

VALIDEZ DE COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN DE ÅNGSTRÖM-PRÈSCOTT PARA SER UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR, PARA EL AÑO 2013, EN PELOTAS

ANGEL DOMÍNGUEZ CHOVERT¹; JOÃO RODRIGO DE CASTRO²;
ANDRÉ BECKER NUNES³

¹Programa de Pós-Graduação em Meteorologia – UFPel – chovert89@gmail.com

²Programa de Pós-Graduação em Meteorologia – UFPel – joaorodrigo2005@gmail.com

³Prof. Dr. Faculdade de Meteorologia – UFPel – andre.nunes@ufpel.edu.br

1. INTRODUCCIÓN

A pesar del notable avance que se ha alcanzado en el desarrollo de instrumentos capaces de medir las diferentes variables meteorológicas, todavía existen grandes insuficiencias en la ubicación de los mismos. Es posible encontrar áreas de grandes dimensiones en donde no se poseen estaciones para la medición, incluso, existen algunas estaciones convencionales en donde no están presente todos los instrumentos, tal es el caso de los relacionados con la cuantificación de la radiación solar, en su mayoría bastante caros y complejos.

Varios modelos físicos-matemáticos han sido creados para poder efectuar el cálculo de la radiación solar en lugares donde no existen los medios materiales para hacerlo directamente. El implementado por PEREIRA;VILLA NOVA (1998) es un ejemplo de estos modelos, se basa en el flujo de radiación solar al medio día. Una de las ecuaciones más utilizadas es la propuesta por Ångström en 1924 que fue más tarde modificada por Prescott en 1940.

La ecuación de Ångström-Prèscott, como normalmente se le conoce, puede ser utilizada con base en datos diarios, quincenales, mensuales, estacionales y anuales y sus coeficientes, denominados comúnmente como (a) y (b), deben ser hallados localmente utilizando datos reales. Estos coeficientes dependen de la latitud, época del año, altitud y varían en función de las concentraciones de contaminantes. El coeficiente (a) representa la fracción de radiación solar en el topo que alcanza la tierra en días totalmente nublados, correspondiente a la fracción difusa, en tanto, (b) es el coeficiente complementario que expresa el total de la radiación solar global (DALLACORT ET AL., 2004).

Numerosos autores han calculado valores para los índices antes mencionados. En Brasil la ecuación de Ångström-Prèscott es ampliamente usada. RIBEIRO (1980) determinó los valores de (a) e (b) para 32 estaciones meteorológicas localizadas entre 3° y 32° de latitud sur. Específicamente para la ciudad de Pelotas, ubicada en el estado de Rio Grande do Sul, más de cinco pares de índices han sido determinados en diferentes estudios llevados a cabo en épocas distintas. Tal es el caso de los realizados por MOTA (1976), MOTA ET AL. (1977), y STEINMETZ ET AL. (1999), todos obtuvieron valores distintos a pesar de caracterizar la misma ciudad. El objetivo del presente trabajo es determinar cuál de esos tres pares de índices, hallados por los autores mencionados anteriormente, contribuye a la mejor estimación de la radiación solar global en superficie para el año finalizado 2013.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomó como referencia la Estación Agro-climatológica de Pelotas ubicada al sur de esta ciudad en las coordenadas 31°52'00" S y 52°21'24" W, a una altura de 13,24 metros. A partir de esas coordenadas fue calculado el valor de la radiación solar incidente en el topo de la atmósfera (R_a) con la ecuación correspondiente, (2.1):

$$R_a = \left(\frac{S_o}{p_i}\right) * D_r * (H * \sin\phi * \text{sen}\delta + \cos\phi * \cos\delta * \cos H) \quad (2.1)$$

donde:

H - ángulo horario, ϕ - coordenada (latitud), δ - declinación, S_o - constante solar, D_r - distancia relativa.

Luego se obtuvo, a partir de la ecuación de Ångström-Prèscott (2.2), los valores de radiación solar global en superficie (R_s), esto para los tres casos de estudio mostrados a continuación y para cada día del año 2013:

Tabla 1: Valores de los coeficientes (a) y (b) para cada caso de estudio.

| Autores | Valor de (a) | Valor de (b) |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| Mota (1976) | 0.35 | 0.46 |
| Mota <i>et al.</i> (1977) | 0.29 | 0.43 |
| Steinmetz <i>et al.</i> (1999) | 0.19 | 0.50 |

Para realizar los cálculos en la ecuación (2.2) se utilizaron los valores de insolación colectados en la estación tomada como referencia. El fotoperiodo fue calculado con anterioridad.

$$R_s = R_a * \left(a + b * \left(\frac{I_s}{T_d}\right)\right) \quad (2.2)$$

donde:

I_s – insolación (h/días), T_d - fotoperiodo (h), R_s y R_a expresados en ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

Una vez obtenidos los valores de R_s , para cada día del año 2013 y para cada par de coeficientes de la ecuación (2.2), se dividieron por el factor de convección 0.0864 para transformar a la unidad de medida (W m^{-2}).

A partir de las mediciones hechas en la estación de estudio se seleccionaron los datos reales de radiación global en superficie para ser comparados con los obtenidos por el modelo. Nuevamente se aplicó un factor de convección, multiplicándose en este caso por 0.041868 para obtener (W m^{-2}), pues la unidad de medida original era ($\text{cal cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$).

Por último se calcularon tres de los índices estadísticos más importantes y comunes para el análisis de dispersión de datos (Error medio (2.3), Raíz del error cuadrático medio (2.4) y el coeficiente de determinación (2.5)):

$$EM = \frac{1}{n} * \sum_1^n (Est - Obs) \quad (2.3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_1^n (Est - Obs)^2} \quad (2.4)$$

$$r^2 = \frac{\sum_1^n (Est - Obs)^2}{\sum_1^n (Obs - \bar{Obs})^2} \quad (2.5)$$

donde:

Est- valor estimado por la ecuación (2.2), Obs - valor real observado en la estación, n - cantidad de días (365), \overline{Obs} - Media de los valores reales observados en la estación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar los resultados de los índices estadísticos (Tabla 2) se puede apreciar que el menor valor de EM se obtiene para los coeficientes obtenidos por STEINMETZ *ET AL.* (1999) y el mayor para los obtenidos por MOTA (1976). Lo mismo ocurre para RMSE y r^2 . En el caso de este último obsérvese como está muy próximo a la unidad para la tercera dupla de coeficientes, algo que se traduce en una mejor estimación.

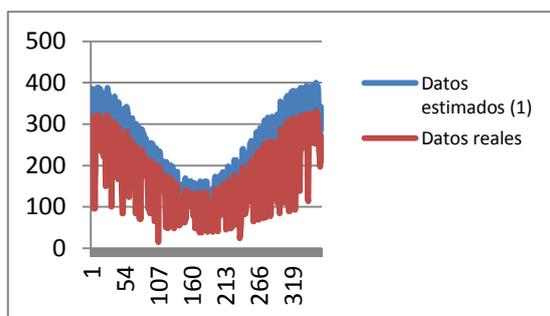
Tabla 2: Resultados de los índices estadísticos para cada caso de estudio.

| Índices/Autores | Mota (1976) | Mota <i>et al.</i> (1977) | Steinmetz <i>et al.</i> (1999) |
|-----------------|-------------|---------------------------|--------------------------------|
| EM | 53,16959 | 24,89354 | 3,758862 |
| RMSE | 55,87829 | 27,64671 | 8,314173 |
| r^2 | 1,608664 | 1,071034 | 1,019877 |

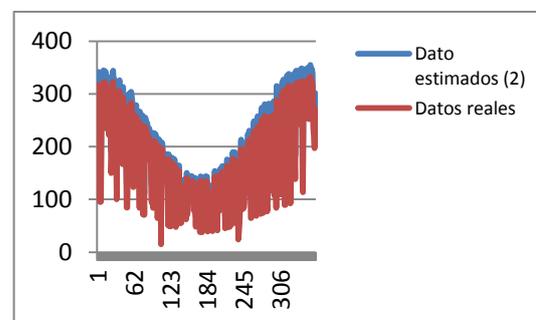
Los mejores resultados obtenidos con los coeficientes hallados por STEINMETZ *ET AL.* (1999) muestran que con la utilización de la ecuación de Ångström-Prèscott y esos coeficientes casi es posible estimar con mínimo de error la radiación solar incidente en el año 2013.

En las gráficas (I), (II) y (III) es posible apreciar el error cometido en cada caso. La curva azul representa la radiación estimada, la curva roja representa la radiación real en superficie. El gráfico (I) y (II) involucran los coeficientes hallados por MOTA (1976) y MOTA *ET AL.* (1977) respectivamente. El gráfico (III) involucra los coeficientes de STEINMETZ *ET AL.* (1999), en este último se puede observar que la curva azul coincide casi en su totalidad con la curva roja, señal de la exactitud con que fueron estimados los datos a partir de la ecuación de Ångström-Prèscott.

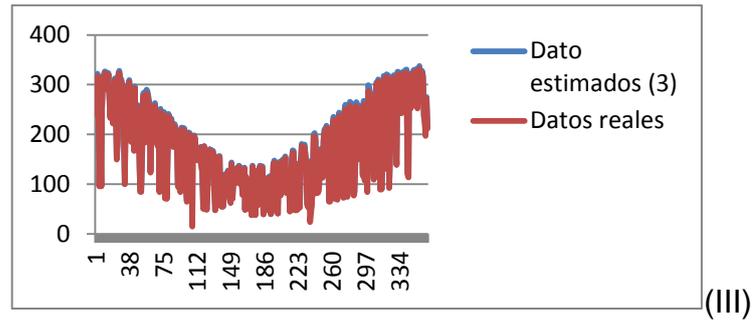
Otro aspecto a destacar es que para todos los días en que se estimó la Rs se obtuvo una sobre-estimación, en ningún caso de los 365 días del año para cada una de las tres duplas de coeficientes ocurrió una sub-estimación del resultado real



(I)



(II)



4. CONCLUSIONES

Para realizar una estimación de la radiación solar global incidente en la superficie a partir de la ecuación de Ångström-Prèscott y para la ciudad de Pelotas, los coeficientes más aceptados (a utilizar para realizar los cálculos correspondientes a cada día del año 2013) son los obtenidos por STEINMETZ *ET AL.* (1999). Con estos se obtuvo un error bajo, tanto medio como la RMSE.

El desarrollo de los instrumentos con que se midieron las Rs reales que posteriormente fueron utilizadas para hallar los coeficientes por los autores STEINMETZ *ET AL.* contribuyó, indudablemente, a la mayor eficiencia de los mismos. En los tres casos analizados SIEMPRE se produjo una sobrestimación de la radiación solar global en superficie.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L. DE; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A.; SILVA, F. F. DA; TRINTINALHA, M. A. Determinação dos coeficientes da equação de Angström para a região de Palotina, estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.26, p.329-336, 2004.

MOTA, F. S. Estimativas da radiação líquida em Pelotas, Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.28, n.10, p.1174-1178, 1976.

MOTA, F. S.; BEIRSDORF, M. I. C.; ACOSTA, M. J. C. Estimativa preliminar da radiação solar no Brasil. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.29, n.11, p.1274-1283, 1977.

PEREIRA, A. B., VILLA NOVA, N. A. Modelo de estimativa do potencial de energia solar diária disponível no município de Botucatu, SP, Brasil. *Energia na Agricultura*, v.13, p.38-50, 1998

RIBEIRO, A.M.A. Estudo das relações entre radiação global (Qg) e razão de insolação (n/N), em algumas regiões do Brasil, Piracicaba, 1980. 88p. (Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo), 1980.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N.; SOARES, W. R. Estimativa da radiação solar global a partir da insolação na região de Pelotas, Rio Grande do Sul. *Agropecuária Clima Temperado*, Pelotas-RS, v.2, n.1, p. 77-85, 1999.