

Reconstrução do ciclo diário da temperatura do ar do Rio Grande do Sul a partir de seus extremos diários¹

Carolina Kannenberg¹; André Parcianello²; Felipe Theodorovitz Mendoza³; Guilherme Goergen⁴; Fabíola Carolina Valente⁵; Nelson Navarrete⁶; Roilan Hernández Valdés⁷; Jonatan Dupont Tatsch⁸

¹ Acadêmica do Curso de Bacharel em Meteorologia, Depto. Física, UFSM, Santa Maria, RS, carolinakannenberg@gmail.com

² Acadêmico do Curso de Bacharel em Meteorologia, Depto. Física, UFSM, Santa Maria, RS, decofog@hotmail.com

³ Meteorologista, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFSM, Santa Maria, RS, lipetheo.mendoza@hotmail.com

⁴ Matemático, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFSM, Santa Maria, RS, guilherme.goergen@gmail.com

⁵ Física, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFSM, Santa Maria, RS, fabiola_krolina@gmail.com

⁶ Matemático, Pós-Doutorando em Meteorologia, UFSM, Santa Maria, RS, nelsonvn@gmail.com

⁷ Meteorologista, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFSM, Santa Maria, RS, roylanhv@gmail.com

⁸ Meteorologista, Professor Adjunto, Depto. Física, UFSM, Santa Maria, RS, jdtatsch@gmail.com

RESUMO: A modelagem da variação horária da temperatura do ar (Tar) é crucial para estender as observações dos extremos diários da temperatura do ar (Temperatura máxima - Tmax, e mínima - Tmin) em aplicações que requerem a simulação da fenologia da cultura e de processos fisiológicos, como em modelos agrometeorológicos e de conforto térmico humano e animal, respectivamente. Neste artigo calibrou-se o modelo híbrido de desagregação temporal da Tar (MHDT) da escala diária para horária (Eccel 2010), baseado nas Tmax e Tmin, para o estado Rio Grande do Sul. Foram utilizados dados horários de Tar medidos por 12 EMA do INMET no período de 2008 a 2014. O MHDT permitiu obter estimativas muito satisfatórias do padrão de variação horária da temperatura do ar para o RS. Os resultados indicam que o MHDT tem grande potencial de aplicação para desagregação da Tar de valores diários para horários, fornecendo assim dados horários com boa acurácia para uso em modelos fenológicos baseados na soma térmica em graus dia; e modelos de conforto térmico animal e humano. Adicionalmente, o método pode ser uma alternativa para: i) o preenchimento das falhas frequentes nas séries de temperaturas horárias das EMA do INMET; ii) a geração de séries horárias da Tar fornecida por projeções climáticas globais, geralmente disponíveis na resolução diária.

PALAVRAS-CHAVE: temperatura do ar horária, desagregação temporal, soma térmica, fenologia.

Reconstruction of daily course of air temperature for Rio Grande do Sul from daily extremes values.

ABSTRACT: The modeling of hourly air temperature (Tar) variation is very important to extend the observations of the daily extremes of temperature (maximum temperature - Tmax, and minimal - Tmin) in applications for the simulation of crop phenology and the physiological processes, as in agrometeorological models and human and animal thermal comfort, respectively. In this article we calibrated the hybrid model for temporal disaggregation of Tar (MHDT) from daily scale to hourly scale (Eccel 2010), based on the daily Tmax and Tmin, for the Rio Grande do Sul state. We used measurements of hourly Tar from twelve EMA from INMET, from 2008 to 2014. The MHDT provided a good representation of the thermal daily cycle regime. Our results point that the MHDT has great potential for application for downscaling the Tar daily values to hourly scale, providing hourly Tar with good accuracy to be used in phenological models, which are based on thermal accumulation in degree-days; and models for animal and human thermal comfort. Furthermore, this method can be an alternative to: i) the gap-filling of hourly temperatures for EMA from INMET; ii) the generation of hourly Tar provided by climate projections from global models, generally available in daily time resolution.

KEY WORDS: hourly air temperature, temporal downscaling, degree-days, phenology.

INTRODUÇÃO

A modelagem da variação horária da temperatura do ar (Tar) é crucial para estender as observações dos extremos diários da temperatura do ar (Temperatura máxima - Tmax, e mínima - Tmin) em aplicações que requerem a simulação da fenologia da cultura e de processos fisiológicos, como em modelos agrometeorológicos e de conforto térmico humano e animal, respectivamente. Apesar da maioria dos modelos fenológicos usarem dados meteorológicos diários, a resolução temporal horária é preferida. Entretanto a extensão das séries de Tar horária (24 horas por dia) registradas por Estações meteorológicas Automáticas (EMA) no Brasil são relativamente curtas (~7 anos) e com uma quantidade significativa de falhas, em comparação a séries históricas diárias de Tmax e Tmin registradas por Estações Meteorológicas Convencionais (EMC). Neste artigo foi realizada a calibração e avaliação do modelo híbrido de desagregação temporal da Tar (MHDT) da escala diária para horária (Eccel 2010), baseado nas Tmax e Tmin, para o estado Rio Grande do Sul.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados de temperatura do ar horária medidos por EMAs do INMET no período de 2008 à 2014 (tabela 1).

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas do INMET localizadas no estado do Rio Grande do Sul utilizadas para avaliação de desempenho do método de desagregação da Tar da escala diária para horária.

Código	Nome	Sigla	Longitude	Latitude	Altitude
A827	Bagé	BAG	-54.0133°	-31.3478°	228 metros
A840	Bento Gonçalves	BEN	-51.5342°	-29.1645°	623 metros
A853	Cruz Alta	CRA	-53.6735°	-29.6034°	427 metros
A844	Lagoa Vermelha	LGV	-51.5128°	-28.2223°	834 metros
A801	Porto Alegre	POA	-51.1747°	-30.0535°	41 metros
A802	Rio Grande	RIG	-52.1677°	-32.0787°	5 metros
A852	São Luis Gonzaga	SLG	-54.9624°	-28.4171°	246 metros
A803	Santa Maria	STM	-53.7204°	-29.7496°	103 metros
A808	Torres	TOR	-49.7332°	-29.3503°	8 metros
A809	Uruguaiana	URU	-57.0818°	-29.8398°	74 metros
A882	Teutonia	TEO	-51.8242°	-29.4503°	80 metros

O MHDT adaptou equações do modelo TM (Cesaraccio 2001). O modelo calibra mensalmente os horários de temperatura máxima e mínima e o horário do pôr do sol. Para realizar interpolação horária divide-se o dia em três segmentos: do horário do nascer do sol ao horário da temperatura máxima (Hx), de Hx ao horário do pôr do sol (Ho) e, a partir Ho para o horário do nascer do sol para o dia seguinte (Hp). Utiliza-se duas funções senoidais durante o período de luz do dia, e durante a noite a raiz quadrada da diminuição temperatura.

Foram selecionados três índices estatísticos para avaliação de desempenho do MHDT na estimativa da Tar horária para o RS:

- (i) o erro médio absoluto (MAE) para obter-se uma estimativa da acurácia do método em termos da magnitude o erro absoluto em °C; valor ótimo quando tende a zero;

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

- (ii) o viés relativo em porcentagem (PBIAS) para verificação da tendência de subestimativa ou superestimativa pelo método em relação as observações; valor ótimo quando tende a zero
- (iii) coeficiente de determinação (R2) obtido da reta regressão linear entre a Tar estimada pelo MHDT e a Tar horária observada; o qual fornece uma noção de correlação entre as estimativas e as observações; valor ótimo quando tende a um;

A avaliação dos resultados foi feita também comparando-se os ciclos diários médios estimado pelo MHDT e o da Tar observada nas EMAs. O ciclo diário médio refere-se a todo período de dados disponíveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre as estimativas horárias obtidas pelo método MHDT e a temperatura do ar horária observada é mostrada na Figura 1. De forma geral, o padrão de variação do ciclo diário estimado pelo MHDT é consistente com padrão observado da Tar horária para maioria das EMAs. As EMAs com menor amplitude térmica foram as mais próximas da costa litorânea: Rio Grande (RIG) e Torres (TOR).

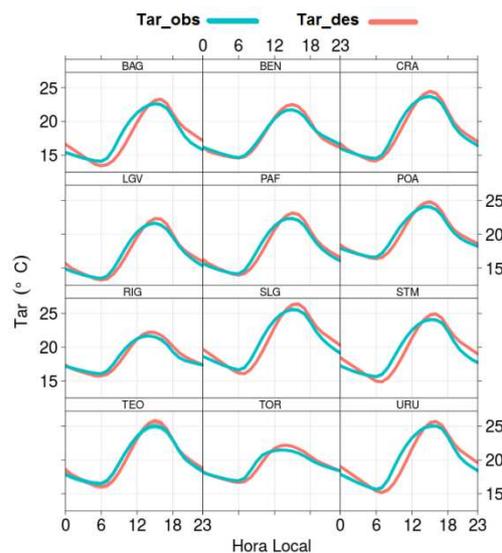


Figura 1. Ciclos diários médios da Temperatura do ar (Tar, em °C) observada (linha azul) e da Temperatura desagregada (linha vermelha) a partir dos dados de Tmax e Tmin com o método MHDT para 12 estações meteorológicas automáticas do estado do Rio Grande do Sul.

A Tar horária estimada é geralmente subestimada (superestimada) em comparação a observada no período da manhã (tarde-noite) (Figura 2) de -2,4 a -0,2 °C (0,1 a 1,5°C °C) (Figura 3). A queda noturna da Tar estimada tende a ser a uma taxa maior que a observada (Figura 2). Conforme indicado pela Figura 3 e 4 o método teve melhor desempenho (considerando menor MAE, PBIAS mais próximo a zero e maior R2) em ordem foi para a EMA de TOR, POA e RIG. Bento Gonçalves (BEN). Os índices determinados com valores estimados e observados de todas as EMAs juntas revelaram que acurácia do método estimada pelo MAE foi de $\pm 1,3$ °C, e que o MAE variou entre as EMAs de ± 1 à $\pm 1,5$ °C (Figura 4). A tendência geral do MHDT é de leve superestimativa da Tar horária, conforme indicado pelo PBIAS $\sim 0,1\%$ (Figura 4). O coeficiente de determinação indicou altas correlações, que variaram entre as EMAs de 0,88 a 0,92, com R2 geral de 0,91.

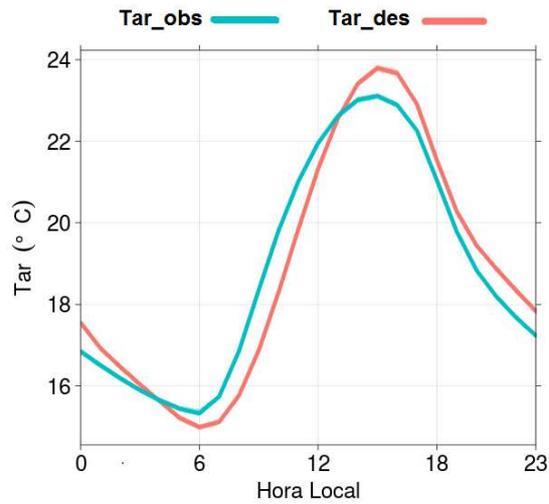


Figura 2. Ciclos diários médios da Temperatura do ar (Tar, em °C) observada (linha azul) e da Temperatura desagregada (linha vermelha) a partir dos dados de Tmax e Tmin com o método MHDT combinando os dados das 12 estações meteorológicas automáticas do estado do Rio Grande do Sul.

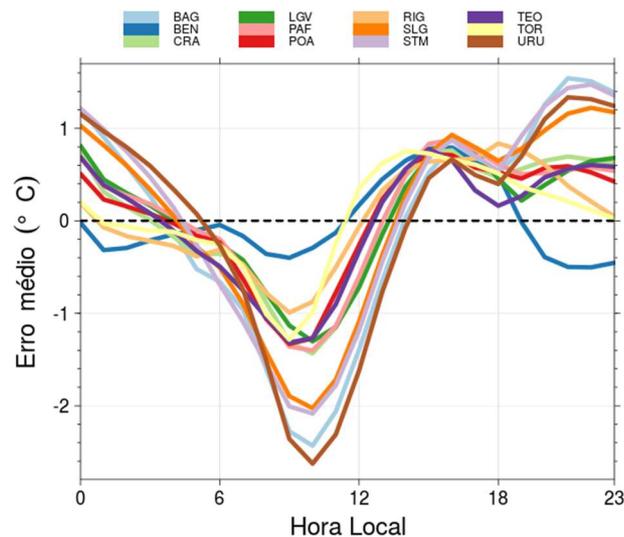


Figura 3. Ciclo diário médio do Erro (°C) determinado pela diferença entre a Temperatura do ar estimada pelo MHDT e a Temperatura do ar observada para cada uma das 12 estações meteorológicas automáticas do estado do Rio Grande do Sul.

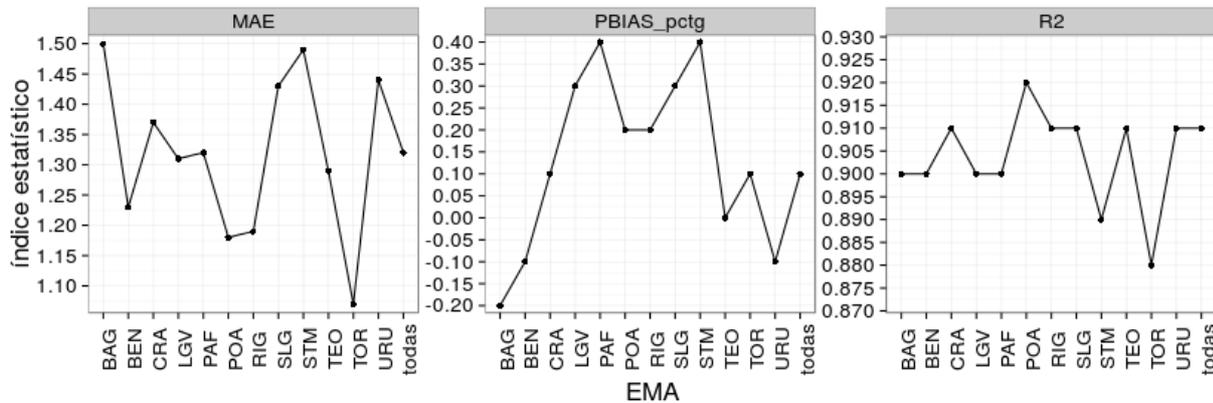


Figura 4. Desempenho do MHTD avaliado por meio dos Índices estatísticos: erro médio absoluto (MAE, em °C), o viés relativo (PBIAS, em %) e o coeficiente de determinação (R², adimensional) da reta de regressão entre Tar horária observada e a estimada pelo MHTD para 12 estações meteorológicas automáticas do estado do Rio Grande do Sul.

CONCLUSÕES

A desagregação da temperatura do ar para escala horária a partir de dados de T_{max} e T_{min} pelo MHTD permitiu caracterizar o regime térmico horário observado por EMA do sul do Brasil, provendo dados horários com boa acurácia para uso em modelos fenológicos baseados na soma térmica em graus dia; e modelos de conforto térmico animal e humano.

Adicionalmente, o método possibilita o preenchimento das falhas frequentes nas séries de temperaturas horárias de EMA do INMET e a geração de séries horárias da Tar fornecida por projeções climáticas globais, geralmente disponíveis somente na escala diária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ECCEL, E. What we can ask to hourly temperature recording. 2010. **Italian Journal of Agrometeorology** p. 45 -50.

CESARACCIO, C. An improved model for determining degree-day values from daily temperature data. 2001. **Int J Biometeorol** p.161–169.