



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



## **Métodos empíricos para a estimativa do saldo de radiação da superfície de referência a partir da radiação solar**

*Danilton Luiz Flumignan<sup>1</sup>; Maiara Kawana Aparecida Rezende<sup>2</sup>; Carlos Ricardo Fietz<sup>3</sup>; Eder*

*Comunello<sup>4</sup>*

Engenheiro-Agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS, Brasil. Fone: 55 67 3416-6881 E-mail: danilton.flumignan@embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheira Agrícola, mestranda em Produção Vegetal na UEM, Maringá, PR. E-mail: maiara\_rezende\_15@hotmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro-Agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. E-mail: carlos.fietz@embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheiro-Agrônomo, doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas na ESALQ/USP, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. E-mail: eder.comunello@embrapa.br

**RESUMO:** Na agrometeorologia a superfície de referência consiste naqueles tradicionais gramados das estações meteorológicas. O saldo de radiação ( $R_n$ ) desta superfície constitui-se em uma importante informação com diferentes aplicações, porém sua mensuração é rara devido ao elevado custo do sensor e a complexidade da medição. Por isso, estimar  $R_n$  a partir de outra variável é desejável, como a partir da radiação solar global ( $R_s$ ), porém os métodos padrões de estimativa são complexos, tornando interessante o uso de metodologias mais simplificadas. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo ajustar dois métodos empíricos para a estimativa do  $R_n$  a partir de  $R_s$ , para a região de Dourados, MS, Brasil. Um dos métodos foi ajustado com propósito científico (Método de Gauss), pois constitui-se de uma modelagem matemática, enquanto o outro foi ajustado com propósito prático (Método Prático) por se tratar de coeficientes de conversão mensais fixos. O trabalho foi realizado utilizando dados da estação da Embrapa Agropecuária Oeste de Dourados, MS. Utilizou-se dados diários de  $R_s$  de uma série histórica de 12 anos. Com estes foram estimados valores de  $R_n$  conforme o método padrão. O Método de Gauss foi ajustado utilizando o software Table Curve 2D 5.01, de modo a permitir estabelecer um valor de  $y$  correspondente à relação  $R_n/R_s$  para cada valor de  $x$  correspondente ao dia do ano. A modelagem consistiu em definir o valor dos parâmetros da equação. No Método Prático foram desenvolvidos coeficientes mensais da relação  $R_n/R_s$ . Para a validação dos métodos, durante um ano foram medidos valores de  $R_s$  e  $R_n$  utilizando sensores de alta precisão. Além disso, valores de  $R_n$  foram estimados por ambos os métodos e estes foram comparados com os medidos. Os métodos apresentaram resultados satisfatórios, com alto coeficiente de determinação, baixo erro e proximidade dos coeficientes angulares das retas obtidas com relação a unidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Método de Gauss, Método Prático, evapotranspiração de referência.

### **Empirical methods for estimating reference surface net radiation from solar radiation**

**ABSTRACT:** In agrometeorology, the reference surface consists of those traditional grass cover on weather stations. The net radiation ( $R_n$ ) of this surface is an important information that has many applicability, but its measurement is rare due to the high cost of the sensor and the complexity involved on the measurement. Therefore, estimate  $R_n$  from another variable is desirable, as from solar radiation ( $R_s$ ), but the standard methods used for this are complex, making interesting the use of simplified methodologies. Considering these, the present study aimed to set two empirical methods to estimate  $R_n$  from  $R_s$  for the region of Dourados, MS, Brazil. One method was set with a scientific purpose (Gauss Method) and it comprised a mathematical modeling. The other one was set with a practical purpose

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

(Practical Method) and comprised the determination of fixed monthly conversion factors. The study was done using weather data of the Embrapa Agropecuária Oeste weather station located at Dourados, MS, Brazil. We used daily  $R_s$  data of a 12 years database. With these, there were estimated  $R_n$  values by the standard method. The Gauss Method was set using the Table Curve 2D 5.01 software, in order to develop an appropriate  $y$  value that is relative to  $R_n/R_s$  for each value of  $x$  corresponding to the day of the year. The modeling consisted in defining the equation parameters values. On Practical Method we developed monthly ratio coefficients  $R_n/R_s$ . In order to validate both methods we measured  $R_s$  and  $R_n$  during one year using high precision sensors. In addition,  $R_n$  values were estimated by both methods and then compared with those measured. Both methods showed satisfactory results, with high coefficient of determination, low error and proximity of angular coefficients of the lines obtained with respect to unit.

**KEYWORDS:** Gauss Method, Practical Method, reference evapotranspiration.

## INTRODUÇÃO

Na agrometeorologia, a chamada superfície de referência corresponde a uma extensa área gramada, sob crescimento ativo, cobrindo completamente o solo, com altura aproximada de 12 cm, sendo esta área conduzida sem limitação hídrica e de fertilidade do solo, além de isenta de pragas, doenças e plantas invasoras (ALLEN et al., 1998).

Nos países de clima tropical esta definição teórica é replicada na prática pelos tradicionais gramados de grama batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), os quais se encontram presentes nas estações meteorológicas. Essa padronização da superfície de referência é de fundamental importância para assegurar a qualidade dos dados que são obtidos nas estações, além de permitir uma confiável comparação dos dados obtidos por diferentes estações.

Para algumas aplicações na agrometeorologia e na irrigação, são requeridos dados do saldo de radiação ( $R_n$ ) dessa superfície de referência. O elemento meteorológico  $R_n$  corresponde à diferença entre a entrada e a saída de radiação na superfície. Esta diferença constitui a energia que fica disponível e é então utilizada pela superfície, principalmente para a realização de três processos: evapotranspiração, aquecimento do ar e aquecimento do solo. Como exemplo, uma das principais aplicações dos dados de  $R_n$  está na estimativa da evapotranspiração da superfície de referência ( $ET_o$ ), pois atualmente o principal modelo de estimativa da  $ET_o$ , conhecido como modelo ASCE Penman-Monteith (ASCE-EWRI, 2005), requer valores de  $R_n$  como dado de entrada. Nesse contexto, ressalta-se que a  $ET_o$  constitui uma informação fundamental que por sua vez é requerida em diversos estudos ou trabalhos práticos, tanto na agricultura de sequeiro (por exemplo, definição das melhores épocas de semeadura e zoneamento agrícola), quanto na agricultura irrigada (por exemplo, dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação). Em muitas situações 70 a 80% do valor calculado de  $ET_o$  é devido ao valor de  $R_n$ , evidenciando a sua importância, sendo o restante devido às outras variáveis que são requeridas pelo modelo (temperatura, umidade relativa e velocidade do vento).

Embora o  $R_n$  seja uma informação importante, a sua medição em estações meteorológicas é rara devido ao elevado custo e a manutenção do sensor, além da complexidade associada a sua medida. Essa complexidade se deve à possibilidade de falhas nos sensores, mas principalmente ao fato de que é comum que nas estações meteorológicas não seja dado o tratamento adequado para assegurar que a superfície em questão possa ser enquadrada como superfície de referência, conforme demonstrado em Allen (1996) e ASCE-EWRI (2005). Se a superfície da estação não é manejada conforme o protocolo para superfície de referência, os dados de  $R_n$  obtidos são certamente influenciados por este manejo inadequado, resultando em valores de  $R_n$  que diferem daqueles que realmente deveriam ocorrer. Exemplos de manejo incorreto são: falta de irrigação do gramado em regiões áridas ou em épocas de



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

estiagem severa em regiões úmidas; mistura com/uso de outras espécies de gramíneas; deficiências nutricionais; gramado com cobertura falhada apresentando solo exposto; ausência de gramado (uso de solo descoberto ou cimento) e outros.

Devido ao exposto, ASCE-EWRI (2005) recomendou que os valores de  $R_n$  necessários para estimar os valores de  $ET_0$  sejam, preferencialmente, estimados a partir dos dados medidos de radiação solar ( $R_s$ ), seguindo a metodologia descrita no próprio documento. Este método de estimativa tem bastante qualidade, porém possui nível de complexidade elevado, pois faz uso de muitos cálculos advindos da astronomia, além de requerer como entrada as coordenadas geográficas do local e dados medidos de temperatura e umidade relativa do ar.

Uma alternativa para essa questão é o uso de métodos empíricos, ou seja, métodos que possuem soluções práticas, que são oriundas a partir da observação sistemática do fenômeno avaliado. Esses métodos tem validade limitada para condições semelhantes em que eles foram gerados, mas dentro dessas condições apresentam resultados satisfatórios.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo ajustar dois métodos empíricos para a estimativa do  $R_n$  a partir dos dados de  $R_s$  para a região de Dourados, MS. Um dos métodos foi ajustado com propósito científico (Método de Gauss), pois se constitui de uma modelagem matemática, enquanto o outro foi ajustado com propósito mais prático (Método Prático) por se tratar de coeficientes de conversão mensais fixos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado o banco de dados meteorológicos da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada em Dourados, MS, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22°16'S, longitude 54°49'O e altitude de 408 m. A estação foi mantida conforme os protocolos previstos para assegurar a condição de superfície de referência. Esta esteve localizada em área de 1,4 ha, com superfície coberta com grama batatais e posicionada de tal forma que a menor distância da mesma até o final da bordadura gramada tivesse 37 m, garantindo a minimização de problemas relacionados a advecção, sombreamentos e quebra-ventos. O gramado recebeu roçagens frequentes para manter a sua altura entre 8 e 15 cm, além de tratamentos culturais adequados e irrigação, para mantê-lo livre de deficiência hídrica.

Conforme Kottek et al. (2006), o clima da região é classificado como tropical monçônico (Am), se caracterizando claramente por estar em uma zona de transição entre os tipos climáticos tropical de savanas (Aw), ao norte, e temperado úmido com verão quente (Cfa), ao sul. De maneira geral, na região o verão é chuvoso e quente, enquanto o inverno é seco e frio (Fietz; Fisch, 2008). Segundo dados da Embrapa (2014) referentes ao período de 1980 até 2012 (33 anos), a precipitação média anual é de 1389 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso, com 178 mm, e julho o mais seco, com 44 mm. A temperatura média anual é de 22,5 °C, sendo em julho, mês mais frio, de 18 °C e em dezembro e janeiro, os meses mais quentes, igual a 25,4 °C.

O trabalho constituiu-se de duas fases: calibração e validação. Na fase de calibração utilizou-se os dados diários de  $R_s$  disponíveis por período de 12 anos (01/01/2001 a 31/12/2012). Essa série histórica é praticamente isenta de falhas, dispondo de 99,5% dos dados deste período. Todos os dados de  $R_s$  foram avaliados quanto à sua qualidade, segundo os critérios constantes em Allen (1996) e ASCE-EWRI (2005).

Os dados de  $R_n$  foram estimados segundo a padronização disposta em ASCE-EWRI (2005). Para isso, além dos dados de  $R_s$ , também foi necessária a utilização de dados de temperatura e umidade relativa do ar, os quais também foram determinados na mesma estação, durante o mesmo período.

A calibração consistiu em ajustar os Métodos de Gauss e Prático por meio da análise da relação entre os valores diários de  $R_s$  e  $R_n$ , ou seja,  $R_n/R_s$  em %. Essa relação indica o quanto da radiação que

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

atingiu a superfície foi de fato utilizada pela mesma. Por exemplo, uma relação de 60% para um determinado dia ou mês, indica que do total de radiação que atingiu a superfície ( $R_s$ ), 60% foi utilizado pela mesma nos seus diferentes processos ( $R_n$ ).

O ajuste do Método de Gauss (Equação 1) foi realizado utilizando o software Table Curve 2D 5.01, sendo o modelo matemático apresentado como segue:

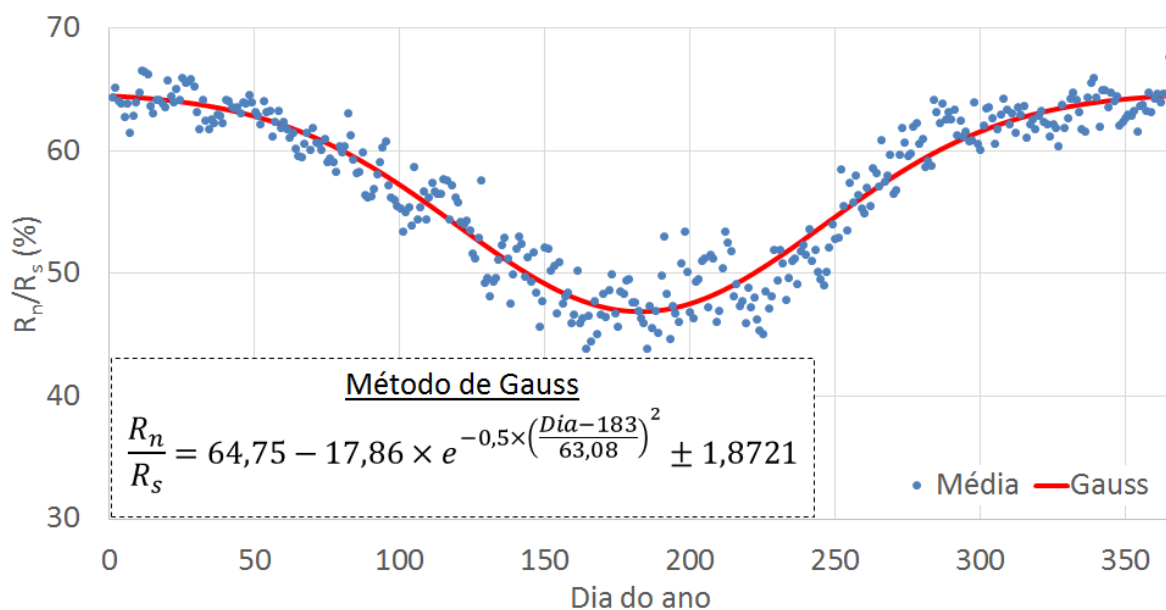
$$y = a + b \cdot e^{-c \cdot (x-d)^2} \quad (1)$$

onde o ajuste foi feito de modo a permitir estabelecer um valor de  $y$ , correspondente a relação  $R_n/R_s$ , para cada valor de  $x$  correspondente ao dia do ano (dia 1 até o dia 366 em anos bissextos). Portanto, a modelagem consistiu em ajustar os valores dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  da Equação 1. Por outro lado, no Método Prático foram determinados coeficientes mensais da relação  $R_n/R_s$ . Para representar cada um dos 366 dias no caso do Método de Gauss, ou cada um dos 12 meses no caso do Método Prático, foi utilizada a média dos 12 anos de dados.

A validação consistiu em analisar a qualidade das estimativas de  $R_n$  obtidas usando os Métodos de Gauss e Prático, a partir de valores medidos de  $R_s$ . Para isso, utilizou-se as leituras de um sensor de alta precisão de  $R_s$  (piranômetro CMP3 da Kipp & Zonen®) instalado na estação meteorológica, no período de um ano (01/07/2013 a 30/06/2014). Ao longo deste ano também monitorou-se os valores de  $R_n$  usando um sensor também de alta precisão (saldo radiômetro NR-Lite da Kipp & Zonen®). Os valores obtidos pelas estimativas foram comparados com os medidos.

**RESULTADOS**

O Método de Gauss foi ajustado satisfatoriamente, tal qual evidenciam o alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,9171$ ), o baixo erro padrão da modelagem ( $\pm 1,8721\%$ ) e o ajustamento gráfico visual (Figura 1). No gráfico nota-se que a relação  $R_n/R_s$  varia ao longo do ano, sendo mais alta nos meses de temperaturas elevadas e maior quantidade de chuvas, no verão (extremos do gráfico), e mais baixa nos meses de temperaturas menores e menor pluviosidade, no inverno (centro do gráfico).



**Figura 5.** Ajuste do Método de Gauss para determinação dos valores de  $R_n/R_s$  para qualquer dia do ano, na região de Dourados, MS.

Considerando-se que a média anual observada da relação  $R_n/R_s$  é de 57%, de outubro a março a relação é mais alta que a média anual, enquanto de abril a setembro essa relação é mais baixa (Tabela 1). A relação mais alta ocorre em janeiro (64,4%) e a mais baixa em junho (47,7%), evidenciando um gradiente existente entre esses extremos de 16,7%. Assim, os valores apresentados na Tabela 1 constituem os coeficientes ajustados segundo o Método Prático.

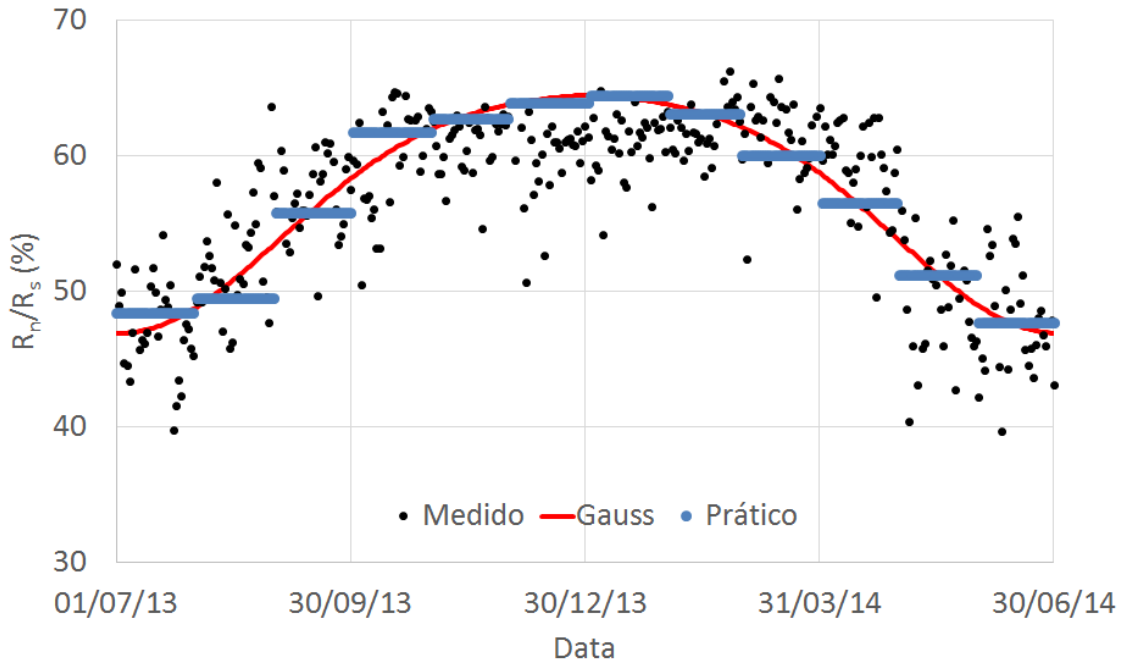
**Tabela 3.** Variabilidade mensal da relação  $R_n/R_s$  na região de Dourados, MS, segundo o Método Prático.

Mês	Relação $R_n/R_s$ (%)
Janeiro	64,4
Fevereiro	63,1
Março	60
Abril	56,5
Mai	51,2
Junho	47,7
Julho	48,4
Agosto	49,5
Setembro	55,8
Outubro	61,7
Novembro	62,7
Dezembro	63,9
Anual	57

Em trabalho semelhante, porém realizado na região do noroeste do estado de São Paulo, Conceição (2006) encontrou valor médio da relação  $R_n/R_s$  de 65,3%, sendo esta maior do que a média de 57% obtida no presente estudo e, além disso, excedendo o valor máximo encontrado na região de Dourados que foi de 64,4% no mês de janeiro. Outra observação importante é a necessidade de se reconhecer que a relação  $R_n/R_s$  não é fixa durante o ano, mas sim variável, conforme demonstra-se na Figura 1 e Tabela 1.

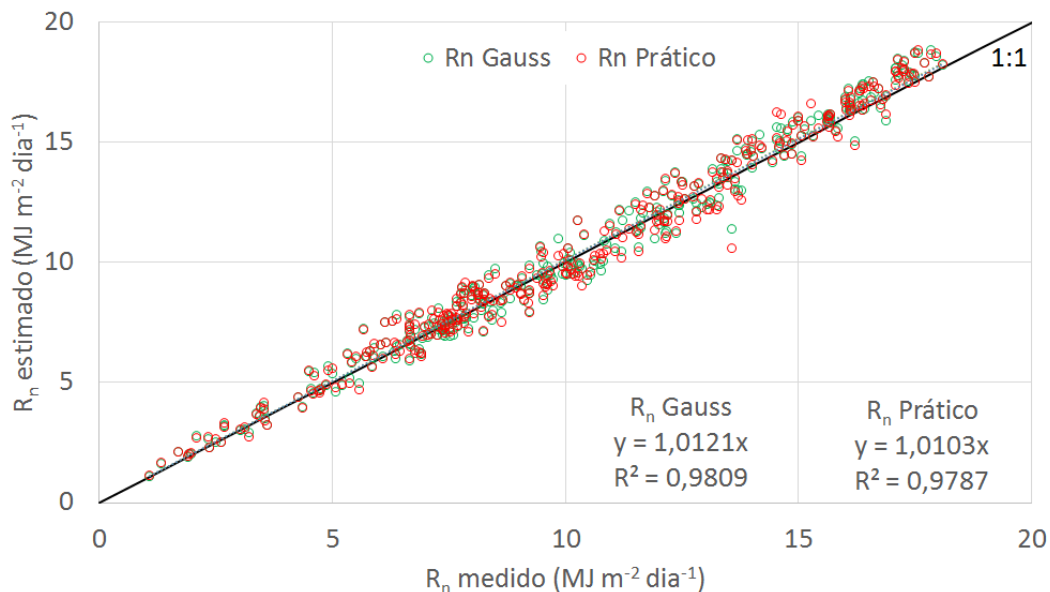
Durante o ano de validação a relação medida  $R_n/R_s$  seguiu a tendência ajustada pelos Métodos de Gauss e Prático, apresentando valores menores no inverno e maiores no verão (Figura 2). No entanto, neste ano em específico em que foi realizada a validação, durante o verão a relação medida foi ligeiramente e sistematicamente menor que as relações modeladas.





**Figura 6.** Valores medidos da relação  $R_n/R_s$  na região de Dourados, MS durante o período de validação dos modelos (01/07/2013 a 30/06/2014) e comparação com os valores modelados segundo os Métodos de Gauss e Prático.

No conjunto dos dados levantados durante o ano de validação avaliado, nota-se que ambos os métodos de estimativa ajustados apresentaram desempenho considerado satisfatório para estimar os valores de  $R_n$  a partir de  $R_s$ . Isso é evidenciado pela boa concordância dos pares de dados com a reta 1:1, pelos altos valores de  $R^2$  e pela proximidade dos coeficientes angulares das retas obtidas com relação ao valor 1 (Figura 3).



**Figura 7.** Análise de regressão comparativa dos valores estimados de  $R_n$  segundo os Métodos de Gauss e Prático com os valores medidos de  $R_n$  durante o período de validação (01/07/2013 a 30/06/2014) em Dourados, MS.

Embora ambos os métodos tenham apresentado desempenho satisfatório, recomenda-se que seja dada preferência pelo uso do Método de Gauss, em especial em aplicações mais refinadas, onde a preocupação com o valor estimado seja mais acentuada. Por outro lado, em situações mais expeditas, com menor rigor da estimativa, recomenda-se que seja utilizado o Método Prático, devido a sua menor complexidade de cálculo.

## CONCLUSÃO

Para a região de Dourados, MS, ambos os métodos ajustados mostraram-se adequados para estimar valores de  $R_n$  a partir de medidas de  $R_s$ . Recomenda-se o uso do Método de Gauss para aplicações mais refinadas e o Método Prático para aquelas mais expeditas.

Embora os métodos tenham sido ajustados para a região de estudo, presume-se que os mesmos tenham validade para outras regiões que possuam características climáticas semelhantes, como por exemplo, regiões nos estados de Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo e também no Paraguai.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 122, n. 2, p. 97-106, 1996.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES INSTITUTE. **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation**. Reston: ASCE, 2005. 216 p.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa do saldo de radiação no noroeste paulista com base na radiação solar incidente. Bento Gonçalves, RS. Embrapa Uva e Vinho, 2006. 2p. (Comunicado Técnico, 69).

EMBRAPA. **GuiaClima**. Disponível em: <<http://www.cpao.embrapa.br/clima/>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O clima na região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32p. (Documentos, 92).

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.