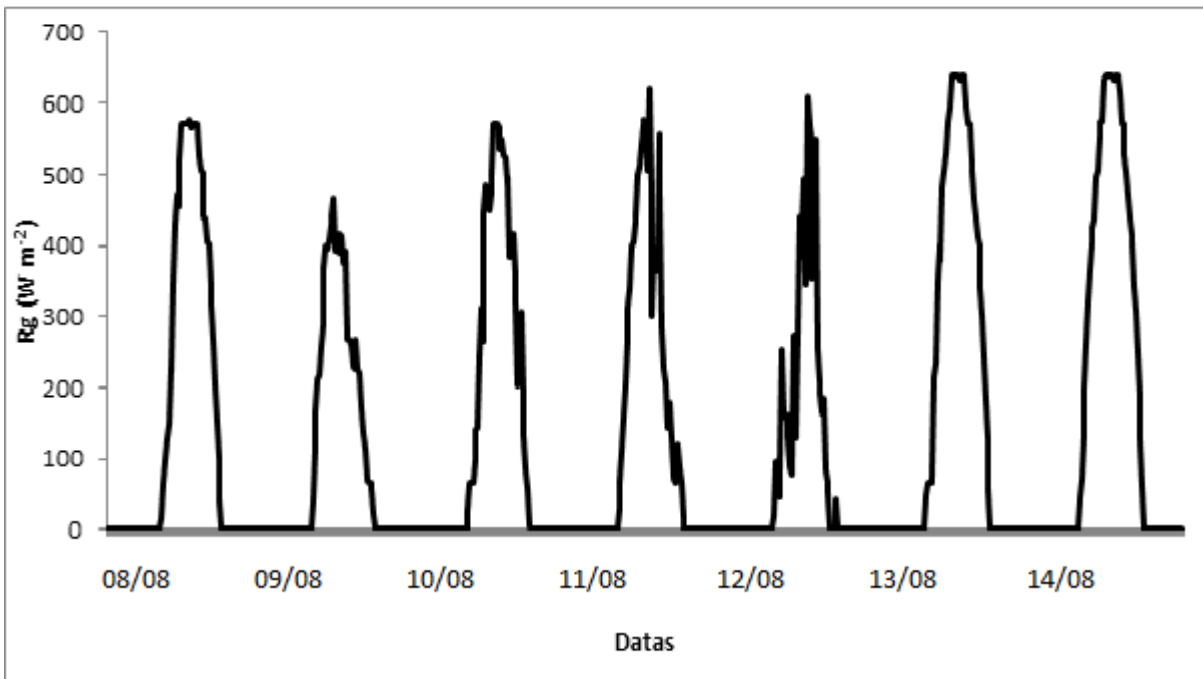
**Apêndice N - Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) para o período de 08/08/2014 a 14/08/2014. Coxilha-RS, 2014.**



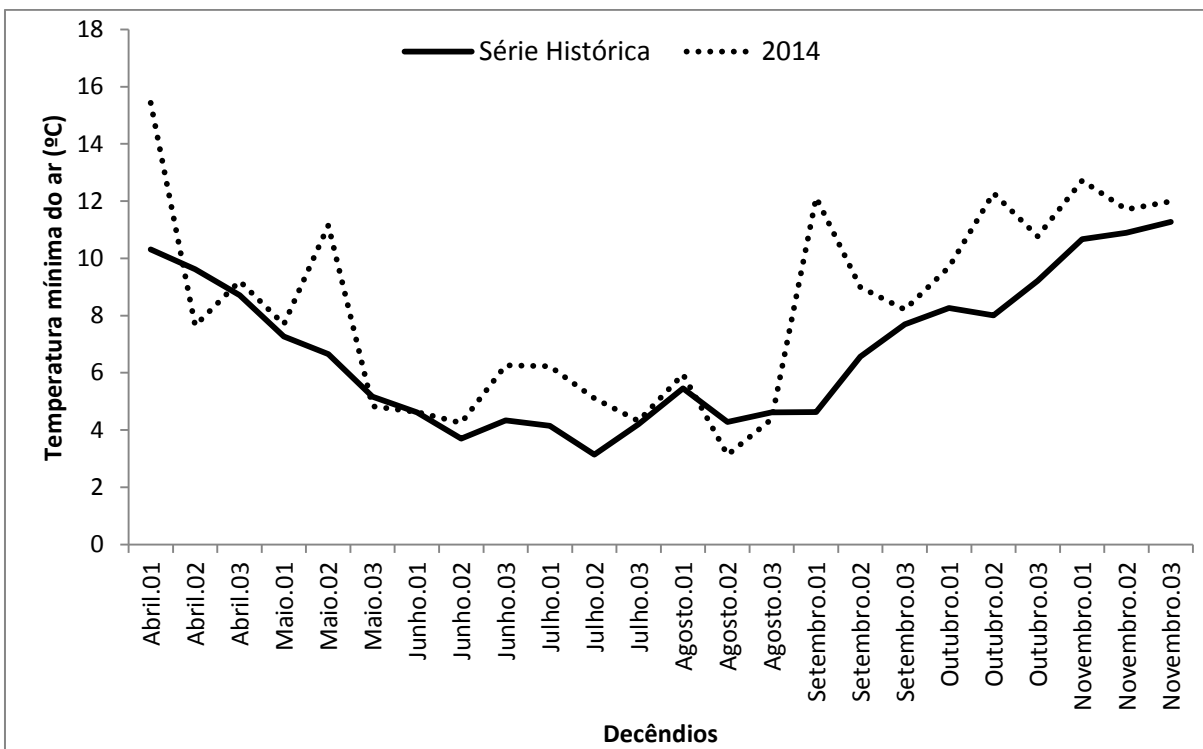
**Apêndice O - Precipitação pluvial diária (mm) no período de 08/08/2014 a 14/08/2014. Coxilha-RS, 2014.**



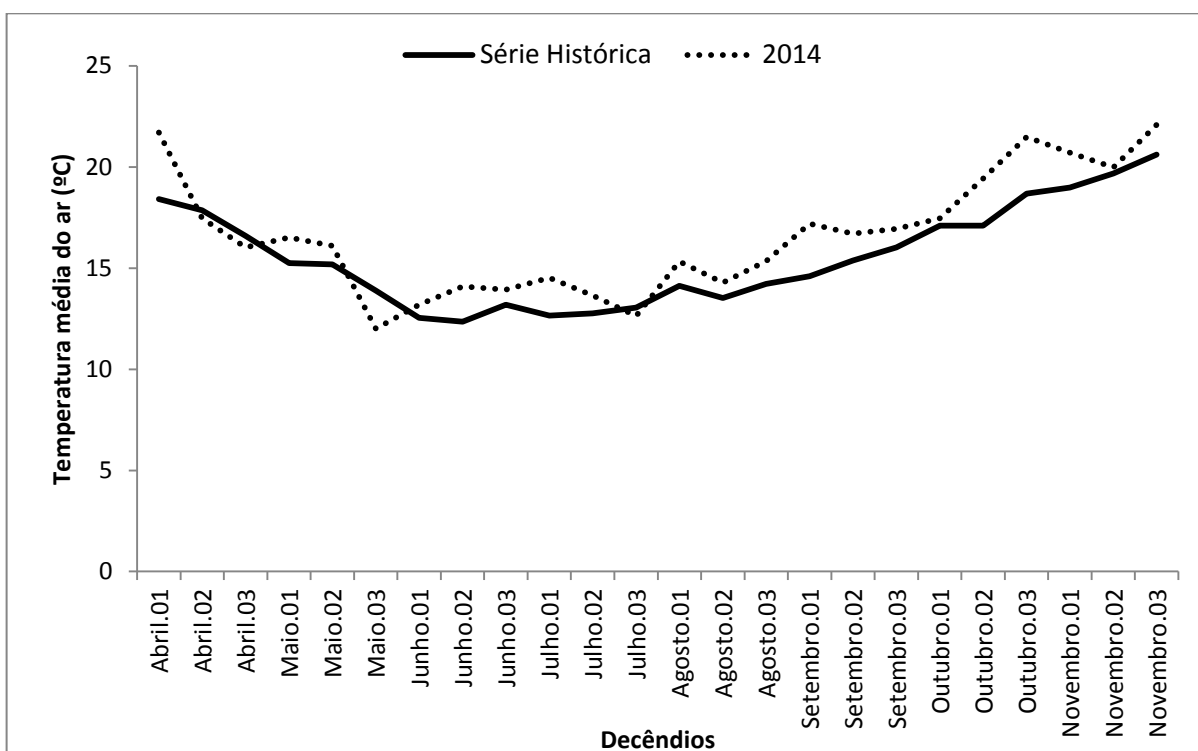
**Apêndice P - Radiação solar global (Rg) diária par o período de 08/08/2014 a 14/08/2014. Coxilha-RS, 2014.**



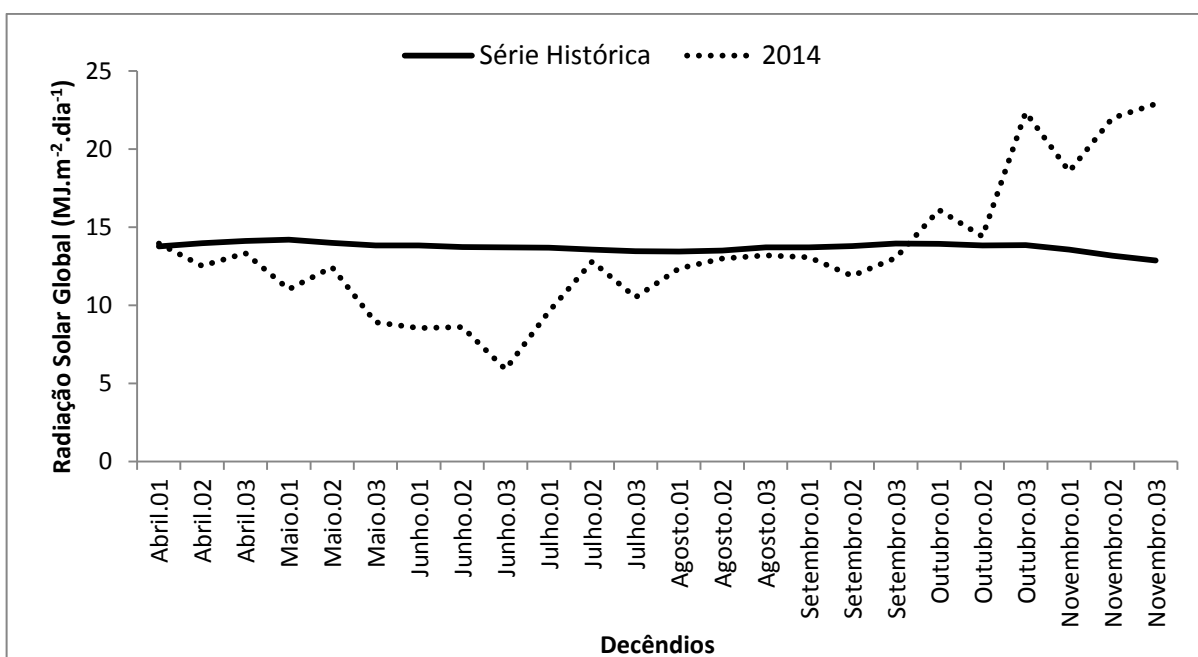
**Apêndice Q - Temperatura mínima do ar decencial da série histórica (1961-1990) e do ano de 2014.**



**Apêndice R - Temperatura média do ar decencial da série histórica (1961-1990) e do ano de 2014.**



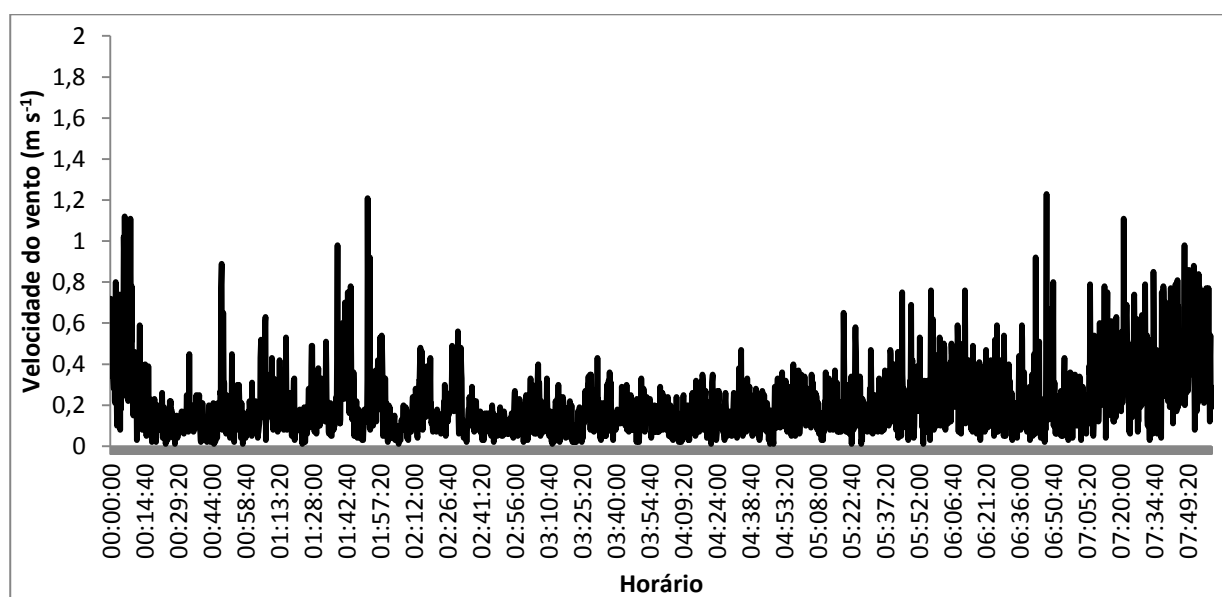
**Apêndice S - Radiação solar global decencial da série histórica (1961-1990) e do ano de 2014.**



**Apêndice T - Avaliação da cobertura por palha da superfície do solo (%) feita através do método da corda seccionada, proposto por Sloneker e Modenhauer (1977) em solo sem palha na superfície (SSP), em solo totalmente coberto com palha (CT), em solo com resíduos de outros cultivos (CS) e linha de semeadura sem palha (LSP). Coxilha-RS, 2014.**

Data de semeadura	Bloco	Data de avaliação	Tratamentos			
			SSP	CT	CS	LSP
23/04/2014	1	15/05/2014	7,2	89,8	78,4	57,6
	2		7,6	92,7	76,8	54,6
	3		13,12	96,3	75,2	56,3
	4		9,44	92,2	67,4	58
	Média		9,34	92,75	74,45	56,6
29/05/2014	1	11/07/2014	14,3	91,6	56,4	55,12
	2		9,01	82,5	53,02	59,5
	3		9,59	81,5	59,3	59,5
	4		14,1	87,7	53,2	51,9
	Média		11,75	85,8	55,5	56,5
16/07/2014	1	15/08/2014	14,6	91,02	40,6	56,6
	2		19,5	90,12	50,19	58,14
	3		17,5	92,1	52,8	54,5
	4		13,15	88,6	45,3	56,6
	Média		16,2	90,5	47,2	56,5

**Apêndice U - Velocidade do vento ( $m s^{-1}$ ) a 1 m de altura do solo medida no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014). Coxilha-RS, 2014.**



Apêndice V - Direção do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) a 1 m de altura do solo medida no período de 18h00min (19/06/2014) a 08h00min (20/06/2014). Coxilha-RS, 2014.

