



Horas de frio obtidas de estações meteorológicas convencional e automática

Angelo Mendes Massignam^{1(*)}, Cristina Pandolfo¹ e Wilian da Silva Ricce¹

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri/CIRAM, Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, Caixa Postal 502, CEP 88034-901 Florianópolis, SC. E-mails: massigna@epagri.sc.gov.br, cristina@epagri.sc.gov.br e wilianricce@epagri.sc.gov.br

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 24 de abril de 2018

Aceito em 20 de dezembro de 2018

Termos para indexação:

termógrafo

teste de homogeneidade

séries climatológicas

RESUMO

O número de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de 7,2°C é um índice bioclimático muito utilizado na fruticultura de clima temperado. O objetivo desse trabalho foi comparar as horas de frio obtidas de estações convencional e automática, instaladas em Campos Novos, SC. As variáveis meteorológicas horas de frio diárias, temperatura horária do termógrafo e temperatura do ar (mínima, média e instantânea) horária foram coletadas em uma estação meteorológica convencional (EMC) e em duas estações meteorológicas automáticas (EMA) instaladas em Campos Novos – SC. Esse estudo indicou que a principal razão das diferenças entre as horas de frio da EMC e das EMAs foi a falta de calibração do termógrafo na EMC. As temperaturas médias e instantânea do ar podem ser usadas para calcular as horas de frio nas EMAs mas a temperatura mínima do ar superestima as horas de frio. Os índices estatísticos e o teste de homogeneidade entre as séries históricas da estação meteorológica convencional e automática são importantes para determinar se as EMAs podem ser usadas para dar continuidade para às séries climatológicas de HF da EMC.

© 2018 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

O número de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de 7,2°C é um índice bioclimático, chamado horas de frio (HF), e é bastante utilizado nos estudos do efeito do nível térmico sobre o desenvolvimento vegetal, principalmente na fruticultura de clima temperado (Pola e Angelocci, 1993). Uma das metodologias mais utilizadas no passado para medir as HF foi a utilização do termógrafo ou ainda do termohigrógrafo. Esses equipamentos apresentam menor precisão, devido principalmente a erros

no manuseio e à menor sensibilidade do elemento sensor (Strassburger et al., 2011).

Nos tempos atuais, devido ao rápido avanço na tecnologia, as mudanças nos sistemas de observação meteorológica tornaram-se parte natural dos programas de monitoramento do ambiente. Essas mudanças incluem variações na amostragem espacial e temporal, nos algoritmos, nos sistemas de controle de qualidade, na instrumentação, na precisão e acuracidade instrumental e na representatividade das medidas. Algumas vezes essas mudanças podem causar sérios impactos na interpretação dos dados ambientais e

produtos derivados dessas leituras, particularmente para as análises de tendências (Guttman e Baker, 1996). Redução no tempo de coleta dos dados, maior número de informações em menor espaço de tempo e monitoramento em tempo real, são algumas das vantagens da automação dos dados meteorológicos. Por outro lado, a qualidade dos dados meteorológicos das estações automáticas dependem da manutenção e calibração de seus sensores, o que requer uma nova estratégia de gestão em manutenção preventiva e corretiva, substituição de sensores e equipamentos e dotações orçamentárias em níveis significativos (Lucas et al., 2006).

Devido ao avanço da tecnologia, principalmente na automação de dados meteorológicos, os instrumentos mecânicos existentes nas EMCs estão sendo substituídos por sensores automáticos. Os motivos vão desde a maior capacidade de amostragem até a possibilidade de operação em locais inóspitos e/ou de difícil acesso. Entretanto, apesar das EMAs fornecerem dados com melhor caracterização das condições meteorológicas, em função da ação do tempo de uso, estão sujeitas a danos físicos (interferência no sinal, desconexão e oxidação de cabos, dentre outros) e, por consequência, nessas condições, poderão gerar dados imprecisos ou interrupção na série de dados. Trabalhos (Sentelhas et al., 1997; Cunha e Martins, 2004; Pereira et al., 2008) comparando dados meteorológicos obtidos por EMC e EMA têm demonstrado que os dados de temperatura do ar apresentam boa concordância, apesar dos diferentes tipos de sensores, abrigos e frequência de medidas (Scarpore et al., 2008). Entretanto, poucos trabalhos têm testado a homogeneidade das séries históricas quando são provenientes das estações EMA e EMC. Para garantir a confiabilidade de muitos estudos climáticos, especialmente dos que analisam a variabilidade do clima, são necessários dados confiáveis e homogêneos tendo em vista que os resultados das análises com dados não homogêneos, podem implicar em conclusões contraditórias e errôneas (Santos et al., 2012). A não homogeneidade das séries climatológicas muitas vezes foram devida à mudança de instrumentos ou sensores (Tuomenvirta, 2002). Portanto, devido à diferença quanto ao número de amostragens entre as EMCs e as EMAs, a substituição de uma EMC por uma EMA requer a homogeneização da série de dados (Strassburger et al., 2011).

Portanto, as diferenças entre os dados coletados pela estação meteorológica convencional (EMC) e pela estação meteorológica automática (EMA) tornam-se importantes quando essas séries temporais são usadas para o cálculo das normais climatológicas, ou desenvolvimento de séries homogêneas de longo período para estudos de mudanças climáticas ou para análise de eventos climáticos extremos (Guttman e Baker, 1996). Portanto, é importante a homogeneização das séries históricas provenientes da EMC e da

EMA, para trazer confiabilidade aos dados, principalmente devido à diferença de amostragem entre as duas estações (Sentelhas et al., 1997). O objetivo desse trabalho foi comparar as horas de frio ($\leq 7,2^{\circ}\text{C}$) obtidas nas estações meteorológicas convencionais e automáticas instaladas em Campos Novos, SC, para verificar a possibilidade de continuidade de uso desta variável pelas estações meteorológicas automáticas.

Material e Métodos

As horas de frio ($\text{HF} \leq 7,2^{\circ}\text{C}$) diárias, temperatura horária do termógrafo e temperatura do ar (mínima, média e instantânea) horária foram coletadas em uma estação meteorológica convencional (EMC) e em duas estações meteorológicas automáticas (EMA1 e EMA2). As EMAs e a EMC estavam localizadas em uma mesma área cercada e gramada na Estação Experimental de Campos Novos pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) (latitude $27^{\circ}23'01''\text{S}$, longitude $51^{\circ}12'58''\text{W}$ e altitude 965m). A EMC foi operada pela Epagri e pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na EMC, seguindo o padrão da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1983), os termômetros e o termohigrógrafo estão instalados dentro de abrigo termométrico de venezianas duplas e nas EMAs em micro-abrigos de multiplacas, ambos na altura de 1,7m. A EMA1 pertence a Campos Novos Energia S.A (Enercan) e era operada pela Fundagro (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural Sustentável do Estado de Santa Catarina) e a EMA2 pertence ao projeto Fruticultura Trento, e sendo operada pela Epagri.

O período analisado foi de 16/03/2003 a 30/11/2016, por meio de um monitoramento simultâneo da EMC e das EMAs, sendo avaliados valores horários das seguintes variáveis: temperaturas mínimas (T_{min}), temperatura instantânea (T_{inst}) e temperatura média (T_{med}) do ar das EMAs e horas de frio diárias ($\text{HF} \leq 7,2^{\circ}\text{C}$) e temperatura horária do ar do termógrafo da EMC (Tabela 1).

A EMA gera continuamente dados oriundos dos seus sensores, através de varreduras dos seus sinais elétricos. Entretanto, a estação foi programada para registrar amostras dessas leituras a cada 15 segundos, de forma a se obter 240 leituras de cada sensor por hora, gerando 24 leituras diárias para cada sensor, sendo que, a temperatura mínima do ar horária foi definida como sendo o menor valor das 240 leituras e a temperatura média do ar horária, a média desses 240 valores. A temperatura instantânea do ar é a leitura da hora. Os dados de T_{med} , T_{inst} e T_{min} são transmitidos a cada hora para o banco de dados.

As HF diárias da EMC utilizadas nesse estudo foram os valores registrados pelo observador meteorológico, usando os gráficos do termógrafo. O termógrafo fornece infor-

Tabela 1. Variável meteorológica, abreviatura, data inicial e data final dos registros para as três estações utilizadas nesse estudo.

Estação	Variável meteorológica	Abreviatura	Data inicial	Data final
EMA1	Temperatura instantânea do ar	Tinst	16/03/2003	26/04/2012
EMA1	Temperatura mínima do ar	Tmin	16/03/2003	26/04/2012
EMA1	Temperatura média do ar	Tmed	16/03/2003	26/04/2012
EMA2	Temperatura instantânea do ar	Tinst	13/07/2011	30/11/2016
EMA2	Temperatura mínima do ar	Tmin	13/07/2011	30/11/2016
EMA2	Temperatura média do ar	Tmed	13/07/2011	30/11/2016
EMC	Temperatura do termógrafo	Tterm	16/03/2003	31/05/2015
EMC	Horas de frio (<=7,2 °C)	HF	16/03/2003	30/11/2016

mação gráfica e contínua de todas as variações de temperatura ao longo do período de um dia ou de uma semana. As HF calculadas para as EMAs foram o número de horas, no dia civil (das 0:00 as 24:00 horas), em que a temperatura do ar (Tmed, Tmin e Tinst) foram menores ou iguais a 7,2°C.

Os dados de temperatura horária do ar (Tmed, Tinst e Tmin) das EMAs e os dados diários de HF passaram pelo sistema automatizado de controle de qualidade dos dados da Epagri/Ciram em tempo real, descritos por Massignam et al. (2016). Os dados de temperatura do termógrafo passaram por um controle de qualidade seguindo os mesmos testes descritos por Massignam et al. (2016).

Os valores diários de HF no dia em que houve pelo menos uma falha horária de temperatura nas EMAs foram descartados. Para a comparação dos dados obtidos de HF nas EMAs e EMC foi utilizada a análise de regressão linear, por meio dos coeficientes: linear (a), angular (b) e de determinação (R^2). Também foram utilizados outros índices estatísticos: concordância (d), erro máximo absoluto (EMA), erro absoluto médio (EAM), erro médio (EM), raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado (RMSE), eficiência (EF), coeficiente da massa residual (CRM), erros sistemáticos (Es) e aleatório (Ea), descritos por Willmott et al. (1985) e utilizados por outros autores (Sentelhas et al., 1997; Cunha e Martins, 2004; Pereira et al., 2008) para comparar os dados obtidos entre a EMA e a EMC.

O teste de Pettitt (Pettitt, 1979) foi usado para detectar mudanças artificiais ou não homogeneidades na diferença entre as HF da EMA e da EMC. O teste estabelece como hipótese nula que a diferença de HF é independente e iden-

ticamente distribuída e, sob a hipótese alternativa, assume um desvio na média. Quando as séries históricas da diferença de HF apresentaram um desvio na média, as séries de temperaturas das EMAs de Campos Novos foram comparadas com as EMAs mais próximas (EMA de Abdon Batista latitude 27°36'41"S, longitude 51°01'31"W, altitude 740m e EMA de Celso Ramos latitude 27°38'09"S, longitude 51°19'58"W, altitude 756m) para identificar qual das estações apresentaram não homogeneidade na série histórica de HF. O teste de Pettitt foi selecionado com base na sensibilidade que apresenta para localização do ponto de mudança e por ser amplamente utilizado para testar homogeneidade em séries climatológicas (Santos et al., 2012).

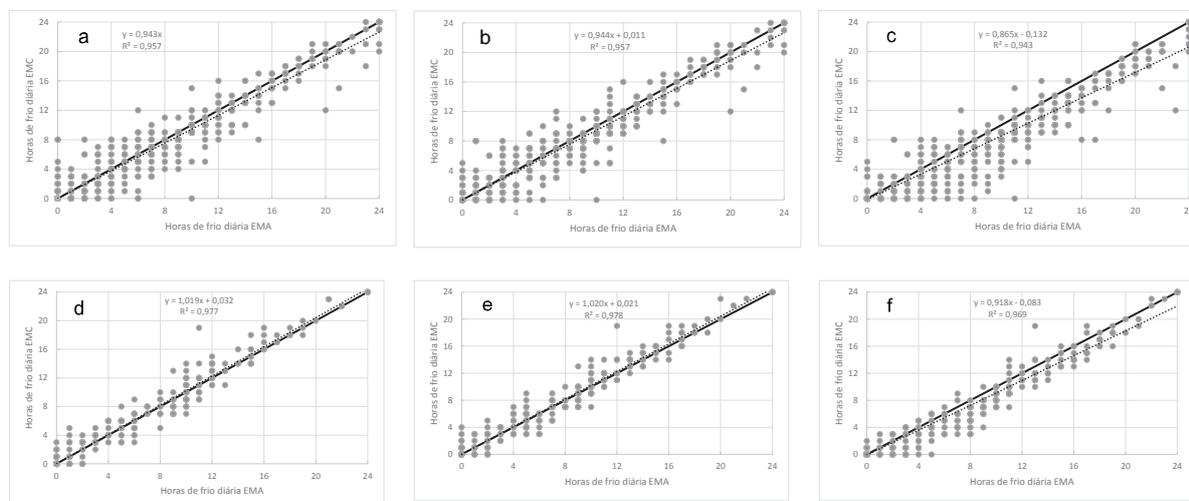
Resultados e Discussão

As equações de regressão simples entre as HF diárias calculadas pela EMC através da temperatura do termógrafo e calculadas pela Tinst, Tmed e Tmin para as EMA1 e EMA2, em Campos Novos, SC foram significativas ao nível de 1% de probabilidade para o teste F (Figura 1). O teste t para o parâmetro intercepto das equações de regressão lineares apresentou significância estatística somente para a Tmin em ambas as EMAs, ao nível de 1% de probabilidade. Todos os resultados do teste t para o parâmetro coeficiente angular das regressões lineares foram significativos. Portanto, esse parâmetro difere estatisticamente de zero.

Os coeficientes de determinação da regressão linear entre as horas de frio das EMA e a EMC (Figura 1), índices de concordância (d) e a eficiência (EF) estão próximos de 1 (Tabela 2). Além da alta concordância (R^2 e $d > 0,90$), em uma análise comparativa de dados obtidos entre estações meteorológicas, é importante também que haja um baixo erro máximo absoluto, erro absoluto médio, erro médio (EMA, EAM e EM próximo de zero) para garantir que ambas as estações sejam semelhantes entre si nas medidas obtidas (Cunha e Martins, 2004).

Houve uma diferença de HF calculadas para as diferentes temperaturas (Tinst, Tmed e Tmin) e entre as EMAs quando calculadas para o mesmo período (Figura 1). Analisando os valores médios das HF diárias das EMAs, observa-se que as HF calculadas pela Tmed (EMA1=2,45HF e EMA2=1,73HF) e pela Tinst (EMA1=2,47HF e EMA2=1,72HF) apresentam valores muito próximos. Entretanto, as HF calculadas pela Tmin (EMA1=2,84HF e EMA2=2,04 HF), para o mesmo período, superestimam aproximadamente 15,6% e 18,0% em relação as HF calculadas pela Tinst e Tmed, para a EMA1 e para EMA2, respectivamente. Além de superestimarem, as HF calculadas pela temperatura mínima do ar tiveram uma concordância menor em relação as HF calculadas pela temperatura média e instantânea do ar. Quando as HF foram comparadas entre as EMAs e EMC (Tabela 2), observa-se que os erros máximo absoluto, erro médio absoluto e

Figura 1. Relação entre as horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ C$) diárias calculadas pela EMC através da temperatura do termógrafo e pelas EMA1 (a; b; c) e EMA2 (d; e; f) calculadas pela temperatura instantânea do ar (a; e), temperatura média do ar (b; e) e a temperatura mínima do ar (c; f), no período de abril a outubro, em Campos Novos, SC.



erro médio das HF calculadas pela Tmin foram maiores que os erros para HF calculadas pela Tmed e Tinst. Em termos anuais (somatório das HF diária de abril a outubro), as HF calculadas pela Tmin, Tmed e Tinst superestimaram em 112,5HF, 27,3HF e 30,8HF, respectivamente, para a EMA1. Para a EMA2, as HF calculadas pela Tmin superestimaram em 53,6HF e as HF calculadas pela Tmed e Tinst subestimaram em 12,0HF e 14,1HF, respectivamente. Portanto, para os cálculos de HF com dados obtidos em EMAs devem ser usadas somente as Tmed e Tinst.

Os valores do somatório das HF diárias para EMA1 (Tmed=81HF e Tinst=76HF), para EMA2 (Tmed=56HF e Tinst=60HF) e para a EMC (64HF) apresentaram valores discrepantes para o período no qual as três estações operaram simultaneamente. As HF da EMA1 superestimam aproximadamente 22,7% em relação as HF da EMC. As HF da EMA2 foram subestimadas em aproximadamente 9,4% em relação as HF da EMC. As HF da EMA1 superestimam aproximadamente 35,3% as HF da EMA2. Provavelmente, essa diferença de HF entre as três estações meteorológicas está relacionada a diferenças entre os sensores. Almeida et al. (2008) concluíram que quando se compara um mesmo tipo de sensor mas de fabricantes diferentes, há sempre diferença na leitura de um em relação ao outro. Especialmente, quando se comparam sensores com diferentes sensibilidades, precisão, dentre outras características, como é o caso dos instrumentos da EMC em relação aos sensores da EMA.

Observa-se que a diferença entre HF diárias calculadas pela temperatura instantânea do ar horária da EMA1 e as HF da EMC apresentou mudança do valor médio (Figura 2). O teste de Pettitt, não-paramétrico, identificou que a série

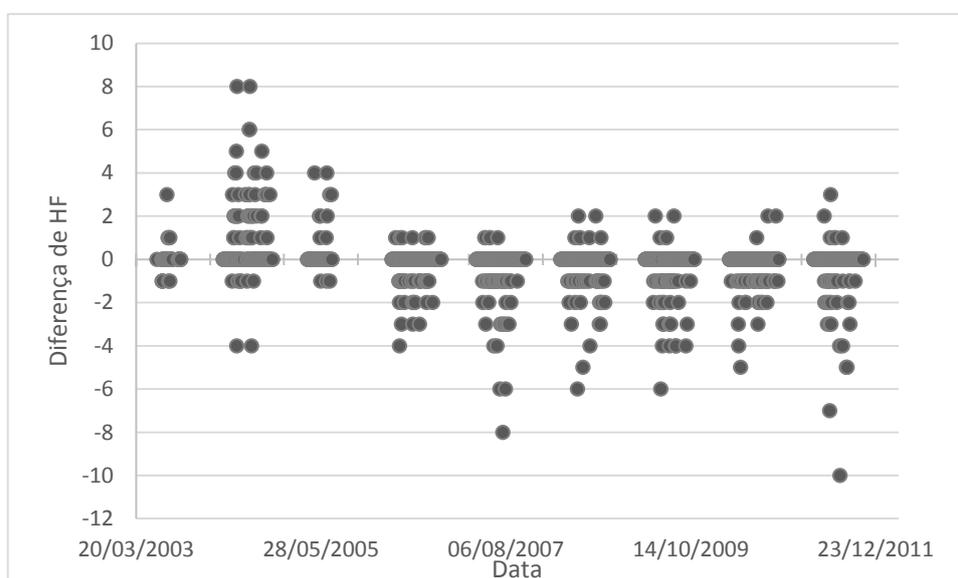
da diferença de HF da EMA1 com a EMC não foi homogênea. O ponto de mudança do valor médio da diferença de HF foi logo após um período de falha da estação da EMA1. O teste de Pettitt foi realizado entre a EMA1 e a EMC com outras EMAs próxima de Campos Novos (Abdon Batista e Celso Ramos) e concluiu que a EMA1 apresentou série não homogênea de HF. No estudo da análise comparativa de dados meteorológicos registrados por EMA e por EMC de Brasília, Salvador e Porto Alegre, pertencentes à rede meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, INMET foi identificado um problema nas séries históricas de algumas variáveis meteorológicas que não foram detectadas pelos índices estatísticos e que só foram percebidos pela análise visual dos gráficos da série temporal. Nesses gráficos identificam-se mudanças bruscas nas diferenças entre as estações logo após uma pane da EMA, indicada pela interrupção da série de dados. É importante observar que essas interrupções são relativamente frequentes e nem sempre provocam as mudanças de patamar; contudo, nesse trabalho foi possível associar uma pane a cada uma das mudanças de patamar registradas. A mudança no patamar médio da diferença é, contudo, um fato que ocorre com frequência em EMAs (Mello et al., 2006).

Em média, quando as HF foram comparadas entre as EMAs e EMC (Tabela 2), observa-se que os índices HF calculadas (Tabela 2) para EMA2 teve um desempenho melhor que para a EMA1. Além disso, a série de HF EMA1 não foi homogênea, portanto, a EMA1 não deve ser usada para substituição dos dados de HF da EMC. Segundo Pereira et al. (2008), é necessária análise individual comparativa para cada localidade por um período expressivo antes de se re-

Tabela 2. Índices de concordância (d), erro máximo absoluto (ME); erro média absoluto (EAM); erro médio (EM), raiz quadrática do erro médio quadrático normalizado (RMSE), eficiência (EF), erro sistemático (Es), erro aleatório (Ea) e média diária das horas de frio (HF) para a comparação entre as horas de frio calculadas pela temperatura mínima do ar (Tmin), temperatura média do ar (Tmed) e temperatura instantânea do ar (Tinst) das a estação meteorológica automática 1 e 2 (EMA1 e EMA2) e as horas de frio (HF) calculadas pelo termógrafo da estação meteorológica convencional (EMC), no período de abril a outubro, em Campos Novos, SC.

Indicadores	EMA1 X EMC			EMA2 X EMC			EMA1 X EMA2		
	Tmin	Tmed	Tinst	Tmin	Tmed	Tinst	Tmin	Tmed	Tinst
d	0,979	0,988	0,988	0,990	0,994	0,994	0,989	0,973	0,987
ME	11	10	10	6,00	7,00	8,00	2,00	4,00	3,00
EAM	0,655	0,406	0,403	0,343	0,217	0,218	0,233	0,250	0,167
EM	-0,526	-0,128	-0,144	-0,250	0,056	0,066	-0,233	-0,250	-0,167
RMSE	51,9	43,2	43,1	43,5	37,3	38,6	50,6	84,3	60,6
EF	0,927	0,9559	0,9555	0,964	0,976	0,975	0,960	0,905	0,953
Es	0,706	0,010	0,011	0,044	0,000	0,000	0,021	0,067	0,013
Ea	0,429	0,008	0,009	0,032	0,000	0,000	0,014	0,039	0,009
(HF)	2,84	2,45	2,47	2,04	1,73	1,72	1,25	1,05	1,00

Figura 2. Diferença número de horas de frio (HF) diárias calculadas pela temperatura instantânea do ar horária da EMA1 e HF da EMC, para os meses de abril a outubro, no período de 16/06/2003 a 30/10/2010, em Campos Novos, SC.



alizer uma possível substituição. Portanto, há necessidade de fazer teste de homogeneidade das séries históricas de HF quando forem usados as séries históricas das EMC e EMA, mesmo que os índices estatísticos indiquem uma boa concordância.

Alguns trabalhos (Sentelhas et al., 1997; Cunha e Martins, 2004; Pereira et al., 2008) encontraram tendência de subestimativa da EMA em relação a EMC para a temperatura do ar. Em contraste, estudo comparativo nos dados de EMA e EMC em 700 estações na China (Ying et al., 2004) mostrou que a temperatura do ar nas EMC são em média 0,2 a 0,3°C menores que nas EMA. Os autores sugerem testar a significância e fazer a correção da não homogeneidade caso essa diferença da temperatura do ar entre a EMA e a EMC seja significativa. Portanto, há necessidade de análises estatísticas comparativas e simultâneas, por período

nunca inferior a dois anos, a fim de garantir confiabilidade na continuidade da série história existente (Almeida et al., 2008).

A temperatura (Tinst) da EMA1 ($r^2=0,942$) e da EMA2 ($r^2=0,903$) tiveram uma boa correlação com temperatura do termógrafo da EMC, porém, a temperatura (Tinst) da EMA1 superestimou, em média, 0,35°C a temperatura do termógrafo da EMC, e a EMA2 subestimou, em média, 0,23°C a temperatura do termógrafo da EMC. A temperatura (Tinst) da EMA1 e da EMA2 apresentou boa correlação entre si ($r^2=0,998$), porém, a EMA1 superestimou, em média, 0,72°C a temperatura (Tinst) da EMA2. As menores correlações entre a EMC e as EMAs em relação a correlação entre as EMA1 e a EMA2 podem estar relacionadas com a calibração do termógrafo, diferença de horários entre o termógrafo e as EMAs e com o erro de leitura do observador, resultando

assim em diferenças de HF entre a EMC e as EMAs. Apesar da elevada concordância entre as HF da EMAs e da EMC, observam-se na Figura 2 valores discrepantes com erros máximo absoluto de 11 HF. De uma forma geral, as maiores diferenças de HF entre as EMAs e a EMC ocorreram quando as temperaturas registradas na EMA e na EMC diferiram e estavam próximas de 7,2°C (Figura 3). As diferenças entre as temperaturas registradas pelo termógrafo na EMA e pelos sensores na EMC mostraram que o termógrafo não estava calibrado. Portanto, as diferenças de valores de HF entre a EMC e as EMAs foram resultantes da falta de calibração do termógrafo.

Comparando as temperaturas do ar (T_{inst} , e T_{med}) das EMAs com as temperaturas do termógrafo da EMC durante o período de 16/03/2003 a 30/11/2016 foram observados valores horários discrepantes na ordem de 13,4°C, porém, os valores de HF diários não apresentaram grandes diferenças. Para identificar qual a razão dessas pequenas diferenças entre as HF das EMAs e EMC, mas grande diferença entre as temperaturas da EMA e da EMC, foram analisados todos os valores com a diferença entre as temperaturas do ar (T_{inst} , e T_{med}) da EMAs e da EMC horários maiores que 5°C. Identificou-se que 96% desses valores horários apresentaram deslocamento das curvas de temperatura indicando diferença de horário entre a EMC e as EMAs (Figura 4) e 4% de erro de leitura ou dificuldade de leitura devido a problemas do gráfico. Os valores de temperatura do ar do termógrafo, embora se aproximem das de um termômetro de mercúrio, não são absolutas (Cunha e Martins, 2004a). O termógrafo é um registrador contínuo das variações de temperatura do ar. Essas variações são registradas em um gráfico específico sobre um tambor movido por um sistema mecânico de relógio analógico. O gráfico do termógrafo

utilizado na EMC era de duração de 7 dias e as trocas desses gráficos eram feitas na segunda feira às 9:00 h.

Na Figura 5 é apresentada a variação semanal da diferença entre a temperatura instantânea do ar das EMAs e a temperatura do ar do termógrafo da EMC de Campos Novos no período de 16/06/2003 até 31/05/2015. Nas duas EMAs houve uma variação significativa da diferença de temperatura nos dias da semana ($r^2 = 0,667$ para EMA1 e $r^2 = 0,810$ para EMA2) indicando claramente que o termógrafo teve uma tendência significativa de atrasar o horário no período em que foram analisados os dados. Portanto, o termógrafo apresentou divergência de horário, indicando problemas no sistema de relógio. Entretanto, quando o termógrafo estava calibrado, o problema da diferença de horário não refletiu na diferença de HF entre as EMC e as EMAs.

Algumas diferenças observadas na Figura 2 foram devidas ao erro de leitura do observador ou a dificuldade de leitura devido a problemas do gráfico. Alguns estudos verificaram pequenas diferenças nos horários de ocorrência das temperaturas mínimas e máximas entre a EMA e EMC (Strassburger et al., 2011). Essa diferença entre os horários de ocorrência das temperaturas extremas na EMC e na EMA pode ser atribuída à diferença de sensibilidade entre os sensores e, ainda, à metodologia utilizada para analisar os dados na EMC. Na EMC, os horários são lidos a partir de picos de temperatura em gráficos registrados por termohigrógrafo, os quais muitas vezes não são suficientemente nítidos e necessitam de perfeito ajustamento do papel ao tambor rotativo, além de que, esse diagrama possui escala reduzida de resolução de temperatura (°C) e de tempo (horas), que acaba contribuindo para que ocorram erros no registro e na interpretação (leitura) dos valores desse equipamento.

Figura 3. Temperatura média do ar da estação meteorológica automática (EMA1) e temperatura do ar do termógrafo da estação meteorológica convencional (EMC) de Campos Novos no dia 23/07/2011.

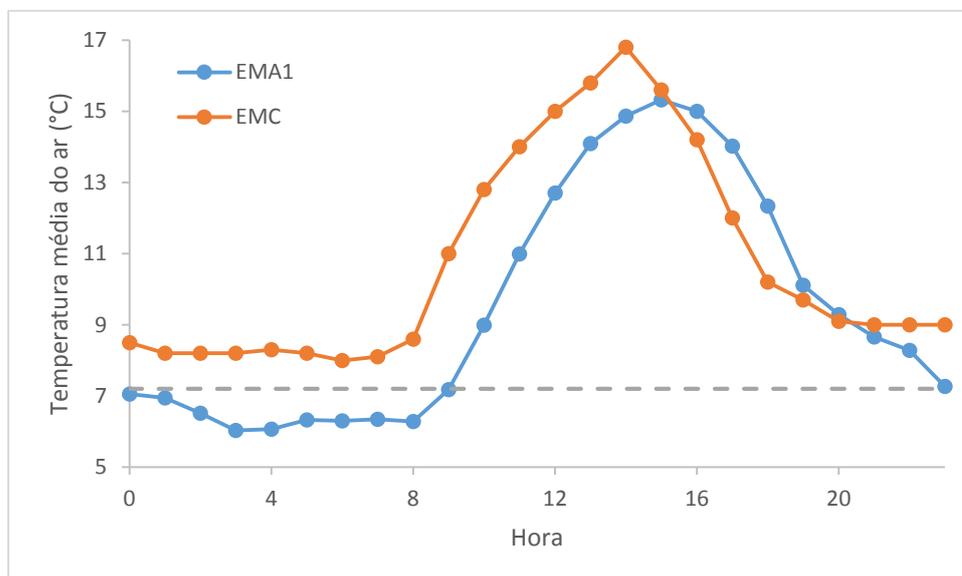


Figura 4. Temperatura instantânea do ar da estação meteorológica automática (EMA1) e temperatura do ar do termômetro da estação meteorológica convencional (EMC) de Campos Novos no dia 19/12/2004.

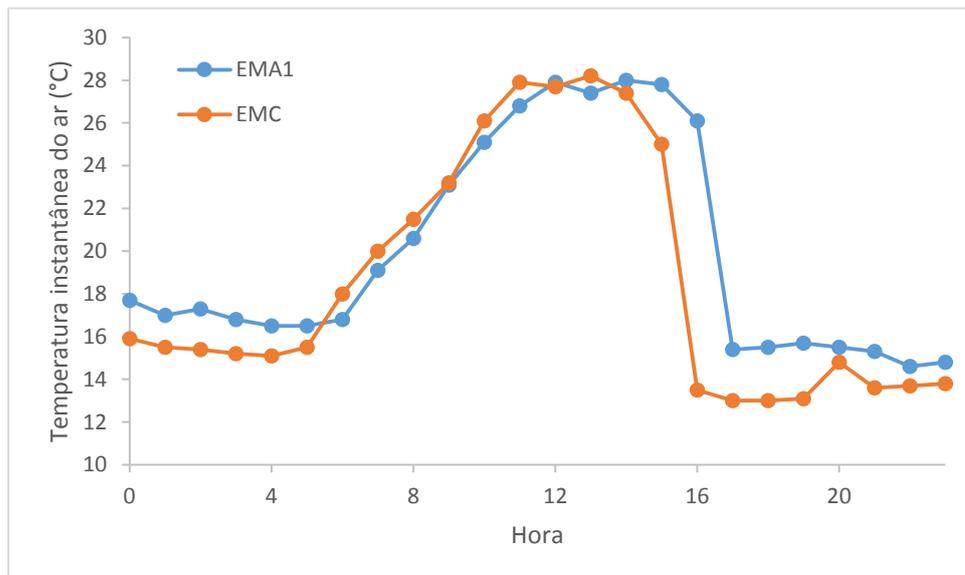
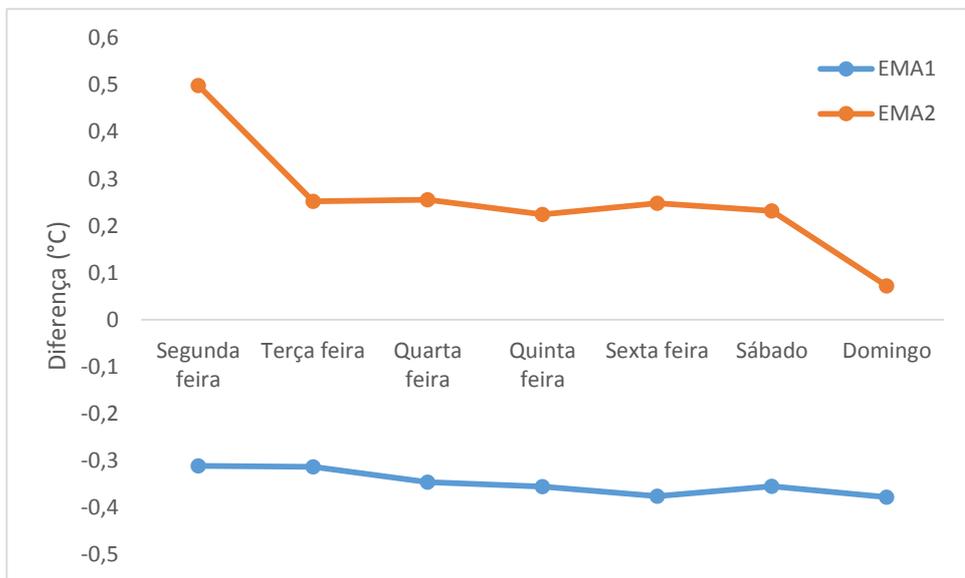


Figura 5. Variação semanal da diferença entre a temperatura instantânea do ar da estação meteorológica automática e da temperatura do ar do termômetro da Estação Meteorológica de Campos Novos no período de 16/06/2003 até 31/05/2015.



Conclusões

Para o cálculo das HF nas EMAs devem ser usadas somente as Tmed e Tinst, pois a Tmin superestima as HF.

Os índices estatísticos e o teste de homogeneidade entre as séries históricas da estação meteorológica convencional e automática são importantes para verificar se as EMAs podem ser usadas para dar continuidade às séries climatológicas de HF da EMC.

A principal razão das diferenças entre as HF da EMC e das EMAs é a falta de calibração do termômetro.

Referências

ALMEIDA, H. A. de; SOUZA, J. A.; ALCÂNTARA, H. M. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Sete Lagoas, MG, v. 16, n. 1, p. 58-66, 2008.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SB, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 103-111, 2004.

CUNHA, A.R.; MARTINS, D. Análise comparativa entre as medidas dos valores extremos de temperatura do ar obtidas por diferentes métodos em estação convencional e automática.. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza, 2004a CD-ROM.

GUTTMAN, N. B.; BAKER, C. B. Exploratory analysis of the difference between temperature observations recorded by ASOS and conventional methods. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Boston, v. 77, n. 12, p. 2865-2873, 1996.

LUCAS, E. W. M.; ANJOS, R. J.; SOARES, F. P. M.; ABREU, S. F. Análise observacional e estatística dos dados meteorológicos das estações convencional e automática de Recife/PE. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA 2006, Florianópolis, SC. *Anais...* Florianópolis, SC.

MASSIGNAM, A. M.; ANTUNES, E. N.; MARASCHIN, F. Banco de dados agrometeorológicos. In: Silva, E. *Boletim Ambiental Síntese Trimestral - Inverno 2015*. Florianópolis: Epagri, 2016, 51 p. (Documento, 253)

- MELLO, L. T.; FORTES, L. T. G.; LUCIO, P. S.; MANHAES, F. D. P. Uma análise comparativa de dados meteorológicos observados em estações automáticas e convencionais do INMET. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA 2006, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC.
- PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; R. W.S.; CAVIGLIONE, J. H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina - PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 29, p. 299-306, 2008.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, London, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
- POLA, A. C.; ANGELOCCI, L. R. Avaliação de modelos de estimativa do número diário de horas de frio para o Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 105-116, 1993.
- SANTOS, R. S.; SEDIYAMA, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; ABRAHÃO, G. M. Homogeneidade de séries climatológicas em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 16, n. 12, p. 1338-1345, 2012.
- SCARPARE, F. V.; OLIVEIRA, G. X. S.; SIMON, J.; PIEDADE, S. M. S.; ANGELOCCI, L. R. Comparação da uniformidade de dados meteorológicos de estação meteorológica convencional e automática - Piracicaba/SP. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis, SC, n. February, 2008.
- SENTELHAS, P. C.; MORAES, S. O., PIEDADE, S. M. S., PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., MARIN, F. R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 5, n. 2, p. 215-221, 1997.
- STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A.; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, SP, v. 26, n. 2, p. 273-278, 2011.
- TUOMENVIRTA, H. Homogeneity testing and adjustment of climatic time series in Finland. **Geophysica**, Helsinki, v. 38, n. 1-2, p. 15-41, 2002.
- YING, W.; XIAONING, L.; XIAOHUI, J. Differences between automatic and manual meteorological observation. **Journal of Applied Meteorological Science**, Boston, v. 15, n. 6, p. 719-726, 2004.
- WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Washington, DC, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.
- WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. Geneva, World Meteorological Organization, 5ª ed., 1983. 230p. (WMO, n.8).

REFERENCIAÇÃO

MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C.; RICCE, W. S. Horas de frio obtidas de estações meteorológicas convencional e automática. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.26, n.1, p.53-61, 2018.



Chilling hours obtained from conventional and automatic weather stations

Angelo Mendes Massignam^{1(*)}, Cristina Pandolfo¹ and Wilian da Silva Ricce¹

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri/CIRAM, Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, Caixa Postal 502, CEP 88034-901 Florianópolis, SC, Brazil. ¹E-mails: massignam@epagri.sc.gov.br, cristina@epagri.sc.gov.br and wilianricce@epagri.sc.gov.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 April 2018

Accepted 20 December 2018

Index terms:

thermograph

homogeneity testing

climatological series

ABSTRACT

The number of hours in which the air temperature remains below 7.2 °C is a bioclimatic index widely used in agriculture in regions with a temperate climate. The objective of this study was to compare the chilling hours obtained from conventional and automatic meteorological stations, installed in Campos Novos, SC. The meteorological variables, chilling hours, hourly thermograph temperature and air temperature (minimum, average and instantaneous) hours were collected in a conventional meteorological station (EMC) and in two automatic meteorological stations (EMA) installed in Campos Novos - SC. This study indicated that the main reason for the differences in chilling hours between the EMC and the EMAs was the lack of calibration of the thermograph in the EMC. The average and instantaneous air temperatures can be used to calculate the cold hours in the EMAs but the minimum air temperature overestimates the chilling hours. The statistical indices and the homogeneity test between the historical series of the conventional and automatic meteorological station was important to determine whether the EMAs can be used to give continuity to the climatological series of chilling hours of the EMC.

© 2018 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C.; RICCE, W. S. Horas de frio obtidas de estações meteorológicas convencional e automática. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.1, p.53-61, 2018.