

ANÁLISE DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DO AR REGISTRADAS EM SANTA MARIA, RS.
I - ESTIMATIVA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DO AR A 5cm DA SUPERFÍCIE DO
SOLO RELVADO E DO SOLO DESNUDO

Analysis of Minimum Temperatures Registrated in Santa Maria - RS.
I - Estimation of Minimum Air Temperatures at 5cm Above Bare and
Grass Covered Soil

Arno Bernardo Heldwein*, Valduino Estefanel*, Paulo Augusto Manfron**,
Ailo Valmir Saccol*, Galileo Adeli Buriol* e Flavio Miguel Schneider*

RESUMO

Foram determinados modelos de regressão linear múltipla de estimativa das temperaturas mínimas diárias do ar a 5cm da superfície do solo relvado (T_{mr}) e do solo desnudo (T_{md}) com o uso das variáveis temperatura mínima do ar medida no abrigo meteorológico (T_{ma}), pressão parcial de vapor do ar (e_{21}) e grau de nebulosidade (N_{21}), às 21 horas do dia anterior e velocidade média do vento (VV) no período noturno, a 2m de altura. Os dados das variáveis meteorológicas foram obtidos na Estação Climatológica Principal instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Os resultados evidenciaram que os valores médios mensais das T_{ma} são sempre maiores que aqueles das T_{mr} e T_{md} e que a diferença média mensal $T_{ma} - T_{mr}$ sempre é maior que a diferença $T_{ma} - T_{md}$.

O uso de modelos de regressão linear múltipla com as variáveis T_{ma} , VV , N_{21} e e_{21} , permite estimar com precisão satisfatória os valores diários de T_{mr} ou T_{md} . Modelos específicos para dias sem nebulosidade, às 21 horas do dia anterior, aumentam a precisão da estimativa da T_{mr} ou T_{md} .

UNITERMOS: temperatura mínima do ar, modelos de regressão.

SUMMARY

Multiple regression analysis were conducted to estimate the air temperature at 5cm above grass covered (T_{mr}) and bare soil (T_{md}) using as variables the minimum air temperature inside the meteorological

* Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria e bolsista do CNPq.

** Professor Assistente do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. 97.119 - Santa Maria, RS.

shelter (T_{ma}), air partial vapor temperature (e_{21}) and degree of nebulosity (N_{21}), at 9 pm the day before and average wind speed (VV) during the night at 2m above soil. The data were obtained in the Meteorological Station located on the campus of the Federal University of Santa Maria.

The results indicated that the average monthly values of T_{ma} exceeds the values of T_{mr} and T_{md} and that the average monthly difference $T_{ma} - T_{mr}$ were always greater than the difference $T_{ma} - T_{md}$.

The use of regression linear models using the variables T_{ma} , VV , N_{21} and e_{21} permits to estimate with an acceptable precision T_{mr} and T_{md} daily values. Specific models for days without nebulosity at 9 pm the day before, increased the precision of estimation of both T_{mr} and T_{md} .

KEY WORDS: minimum temperature, regression models.

INTRODUÇÃO

A temperatura do ar usualmente é determinada apenas no abrigo meteorológico, a uma altura de 1,5m da superfície do solo. Em algumas estações meteorológicas realizam-se também determinações das temperaturas extremas a 5cm da superfície do solo relvado e do solo desnudo.

A temperatura mínima sobre o solo relvado normalmente é inferior a aquela determinada no abrigo meteorológico (4, 6, 7). AGENDES (1) verificou que em Pelotas, RS, o comportamento é similar, exceto para 2% dos dias observados com diferenças, nestes casos, de, no máximo, $0,5^{\circ}\text{C}$. O valor médio das diferenças entre a temperatura mínima do abrigo e sobre o solo relvado para Pelotas, RS foi de $3,9^{\circ}\text{C}$ com desvio padrão, em base mensal, de $2,8^{\circ}\text{C}$ (1). Na Inglaterra, Ritchie (1969) citado por BAKRY (2) verificou que a diferença média anual foi de apenas 2°C e que em 6% dos dias a temperatura mínima no abrigo foi menor que a de relva.

A temperatura mínima no abrigo é maior que aquela do solo relvado devido ao fenômeno da inversão térmica que ocorre durante a noite. Este fenômeno é mais intenso em noites com ausência de nebulosidade, vento e com baixa umidade do ar como nas noites de ocorrência de geadas de radiação (5). Nestas situações, a camada do ar mais frio encontra-se junto a superfície e a temperatura medida no abrigo não caracteriza a ocorrência e nem a intensidade da geada ao nível das culturas anuais de baixo porte.

Considerando que a temperatura mínima de relva caracteriza melhor a ocorrência e a intensidade das geadas de radiação, freqüentes no RS,

e que em grande número de estações meteorológicas não se efetua esta medida, realizou-se este trabalho com o objetivo de determinar modelos para estimarem as temperaturas mínimas do ar a 5cm da superfície do solo desnudo para Santa Maria, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados das variáveis meteorológicas utilizadas foram obtidos na Estação Climatológica Principal instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: $29^{\circ}42'S$, longitude: $53^{\circ}42'W$ e altitude: 95m), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura. Utilizou-se o período de 05/10/1970 a 31/12/1984 para as temperaturas mínimas diárias do ar registradas no abrigo meteorológico (Tma) e a 5cm acima do solo relvado (Tmr) e de 01/10/1973 a 31/12/1984 para as temperaturas obtidas a 5cm acima do solo desnudo (Tmd). Também coletou-se, no período de 01/10/1976 a 31/12/1984, os dados de quilometragem acumulada do vento, determinada pelo anemômetro de canecas, instalado a 2m de altura, às 21 horas (GMT 24 horas) do dia anterior e 9 horas (GMT 12 horas) do dia, grau de nebulosidade (N_{21}), umidade relativa do ar e temperatura do ar, às 21 horas do dia anterior.

O solo da área da Estação Climatológica Principal pertence a Unidade de Mapeamento Santa Maria (3). A cobertura vegetal deste solo é grama - batatais (*Paspalum notatum* Flügge).

Calculou-se a pressão parcial de vapor do ar, em mm de Hg (e_{21}), às 21 horas do dia anterior, com o auxílio da equação 1.

$$e_{21} = \frac{UR_{21} \times e_{s21}}{100} \quad (1)$$

Onde: UR_{21} = umidade relativa do ar, às 21 horas do dia anterior;

e_{s21} = pressão saturante de vapor do ar, às 21 horas do dia anterior, calculada com a equação 2:

$$e_{s21} = 4,5825 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot t_{21}}{237,5+t_{21}}} \quad (2)$$

t_{21} = temperatura do ar, às 21 horas do dia anterior.

A velocidade média do vento (VV), em km/h, durante o período noturno, a 2m de altura, foi obtida com a equação 3.

$$VV = \frac{k_9 - k_{21}}{12h} \quad (3)$$

Onde: k_9 e k_{21} = quilometragem acumulada do anemômetro de canecas, 2m de altura, às 9 horas do dia e 21 horas do dia anterior, respectivamente.

Também calcularam-se as médias mensais e respectivos desvios-padrão das Tma, Tmr e Tmd e das diferenças Tma - Tmr e Tma - Tmd.

Foram obtidos modelos de regressão linear entre as Tmr ou Tmd com as variáveis Tma, e_{21} , VV e N_{21} e seus coeficientes de determinação (R^2), pelo método dos quadrados mínimos, do tipo da equação geral (4).

$$y = a + bx + e \quad (4)$$

Onde: y = Tmr ou Tmd
 x = Tma ou e_{21} ou VV ou N_{21}

Usando o processo STEPWISE, verificou-se a contribuição conjunta das variáveis Tma, e_{21} , N_{21} e VV na estimativa da Tmr ou Tmd. Com base nesta análise, determinaram-se modelos de regressão linear múltipla do tipo da equação (5).

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + e \quad (5)$$

Onde: y = Tmr ou Tmd
 x_1, x_2, x_3, x_4 = variáveis Tma, e_{21} , N_{21} e VV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as médias mensais da Tma e as diferenças e desvios-padrão entre a Tma e Tmr e a Tma e Tmd. Verifica-se que as médias da Tma são mais elevadas que aquelas a 5cm da superfície do solo relvado e do solo desnudo, em todos os meses do ano. Resultados similares foram obtidos por AGENDES (1) e DE FINA (4). Também observa-se que as diferenças, de um modo geral, são mais elevadas nos meses do semestre frio (abril a setembro) devido ao fato que, durante este período,

TABELA 1. Médias mensais (\bar{x}) das temperaturas mínimas diárias do ar observadas no abrigo meteorológico (Tma) e das diferenças entre a Tma e as observadas a 5cm sobre o solo relvado (Tmr) e o solo desnudo (Tmd) e respectivos desvios-padrão (s) em Santa Maria, RS, obtidas com o período de 1970-1984.

Meses	Tma ($^{\circ}\text{C}$) \bar{x}	Tma-Tmr ($^{\circ}\text{C}$)		Tma-Tmd ($^{\circ}\text{C}$)	
		\bar{x}_r	sr	\bar{x}_d	sd
Janeiro	19,5	2,6	1,8	1,8	1,3
Fevereiro	19,7	2,3	1,6	1,5	1,2
Março	18,0	2,6	1,6	1,8	1,3
Abril	14,0	3,4	2,0	2,3	1,5
Maiο	12,3	3,2	2,3	2,3	1,9
Junho	9,4	2,9	2,7	2,0	2,3
Julho	10,2	2,8	2,7	2,1	2,4
Agosto	10,3	2,9	2,5	2,1	2,0
Setembro	11,7	2,9	2,2	2,0	2,0
Outubro	13,9	2,7	2,1	1,9	1,8
Novembro	15,7	2,8	1,9	1,8	1,6
Dezembro	18,0	2,8	1,9	1,7	1,6

o número de dias com a ocorrência de inversão térmica é mais freqüente, provavelmente porque as noites são mais longas e a umidade específica do ar é menor, nesta época do ano. Nestas situações, o balanço de radiação, durante a noite, é mais negativo, o que propicia um intenso resfriamento e conseqüentemente resulta numa maior diferença entre a Tma e a Tmr ou Tmd. Esta suposição é corroborada pelos dados da Tabela 2 que mostram que as diferenças entre as Tma e as Tmr ou Tmd são elevadas para os dias com $Tma \leq 6^{\circ}\text{C}$, que se verificam após noites com ausência de nebulosidade e vento e com baixa umidade do ar durante o semestre frio do ano. A medida que diminui a Tma de $6,0^{\circ}\text{C}$ para $0,0^{\circ}\text{C}$ observa-se um leve incremento da diferença média tanto entre a Tma e Tmr como entre a Tma e Tmd. Estas diferenças médias são iguais ou maiores que $4,5^{\circ}\text{C}$ e $3,3^{\circ}\text{C}$ com relação ao solo relvado e ao solo desnudo, respectivamente.

As Tabelas 1 e 2 também evidenciam que as diferenças médias entre a Tma e Tmr são consistentemente maiores que as diferenças entre a Tma e Tmd. Este fato se deve provavelmente porque o solo desnudo é uma superfície mais homogênea e que o vegetal, por ser um mau condutor de

energia, atua como uma camada isolante entre o solo e o ar, dificultando a transferência de energia do solo para a superfície emissora (vegetação) e para a atmosfera.

TABELA 2. Média anual das temperaturas mínimas diárias do ar observadas no abrigo meteorológico (Tma), a 5cm sobre solo relvado (Tmr) e solo desnudo (Tmd) para $Tma \leq 6,0^{\circ}C$ e das diferenças entre Tma - Tmr e Tma - Tmd para Santa Maria, RS, obtidas com o período de 1970 - 1984.

Tma ($^{\circ}C$) \leq	Valor médio anual ($^{\circ}C$)			Diferença média anual ($^{\circ}C$)	
	Tma	Tmr	Tmd	Tma - Tmr	Tma - Tmd
6,0	3,5	-1,0	0,3	4,5	3,3
5,0	2,8	-1,8	-0,5	4,6	3,4
4,0	1,9	-2,7	-1,3	4,6	3,3
3,0	1,3	-3,5	-2,1	4,8	3,3
2,0	0,7	-4,4	-2,8	5,1	3,5
1,0	0,0	-5,1	-3,6	5,1	3,6
0,0	-0,7	-5,7	-4,4	5,0	3,7

Os valores dos desvios-padrão das diferenças Tma - Tmr e Tma - Tmd (Tabela 1) são bastante elevados, sendo em alguns casos até superiores aos valores médios destas diferenças. Esta constatação evidencia a grande variabilidade destas diferenças e que seu valor médio não é representativo das diferenças. Este comportamento também foi observado por AGENDES (1) em Pelotas, RS.

Os valores do coeficiente de determinação (R^2) da Tabela 3 mostram que existe uma boa associação entre as temperaturas mínimas do ar determinadas no abrigo com as determinadas a 5cm acima do solo relvado e a 5cm acima do solo desnudo. Verifica-se que os valores de R^2 dos modelos mensais de regressão linear, cujos coeficientes linear e angular estão na Tabela 3, são superiores a 0,80, exceto para correlação entre Tma e Tmd para o mês de dezembro. Estes valores são superiores ao R^2 do modelo de regressão linear entre a Tma e Tmr obtido por AGENDES (1) para Pelotas, RS, que foi 0,77 para o período anual. A Tabela 3 também mostra que os valores do coeficiente linear são negativos e variam de -1,54

a -6,66 e os do coeficiente angular são, em média, 1,14. Estes valores evidenciam que a medida que aumenta o valor da Tma diminui a diferença em relação a Tmr e Tmd.

TABELA 3. Coeficientes dos modelos de regressão linear ($y = a+bx + e$) obtidos entre a temperatura mínima do ar do abrigo meteorológico com a ocorrida a 5cm do solo relvado e do solo desnudo, para Santa Maria, RS, com base nos dados de 1970 a 1984.

Meses	Solo relvado			Solo desnudo		
	a	b	R ²	a	b	R ²
Janeiro	-6,66	1,20	0,82	-4,16	1,12	0,88
Fevereiro	-6,08	1,19	0,83	-3,44	1,10	0,85
Março	-6,42	1,21	0,86	-4,17	1,13	0,89
Abril	-6,66	1,23	0,88	-4,73	1,17	0,92
Mai	-5,74	1,20	0,88	-3,82	1,13	0,89
Junho	-4,67	1,19	0,85	-3,36	1,14	0,86
Julho	-3,88	1,11	0,81	-2,62	1,06	0,83
Agosto	-4,30	1,14	0,85	-2,72	1,06	0,88
Setembro	-4,68	1,15	0,87	-3,18	1,10	0,88
Outubro	-5,08	1,17	0,83	-3,88	1,14	0,85
Novembro	-5,63	1,18	0,82	-3,71	1,12	0,86
Dezembro	-5,16	1,13	0,80	-1,54	0,99	0,76

A análise dos valores diários das diferenças Tma - Tmr e Tma - Tmd mostrou que, embora em número reduzido, ocorrem valores negativos, sendo em alguns dias de até 12,0°C. Também observou-se que estas diferenças negativas ocorrem em dias chuvosos ou encobertos por nuvens ou nevoeiros e em dias com velocidade do vento relativamente elevada. Com base nestas constatações, determinou-se modelos de regressão linear entre a Tmr ou Tmd com as variáveis pressão parcial de vapor (e_{21}) e grau de nebulosidade (N_{21}) as 21 horas do dia anterior e a velocidade média do vento (VV), a 2m de altura, entre 21 horas do dia anterior e 9 horas da manhã do dia, cujos coeficientes de determinação encontram-se na Tabela 4.

TABELA 4. Coeficientes de determinação dos modelos de regressão linear ($y = a+bx+e$) obtidos entre a temperatura mínima do ar ocorrida a 5cm do solo relvado ou do solo desnudo com pressão parcial de vapor (e_{21}), grau de nebulosidade (N_{21}) e velocidade média do vento (VV) para Santa Maria, RS, com base nos dados de 1976 a 1984.

Meses	Solo relvado			Solo desnudo		
	e_{21}	N_{21}	VV	e_{21}	N_{21}	VV
Janeiro	0,68	0,17	ns*	0,63	0,16	ns
Fevereiro	0,61	0,13	ns	0,56	0,13	ns
Março	0,59	0,12	0,05	0,55	0,12	0,06
Abril	0,71	0,07	0,29	0,69	0,07	0,32
Mai	0,72	0,16	0,25	0,70	0,18	0,27
Junho	0,73	0,19	0,32	0,71	0,19	0,34
Julho	0,61	0,15	0,04	0,59	0,16	0,04
Agosto	0,59	0,16	0,38	0,58	0,18	0,40
Setembro	0,66	0,13	0,26	0,64	0,14	0,29
Outubro	0,66	0,13	0,13	0,61	0,13	0,16
Novembro	0,57	0,18	0,10	0,54	0,20	0,11
Dezembro	0,46	0,19	ns	0,48	0,19	0,04

*ns = não significativo

A Tabela 4 mostra que, na quase totalidade dos meses, as variáveis analisadas estão correlacionadas significativamente com a T_{mr} e a T_{md} . A mais alta correlação foi obtida com a variável e_{21} e a mais baixa com a variável N_{21} , sendo, entretanto, bastante uniforme ao longo dos meses do ano. A variável VV apresentou um comportamento irregular com boa associação no semestre frio (abril a setembro) e baixa associação no semestre quente (outubro a março), sendo que em alguns meses como janeiro e fevereiro não houve associação significativa. Este comportamento demonstra que as variáveis e_{21} , N_{21} e VV influem significativamente nas perdas radiativas noturnas da superfície terrestre e conseqüentemente nos valores de T_{mr} e T_{md} e permite inferir que o uso destas variáveis associado com a T_{ma} provavelmente melhorará a precisão da estimativa da T_{mr} e T_{md} .

Quando se utilizou a STEPWISE para determinar modelos de regressão linear múltipla, verificou-se que a T_{ma} foi a primeira variável a ser

incluída no modelo, seguida da VV e por último se alternando na ordem a N_{21} e a e_{21} . O STEPWISE, com exceção do mês de março para a Tmd, sempre selecionou todas as variáveis. Mesmo que algumas tenham propiciado pequeno aumento no valor de R^2 , todas ajustaram uma parte significativa da variação de y (Tmr ou Tmd), na maioria das vezes significativa para $\alpha = 0,01$. Este fato determinou que as quatro variáveis entrassem nos modelos de estimativa de Tmr e Tmd, cujos coeficientes dos modelos e de determinação encontram-se na Tabela 5.

TABELA 5. Coeficientes do modelo $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + e$ para estimar a temperatura mínima diária de relva e do solo desnudo em função da temperatura mínima diária do abrigo (Tma), da velocidade média do vento (VV), do grau de nebulosidade (N_{21}) e da tensão parcial de vapor (e_{21}), para Santa Maria, RS, com base nos dados de 1976 a 1984.

Meses	b_0	Tma	VV	N_{21}	e_{21}	R^2
Solo Desnudo						
Janeiro	-8,14	0,937310	0,276293	0,051532	0,263199	0,86
Fevereiro	-7,09	0,950042	0,228325	0,105722	0,208157	0,84
Março	-7,56	1,114142	0,245334	0,071029	0,073820	0,90
Abril	-8,93	0,934313	0,319321	0,050974	0,332320	0,93
Maiο	-8,75	0,913286	0,275723	0,185030	0,337334	0,94
Junho	-10,36	0,683565	0,327477	0,192579	0,722275	0,91
Julho	-8,40	0,840931	0,005477	0,236403	0,528319	0,85
Agosto	-8,70	0,797135	0,265882	0,202269	0,470133	0,92
Setembro	-7,47	0,849080	0,213576	0,158212	0,330399	0,92
Outubro	-7,74	0,822670	0,266035	0,117481	0,376597	0,88
Novembro	-6,76	0,937025	0,228208	0,155316	0,188672	0,87
Dezembro	-6,95	0,883619	0,283836	0,121172	0,235624	0,86
Solo Relvado						
Janeiro	-5,42	0,953972	0,202300	0,044116	0,175383	0,91
Fevereiro	-4,38	0,854847	0,199863	0,096406	0,223119	0,88
Março	-5,22	1,038494	0,196163	0,073727	0,082386	0,91
Abril	-6,14	0,880638	0,242096	0,038572	0,303482	0,94
Maiο	-6,20	0,811281	0,233786	0,133416	0,368772	0,93
Junho	-7,90	0,689934	0,264861	0,150402	0,643466	0,93
Julho	-6,42	0,787281	0,004481	0,195766	0,513654	0,88
Agosto	-0,75	0,768845	0,199086	0,158190	0,388992	0,94
Setembro	-5,33	0,852099	0,152939	0,151507	0,288917	0,92
Outubro	-5,80	0,813425	0,209213	0,091730	0,356669	0,90
Novembro	-4,24	0,940856	0,183914	0,099051	0,130294	0,89
Dezembro	-1,66	0,805519	0,157554	0,108333	0,132526	0,78

Embora não seja possível comparar os resultados da Tabela 5 com os da Tabela 3, devido aos períodos de observação utilizados serem distintos, verifica-se que, exceto para a estimativa de Tmr no mês de dezembro, os valores de R² são elevados. Deduz-se, portanto, que o uso das variáveis e₂₁, N₂₁ e VV juntamente com a Tma proporcionaram estimativas de Tmr e Tmd com precisão satisfatória.

Ao utilizar somente os dias sem nebulosidade, na leitura das 21 horas do dia anterior, verificou-se uma substancial melhora na precisão da estimativa de Tmr e Tmd, principalmente nos meses de abril a setembro, cujos valores de R² (Tabela 6) são iguais ou maiores que 0,93.

TABELA 6. Coeficientes do modelo $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + e$ para estimar a temperatura mínima diária de relva e do solo desnudo em função da temperatura mínima diária do abrigo (Tma), da velocidade média do vento (VV) e da tensão parcial do vapor (e₂₁), usando somente os dias sem velocidade (N₂₁), para Santa Maria, RS, com base nos dados de 1976 a 1984.

Mes es	b ₀	Tma	VV	e ₂₁	R ²
Solo desnudo					
Janeiro	-9,02	0,928544	0,343654	0,308562	0,90
Fevereiro	-8,08	1,111568	0,228747	0,088383	0,92
Março	-6,88	1,071272	0,212809	0,085041	0,92
Abril	-9,34	0,781819	0,352018	0,479020	0,94
Maiο	-8,73	0,824585	0,266145	0,429285	0,96
Junho	-10,28	0,697015	0,287886	0,706820	0,96
Julho	-5,85	1,031854	0,002939	0,089580	0,94
Agosto	-9,64	0,667768	0,368028	0,639802	0,95
Setembro	-8,19	0,686836	0,349503	0,500608	0,93
Outubro	-8,56	0,686124	0,421229	0,523781	0,93
Novembro	-5,92	0,948277	0,278774	0,095956	0,86
Dezembro	-6,54	0,882080	0,229223	0,249852	0,84
Solo relvado					
Janeiro	-7,96	1,192840	0,210122	0,064592	0,95
Fevereiro	-4,99	0,954588	0,215592	0,143487	0,96
Março	-4,51	1,053018	0,151160	0,036236	0,93
Abril	-6,49	0,713042	0,285533	0,465531	0,94
Maiο	-6,68	0,642891	0,326655	0,549959	0,95
Junho	-7,53	0,714681	0,220829	0,588401	0,96
Julho	-4,40	0,932916	0,002471	0,171702	0,94
Agosto	-5,90	0,691378	0,273654	0,442553	0,95
Setembro	-6,63	0,680949	0,268987	0,515304	0,94
Outubro	-6,99	0,695918	0,358476	0,510848	0,93
Novembro	-3,28	0,895509	0,221064	0,094336	0,88
Dezembro	-1,31	0,876160	0,139651	0,050047	0,70

Esta melhora na precisão se deve à retirada dos dias chuvosos e encobertos com nuvens onde o gradiente vertical da temperatura do ar permanece positivo durante o período noturno. As perdas radiativas da superfície do solo relvado ou desnudo, nestas situações, são menores e normalmente não possibilitam a ocorrência do fenômeno da inversão da temperatura do ar.

Analisando-se a precisão da estimativa da T_{mr} ou T_{md} com base nos valores de R^2 e considerando que estes valores foram satisfatórios para os modelos de regressão linear múltipla com todas as variáveis e principalmente para dias sem nebulosidade, pode-se estimar, com precisão satisfatória, a T_{mr} ou T_{md} a partir da T_{ma} , VV , N_{21} e e_{21} . Deve-se ressaltar que os valores de R^2 mais elevados foram obtidos com os modelos de regressão linear múltipla para dias sem nebulosidade nos meses do semestre frio, justamente no período onde normalmente ocorrem geadas de radiação. A estimativa da T_{mr} , neste período, é mais útil devido que, este parâmetro caracteriza melhor a ocorrência e a intensidade das geadas de radiação. Entretanto, nem todas as estações meteorológicas tem observações das variáveis usadas no modelo de regressão múltipla, não restando, então, outra opção, senão, estimar T_{mr} e T_{md} somente com a T_{ma} , embora com menor precisão.

CONCLUSÕES

1. A temperatura média mensal das mínimas do ar medida a 5cm da superfície do solo relvado e do solo desnudo é sempre inferior aquela no abrigo meteorológico.
2. A diferença média mensal entre a temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico e a 5cm acima do solo relvado é sempre maior que a diferença média mensal entre a temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico e a 5cm acima do solo desnudo.
3. A diferença média entre a temperatura mínima do ar medida no abrigo meteorológico e aquela a 5cm da superfície do solo relvado para temperatura mínima do abrigo meteorológico iguais ou menores que $6,0^{\circ}\text{C}$ é maior que $4,4^{\circ}\text{C}$.
4. Existe correlação entre a temperatura mínima do ar medida a 5cm acima do solo relvado e do solo desnudo com a temperatura mínima do ar medida no abrigo meteorológico (T_{ma}).
5. O uso de modelos de regressão linear múltipla com as variáveis temperatura mínima do ar medida no abrigo meteorológico (T_{ma}), velocidade média do vento (VV), durante o período noturno, grau de nebulosi-

dade (N_{21}) e pressão parcial de vapor do ar (e_{21}), às 21 horas do dia anterior permite estimar, com precisão satisfatória, a temperatura mínima do ar a 5cm acima do solo relvado ou desnudo.

6. Modelos de regressão linear múltipla específico para dias sem nebulosidade às 21 horas do dia anterior, aumentam a precisão da estimativa da temperatura mínima do ar a 5cm do solo relvado ou desnudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia (89 DISME), que franqueou os dados meteorológicos, e ao Prof. Dr. Claudio Lovato, do Departamento de Fitotecnia da UFSM, pela versão inglesa do resumo.

LITERATURA CITADA

1. AGENDES, M.O. de O. Temperaturas mínimas próximas ao solo em Pelotas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Londrina, 1985. *Anais...* Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985. p.29-38.
2. BAKRY, M.M. *Measurements of minimum temperature near ground surface*. Genebra, WMO, 1975. (Rapporteur's Report to the President of Comission for Agricultural Meteorology)
3. BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
4. DE FINA, A.L. Las heladas primaverales en Buenos Aires durante el período 1909-1933. *Revista Argentina de Agronomia*, 2(6):57-77, 1935.
5. DE FINA, A.L. & RAVELO, A.C. *Climatologia y Fenologia Agrícolas*. Buenos Aires, Editorial Universitária, 1973. 281p.
6. GEIGER, R. *Manual de Microclimatologia. O clima da camada de ar junto ao solo*. (Trad. de I. Gouvea e F. C. Cabraz) Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. 639p. (Original alemão)
7. TUBELLIS, A. & NASCIMENTO, E.J.L. do. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo, Nobel, 1980. 374p.