

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

RADIAÇÃO GLOBAL E DIFUSA DIÁRIA NA REGIÃO DE TRANSIÇÃO
CERRADO-AMAZÔNIA DO MATO GROSSO

TAMARA ZAMADEI

Sinop, Mato Grosso
Fevereiro, 2015

TAMARA ZAMADEI

**RADIAÇÃO GLOBAL E DIFUSA DIÁRIA NA REGIÃO DE TRANSIÇÃO
CERRADO-AMAZÔNIA DO MATO GROSSO**

ORIENTADOR: DR. ADILSON PACHECO DE SOUZA

Dissertação apresentada ao PPGCAM
como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em
Ciências Ambientais.

Sinop, Mato Grosso

Fevereiro, 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

Z23r Zamadei, Tamara.

Radiação global e difusa diária na região de transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso / Tamara Zamadei. -- 2015
xii, 53 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Adilson Pacheco de Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop, 2015.

Inclui bibliografia.

1. radiação solar. 2. transmissividade atmosférica. 3. anel de sombreamento. 4. razão de insolação. 5. indicativos estatísticos. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP – CUS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS HUMANAS E SOCIAIS - ICNHS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO : RADIAÇÃO GLOBAL E DIFUSA DIÁRIA NA REGIÃO DE TRANSIÇÃO
CERRADO-AMAZÔNIA DO MATO GROSSO

AUTOR : TAMARA ZAMADEI

Dissertação defendida e aprovada em 06 / 02 / 2015

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientador: **Dr. ADILSON PACHECO DE SOUZA**

UFMT Campus Universitário de Sinop

Examinador Interno. **Dr. FREDERICO TERRA DE ALMEIDA**

UFMT Campus Universitário de Sinop

Examinador Externo. **Dr. LEONARDO BATISTA DUARTE DA SILVA**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO JANEIRO

SINOP, 06/02/2015

Sinopse:

Analisou-se a variação sazonal das radiações global e difusa diárias e da transmissividade atmosférica no município de Sinop-MT. Foram geradas e validadas equações de estimativa da radiação difusa com base no coeficiente de transmissividade atmosférica e na razão de insolação. Os valores das irradiâncias incidentes na superfície horizontal foram obtidos da base de dados da Estação Meteorológica Automática do Campus Universitário da UFMT, dentre o período de junho de 2011 a dezembro de 2014.

Palavras-chave:

Radiação solar, transmissividade atmosférica, ângulo de sombreamento, razão de insolação, indicadores estatísticos.

DEDICO

A Assunta e Agostinho Zamadei, *meus pais*,
por acreditarem em mim, incentivarem, e ensinarem que
tudo pode ser tirado de nós, menos o conhecimento e a fé.

A Taiane Zamadei, *minha irmã*, pelo companheirismo e ombro amigo.
A Luís Gustavo B. Coelho, *meu amado*, pela força e estímulo constantes.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por se mostrar presente em todos os momentos.

Aos meus familiares, em especial Amabile G. Rodrigues e Therezinha Zamadei, pelas orações e amor incondicional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adilson Pacheco de Souza, pela oportunidade, incentivo, orientação e conhecimentos compartilhados.

Aos professores Lígia M. de O. Barros, Edgar N. Demarqui, Domingos Rodrigues, Solange M. Bonaldo, Marliton R. Barreto, Frederico T. de Almeida, Rafael Arruda, Onã da S. Freddi, Janaina Paulino, Leonardo D. B. da Silva, dentre tantos outros, que contribuíram para minha formação acadêmica.

A Adriano R. P. Mascarenhas, Josiane A. Godoy e Emanoeli B. Monteiro, amigos do ensino superior que se tornaram também companheiros durante o período da pós-graduação.

Aos colegas do PPGCAM – Turma 2013, em especial Rafael A. Menon, Tatiana C. Dias, Débora L. Pereira, Janaina Osten e Francisco M. P. Garcia, pela amizade, apoio e incentivo.

Aos integrantes do grupo de pesquisa Interações Ambiente e Planta, que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

A Soliane Huber, grande amiga e irmã de coração, pelo apoio, estímulo e amizade verdadeira. Afinal, apesar da distância, *“teimamos em continuar presentes mesmo em trilhas diferentes”*.

A Aldinéia e Paula Fernandes, Janaína T. Ferreira e Andréia Medeiros, meu sincero obrigada por tudo. De sempre, para sempre.

A Tiago Fin, Camila Munhoz, Thaynná Boreli, Érika M. da Rocha, Iarema V. Garcia, Kerllin Barros, Emília Garcez, Luciana F. Bezerra, Letícia F. Ramos, Dione H. Antonio, João Paulo P. da Silva, por terem se tornado minha segunda família em Sinop.

Aos meus amigos da República Erva Daninha, dos municípios de Guarantã do Norte e Sinop, e aqueles que se encontram distantes mas dentro de meu coração, obrigada por terem me acompanhado nessa caminhada.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso, pelo apoio financeiro com a bolsa de estudos.

*“Deus fez os dois grandes luminares:
o maior para governar o dia e o menor para governar a noite;
fez também as estrelas.
Deus os colocou no firmamento do céu para iluminar a terra,
governar o dia e a noite, e separar a luz das trevas.”*
(Gênesis 1:16-18)

RESUMO

A radiação solar é fonte inesgotável de energia para todos os fluxos entre a atmosfera e a superfície terrestre, condicionando a vida no planeta. No contexto das aplicações, visto que o Brasil encontra-se em pleno desenvolvimento tecnológico nas áreas de energias renováveis, agropecuária, construção civil, dentre outras; perfaz-se uma demanda crescente pelo conhecimento das variações sazonais dos níveis de radiação solar, considerando as componentes espectrais e de atenuação atmosférica. Como os custos de aquisição e de manutenção dos pireliômetros para medida da radiação direta são altos, a aplicação de anéis de sombreamento e de modelos de estimativa permitem a obtenção das demais componentes. O tipo de anel de sombreamento desenvolvido por Melo (1994) apresenta baixo custo e pode ser construído com tecnologia nacional, sem a necessidade de importações. A região Norte do Mato Grosso apresenta uma importante cobertura vegetal (floresta de transição entre o Cerrado e a Amazônia) e pouco se conhece sobre os efeitos da conversão da vegetação e do solo nas trocas de massa e de energia com a atmosfera. Os monitoramentos de rotina para a radiação solar permitem conhecer o efeito das variações geográficas, astronômicas e das condições climáticas na radiação disponível, assim como avaliar o efeito das atividades antrópicas sobre os processos atmosféricos de uma determinada região. Em vista disso, este estudo objetivou avaliar a sazonalidade das radiações global e difusa diárias e da transmissividade atmosférica, assim como propor e validar equações de estimativa da componente difusa na partição diária por meio de correlações das frações radiométricas com o coeficiente de transmissividade atmosférica e a razão de insolação, para a região de Sinop-MT. Os valores das irradiâncias foram obtidos da base de dados da Estação Meteorológica Automática do Campus Universitário da UFMT, dentre junho de 2011 a dezembro de 2014. Os dados sofreram análise de consistência e foram corrigidos por meio da aplicação de fatores de correção geométricos e anisotrópicos propostos por Oliveira et al. (2002) e Dal Pai et al. (2011). Além disso estabeleceu-se a classificação da cobertura de céu em função do coeficiente de transmissividade proposta por Escobedo et al. (2009). Para modelagem utilizaram-se dois anos e meio de medidas (junho de 2011 a dezembro de 2013) e um ano para validação (2014). A radiação difusa apresentou comportamento semelhante ao verificado no topo da atmosfera, com valores máximos durante o período de outubro a abril, já a radiação global apresentou maiores valores durante o período seco. As condições de cobertura de céu em Sinop variaram ao longo do ano, e em geral, o município apresentou 35,06% dos dias com céu parcialmente difuso. Mediante a variação existente na transmissividade da radiação solar é possível concluir que a composição atmosférica condiciona a quantidade de energia que chega à superfície terrestre. Os modelos correlacionando a fração radiométrica K_d a K_T e n/N apresentaram melhor ajuste em relação à K_d' , uma vez que há menor influência da composição atmosférica. Os meses de seca apresentaram melhor estimativa com a utilização dos modelos mensais ou sazonais. Quanto aos indicativos estatísticos, os valores observados apresentaram-se dentro dos padrões descritos na literatura.

ABSTRACT

Solar radiation is inexhaustible source of energy for all flows between the atmosphere and the land surface, affecting life on the planet. In the context of applications, as Brazil is in full technological development in the areas of renewable energy, agriculture, construction, among others; there is a growing demand for knowledge of seasonal variations in solar radiation levels, considering the spectral and atmospheric attenuation components. Since the costs of acquisition and maintenance of pyranometers to measure the direct radiation are high, the application of shading rings and estimation models allow obtaining the other components of solar radiation. The shadow ring developed by Melo (1994) is inexpensive and can be built with national technology without imports. The northern region of Mato Grosso presents an important vegetation cover (transitional forest between Cerrado and Amazon) and little is known about the effects of the conversion of vegetation and soil within mass and energy exchange with the atmosphere. The routine monitoring for solar radiation allow knowing the effect of geographical variations, astronomical and climatic conditions of the available radiation, as well as assess the effect of human activities on atmospheric processes of a given region. This study aimed to evaluate the seasonality of global and diffuse radiations daily and of atmospheric transmissivity and to propose and validate estimating equations of the diffuse component in the daily partition through correlations of radiometric fractions with the atmospheric transmissivity coefficient and the bright sunshine, for Sinop-MT and region. The values of the radiation were obtained from the Automatic Weather Station Database of University Campus UFMT, from June 2011 to December 2014. The data suffered consistency analysis and were corrected by applying geometric correction factors and anisotropic proposed by Oliveira et al. (2002) and Dal Pai et al. (2011). Also established the classification of sky coverage due to the transmissivity coefficient proposed by Escobedo et al. (2009). For modeling were used two and a half measures (June 2011 to December 2013) and one year for validation (2014). The diffuse radiation showed a similar behavior to that seen at the top of the atmosphere, with maximum values during the period from October to April, and the global radiation values were higher during the dry season. The sky coverage conditions in Sinop varied throughout the year, and in general, the city had 35.06% of days with partially diffuse sky. Through the variation in the transmissivity of solar radiation is possible to conclude that the atmospheric composition affects the amount of energy reaching the earth's surface. The models correlating the radiometric fraction K_d to K_T and n/N showed better fit regarding K_d , since there is less influence of the atmospheric composition. The dry months were better estimated with the use of monthly or seasonal models. Concerning the statistical indicatives, the observed values were within the standards described in the literature.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
Sazonalidade da radiação global e difusa diária e da transmissividade atmosférica na transição Cerrado-Amazônia.....	5
INTRODUÇÃO	6
MATERIAL E MÉTODOS	7
Localização e condições climáticas	7
Instrumentação, controle de qualidade e tratamento dos dados	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
CONCLUSÕES	21
AGRADECIMENTOS	21
LITERATURA CITADA	21
Estimativas da radiação difusa diária baseadas na transmissividade atmosférica e insolação na transição Cerrado-Amazônia	26
INTRODUÇÃO	27
MATERIAL E MÉTODOS	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONCLUSÕES	39
AGRADECIMENTOS	40
LITERATURA CITADA	40
CONCLUSÕES GERAIS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXO A – NORMAS DA REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fatores de correção anisotrópica para radiação difusa pelo método anel de sombreamento MEO (Dal Pai et al., 2011)	10
Tabela 2. Frequências das condições de céu em Sinop-MT ao longo do ano (02/06/2011 – 31/12/2014) de acordo com classificação proposta por Escobedo et al. (2009).....	16
Tabela 3. Médias mensais diárias das frações radiométricas K_d e K_d' no município de Sinop-MT, dentre 02/06/2011 e 31/12/2014.....	21
Tabela 4. Médias mensais de precipitação acumulada, temperatura e umidade relativa para a região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 e 31/12/2012.....	30
Tabela 5. Médias mensais de precipitação acumulada, temperatura e umidade relativa para a região de Sinop-MT, entre 01/01/2013 e 31/12/2014.....	31
Tabela 6. Coeficientes de regressão das equações de estimativa da radiação solar difusa na equipartição diária para a região de Sinop-MT, geradas através da correlação de K_d com K_T e n/N	33
Tabela 7. Frequências das condições de céu em Sinop –MT ao longo do ano de 2014 de acordo com classificação proposta por Escobedo et al. (2009).....	33
Tabela 8. Coeficientes de regressão das equações de estimativa da radiação solar difusa na equipartição diária para a região de Sinop-MT, geradas através da correlação de K_d' com K_T e n/N	34
Tabela 9. Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação de K_d e K_T , na região de Sinop-MT.....	36
Tabela 10. Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação de K_d e n/N , na região de Sinop-MT	36
Tabela 11. Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação de K_d' e K_T , na região de Sinop-MT	37
Tabela 12. Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação de K_d' e n/N , na região de Sinop-MT	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Anel de sombreamento MEO instalado na Estação Meteorológica Automática do Campus Universitário da UFMT/Sinop.....	9
Figura 2. Evolução média anual das variáveis meteorológicas: temperatura (A), umidade relativa do ar (B), precipitação acumulada (C), insolação total (D), para a região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014.....	12
Figura 3. Número de focos de calor por ano no município de Sinop-MT, dentre junho de 2011 e dezembro de 2014.....	12
Figura 4. Número de focos de calor por ano no estado de Mato Grosso, dentre junho de 2011 e dezembro de 2014.....	13
Figura 5. Precipitação diária (mm) nos anos de 2011 (A), 2012 (B), 2013 (C) e 2014 (D), na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014.....	13
Figura 6. Médias mensais diárias das radiações global (H_G) e no topo da atmosfera (H_0), na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014.....	14
Figura 7. Valores diários da radiação solar global ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014.....	14
Figura 8. Desvio relativo (%) da radiação global na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014.....	15
Figura 9. Comportamento médio mensal do fator de correção (F_c) para a região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014.....	17
Figura 10. Relação distância sensor-anel e raio do anel de sombreamento (A) e relação entre largura da sombra e largura do anel (B) de sombreamento MEO instalado em Sinop-MT.....	18
Figura 11. Valores médios diários mensais da radiação solar difusa ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014.....	19
Figura 12. Valores diários da radiação solar difusa ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014.....	19
Figura 13. Evolução anual da fração K_d (razão entre radiação difusa e radiação global) no município de Sinop-MT, entre 02/06/2011 e 31/12/2014.....	20
Figura 14. Evolução anual da fração K_d' (razão entre radiação difusa e radiação incidente no topo da atmosfera) no município de Sinop-MT, entre 02/06/2011 e 31/12/2014.....	20
Figura 15. Correlações entre K_d e K_T (A), K_d e n/N (B), K_d' e K_T (C) e K_d' e n/N (D) para o agrupamento anual de dados, estabelecidas com os valores observados dentre 02/06/2011 e 31/12/2013 na região de Sinop-MT.....	32

Figura 16. Valores observados e estimados da radiação difusa para a região de Sinop-MT, a partir de equações geradas através das correlações $K_d \times K_T$ (A), $K_d \times n/N$ (B), $K_d' \times K_T$ (C) e $K_d' \times n/N$ (D), para o ano de 2014.....35

INTRODUÇÃO GERAL

A radiação solar é principal fonte de energia para todos os fluxos entre a atmosfera e a superfície terrestre decorrentes dos balanços de energia, hídrico e fotossintético. É a fonte primária de energia a todos os processos meteorológicos que regulam a vida no planeta, uma vez que a sobrevivência dos organismos e sua distribuição nos ecossistemas são condicionadas por fatores abióticos como o fornecimento de luz, variações de temperatura, ciclo da água, dentre outros.

No contexto das aplicações, o conhecimento da radiação solar contribui para estudos nas áreas de engenharia, meteorologia, biologia, arquitetura (ambiência), agronomia (modelagem do crescimento e produção vegetal), florestal e inúmeras outras que dependem da dinâmica atmosférica (PEREIRA et al., 2002; VIANELLO; ALVES, 2004; VAREJÃO-SILVA, 2006; BORGES et al., 2010; SOUZA et al., 2012).

O Brasil encontra-se em pleno desenvolvimento tecnológico nas áreas de energias renováveis (conversão fototérmica e fotovoltaica, biomassa e biodiesel), agropecuária (aumento da eficiência baseada nas propriedades físicas e fisiológicas das culturas e/ou animais), construção civil (materiais construtivos, aspectos micrometeorológicos), entre outras. A necessidade de fornecer energia em escala cada vez maior e simultaneamente de maneira econômica e sustentável, em conjunto com o perfil do elevado potencial agrossilvipastoril nacional, perfazem uma demanda crescente pelo conhecimento das variações sazonais dos níveis de radiação solar, considerando as componentes espectrais e de atenuação atmosférica no território brasileiro (MARTINS et al., 2008; MARTINS; PEREIRA, 2011; PEREIRA et al., 2012).

A variação temporal da quantidade de radiação solar incidente em qualquer localidade na superfície terrestre depende basicamente dos fatores astronômicos, geográficos e atmosféricos. As principais variações dos níveis sazonais de cada componente da radiação solar são originárias da interação com a atmosfera, visto que, alguns constituintes atmosféricos são relativamente constantes em concentração (gases permanentes) e outros são altamente variáveis no tempo e no espaço (como CO₂, metano, aerossóis e vapor de água), permitindo assim que a composição atual e a concentração dependam da posição geográfica, altitude e época do ano. Dentre as características locais, as variações de altitude, inclinação (declividade), orientação (azimute) e sombreamento podem afetar os níveis energéticos disponíveis na superfície, principalmente com alterações na geometria de incidência de fluxos solares diretos (IQBAL, 1983; LIOU, 2002; SOUZA, 2012).

Os fluxos de radiação solar são formados pela emissão de ondas eletromagnéticas resultantes do processo de fusão nuclear no Sol. O Sol emite radiação em praticamente todos os comprimentos de onda, embora 99,9% se situe na faixa compreendida entre 0,15 e 4,0 μm , considerada como radiação em ondas curtas. Dentro desse intervalo, cerca de 52% da radiação solar que atinge a superfície da Terra está na faixa espectral do infravermelho, 44% na do visível e 4% na do ultravioleta (PEREIRA et al., 2002; LEMON, 1965 apud VAREJÃO-SILVA, 2006; VICTORIA, 2008).

Os fluxos de energia incidentes no topo da atmosfera terrestre apresentam pouca oscilação na partição temporal instantânea, entretanto, quando integrados em somas horárias e/ou diárias podem variar em função da latitude local, da declinação solar e do ângulo horário. Esses fatores são dependentes dos movimentos de rotação e translação da Terra e permitem a um local receber raios solares com inclinação diferenciada ao longo do dia (IQBAL, 1983; GUIMARÃES, 2003; INÁCIO, 2009).

A fração de radiação solar que atinge a superfície terrestre, denominada de radiação global, pode ser dividida em duas componentes: direta e difusa, que são transmitidas diretamente pela atmosfera (sem atenuação) e são resultantes da ação de espalhamento na atmosfera, respectivamente (VAREJÃO-SILVA, 2006; KHATIB et al., 2012). As medidas dos fluxos de radiação solar são normalmente tomadas no plano horizontal e disponibilizadas em partições instantâneas, horárias e/ou diárias, mensais e anuais.

Segundo Dal Pai (2005), essa forma de energia é mais bem aproveitada por meio do conhecimento dos níveis quantitativos da radiação incidente numa determinada localidade e portanto, indica a necessidade do monitoramento contínuo para identificação do potencial solar de uma região.

De acordo com Souza et al. (2012) nas condições brasileiras, os monitoramentos de rotina das componentes da radiação solar oriundas da atenuação atmosférica estão vinculadas às universidades e/ou institutos de pesquisa, em função dos custos envolvidos na aquisição e na manutenção de instrumentos específicos para medidas (CODATO et al., 2008; MARTINS et al., 2008; ESCOBEDO et al., 2009; BORGES et al., 2010; PIACENTINI et al., 2011; VIANA et al., 2011; FURLAN et al., 2012). Em geral, os instrumentos empregados para medidas dessas radiações são basicamente de dois tipos: i) piranômetros, empregados para medidas da radiação global, difusa (quando posicionados em sistemas de sombreamento) e a radiação refletida; ii) pireliômetros, que permitem medidas da radiação direta, e que nesse caso, são altamente onerosas devido ao custo de aquisição e manutenção; geralmente indicando a necessidade da obtenção da componente direta com base em estimativas.

Portanto, os modelos de estimativa das componentes da radiação solar merecem destaque especial, pois a maioria das estações meteorológicas mede apenas a radiação global em superfícies horizontais.

Especificamente para a componente difusa, podem ser considerados dois métodos para a sua obtenção: i) método da diferença, no qual se utiliza um piranômetro para medir a radiação global e, simultaneamente, um pireliômetro acoplado a um rastreador solar para medir a radiação direta na incidência, permitindo obter instantaneamente, a radiação difusa pela diferença entre as componentes global e direta projetada na horizontal (considerado como referência); ii) método do sombreamento de piranômetros por meio de disco que rastreia o movimento relativo do Sol ou por meio de um anel de sombreamento.

A utilização de discos com acompanhamento do movimento relativo do Sol é considerada mais precisa, porém é limitada em função dos custos de aquisição e de manutenção. No sombreamento pelo anel, podem ocorrer três formas diferentes de colocação/movimentação do mesmo na plataforma de observação. Em duas condições, o plano da face do anel é direcionado na linha leste-oeste geográfica e inclinado para o norte em relação ao zênite, formando um ângulo igual à latitude local. Em uma destas possibilidades, o anel é mantido fixo com o piranômetro móvel (MELO, 1994) e na outra o anel possui liberdade de movimento paralelo ao eixo polar da Terra com o piranômetro fixo (EPPLEY, 1964). Nestes casos, o anel intercepta a radiação solar direta e a variação da declinação solar é acompanhada pelo deslocamento de translação periódico do anel ou do piranômetro. Na terceira forma de medida da radiação difusa, o anel de sombreamento possui liberdade de movimento rotacional, com seu centro comum ao sensor do piranômetro sob o anel (ROBINSON; STOCH, 1964). O tipo de anel de sombreamento desenvolvido por Melo (1994), denominado de MEO, apresenta baixo custo e pode ser construído com tecnologia nacional, sem a necessidade de importações (OLIVEIRA et al., 2002; DAL PAI, 2005; SOUZA, 2012).

Independentemente do tipo de anel de sombreamento utilizado, parte da radiação difusa também é bloqueada, levando à necessidade do uso de fatores de correção, como os propostos por Drummond (1956), LeBaron et al. (1990), Melo (1994), Battles et al. (1995), Jacovides et al. (1996), Oliveira et al. (2002a,b), Dal Pai (2005), entre outros.

Para o anel de sombreamento MEO, quando disposto em medidas em superfícies horizontais, já foram apresentados fatores de correção para as características geométricas, geográficas e astronômicas (MELO, 1994; OLIVEIRA et al., 2002a; DAL PAI, 2005). Todavia, até o momento, as aplicações desse sistema de medidas foram limitadas apenas em

latitudes próximas ao Trópico de Capricórnio: Botucatu, Avaré, São Paulo e alguns municípios do Estado do Paraná (OLIVEIRA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2002a,b; DAL PAI, 2005; DRECHMER, 2005; DAL PAI; ESCOBEDO, 2012; SOUZA, 2009, 2012; DAL PAI et al., 2014). Dessa forma, perfaz-se na necessidade da aplicação desse anel de sombreamento em outras latitudes e principalmente, condições climáticas diferentes das regiões Sul e Sudeste do Brasil, para validar, ajustar ou até mesmo propor fatores de correção que englobem essas características e que considerem a variação das condições climáticas no local de medida.

O município de Sinop possui extensão territorial de 3.942 km² e cerca de 126.817 habitantes; tendo apresentado nos últimos quatro anos taxa de crescimento populacional acima de 12%, com a instalação de um grande número de indústrias na região (IBGE, 2014). Por conseguinte, aumentou-se consideravelmente a demanda por energia e/ou processos de transformação energética. O município localiza-se em uma área de expansão de fronteira agrícola com grandes complexos de produção agroindustrial e por se tratar de uma importante área do agronegócio no Estado, contribui significativamente com elevadas taxas de desmatamento e de queimadas nos cenários regionais e/ou nacionais (MOURA; ROMANCINI, 2013).

Com a existência do Campus Universitário de Sinop (UFMT), no ano de 2011 foi celebrada uma parceria com o Laboratório de Radiometria Solar da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP e com o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP para o início dos monitoramentos das radiações global e difusa na horizontal. Para tanto, foi instalado um anel fixo e inclinado na latitude local com translação do sensor paralela ao plano horizontal (SOUZA et al., 2012), em conjunto com dois piranômetros para medidas das radiações global e difusa.

Dessa forma, em superfícies horizontais, desde 02/06/2011 ocorrem medidas de rotina da radiação difusa por anel de sombreamento e da radiação global na Estação Meteorológica Automática do Campus Universitário de Sinop (UFMT). A base de dados instantânea existente permite avaliar as tendências da evolução da radiação difusa no dia, bem como a obtenção e avaliação de fatores de correção para as medidas diretas, além da proposição, avaliação, calibração e aplicação de modelos de estimativas com base em outras variáveis meteorológicas, para diferentes partições temporais e agrupamentos de dados.

Sazonalidade da radiação global e difusa diária e da transmissividade atmosférica na transição Cerrado-Amazônia

Resumo: Este estudo objetivou analisar a variação sazonal da radiação solar incidente na superfície horizontal e da transmissividade atmosférica no município de Sinop-MT, através de valores obtidos na utilização do anel de sombreamento desenvolvido por Melo (1994). Os dados estudados foram submetidos a uma análise de consistência e aplicação de fatores de correção geométricos e anisotrópicos. Para análise da variação da transmissividade atmosférica ao longo do ano estabeleceu-se a classificação da cobertura de céu. A radiação difusa apresentou comportamento semelhante ao verificado no topo da atmosfera, com valores máximos durante o período de outubro a abril, já a radiação global apresentou maiores valores durante o período seco. As condições de cobertura de céu em Sinop variaram ao longo do ano, e em geral, o município apresentou 35,06% dos dias com céu parcialmente difuso. Mediante a variação existente na transmissividade da radiação solar é possível concluir que a composição atmosférica condiciona a quantidade de energia que chega à superfície terrestre.

Palavras-chave: radiação solar, índice de claridade, anel de sombreamento, atenuação atmosférica

Seasonality of global and diffuse radiation and of atmospheric transmissivity in the transition Cerrado-Amazon

Abstract: This study aimed to analyze the seasonal variation of solar radiation on the horizontal surface and the atmospheric transmissivity at Sinop-MT through values obtained from the use of shading ring developed by Melo (1994). The data were submitted to a consistency analysis and application of geometric and anisotropic correction factors. To analyze the variation of atmospheric transmissivity throughout the year were established the sky cover classification. The diffuse radiation showed a similar behavior to that seen at the top of the atmosphere, with maximum values during the period from October to April, and the global radiation values were higher during the dry season. The sky coverage conditions in Sinop varied throughout the year, and in general, the city had 35,06% of days with partially diffuse sky. Through the variation in the transmissivity of solar radiation is possible to conclude that the atmospheric composition affects the amount of energy reaching the earth's surface.

Keywords: solar radiation, clearness index, shadow ring, atmospheric attenuation

INTRODUÇÃO

O conhecimento dos níveis de radiação solar na superfície é fundamental para os projetos de aproveitamento de energia, desenvolvimento de estudos sobre agricultura, meteorologia, climatologia, química da atmosfera, camada de ozônio, balanço de energia e hídrico, qualidade do ar e interação clima/oceano, consumo hídrico de plantas e modelos de desenvolvimento e/ou produção de culturas, práticas de eficiência energética e de conforto térmico na arquitetura e na construção civil, dentre outros (Tevini, 1993; Pereira et al., 2006).

A radiação solar que atinge a superfície terrestre, denominada de radiação global, pode ser dividida em duas componentes: radiação direta, que provém diretamente do Sol; e radiação difusa, resultante da ação de espalhamento da atmosfera e que atinge o local considerado após ter sofrido um ou mais desvios (Varejão-Silva, 2006; Khatib et al., 2012). As medidas dos fluxos de radiação solar são normalmente tomadas no plano horizontal e disponibilizadas em partições instantâneas, horárias e/ou diárias, mensais e anuais.

A intensidade da radiação solar recebida pela Terra é monitorada desde 1883 (Lamb, 1975). Porém, no Brasil a disponibilidade de dados medidos é ainda limitada, pois o número de estações de superfície que registram a radiação solar é reduzido quando comparado ao daquelas que com mais frequência registram outras variáveis meteorológicas; além dos elevados custos envolvidos na medição (Thornton & Running, 1999; Weiss et al., 2001).

Segundo Souza et al. (2012) nas condições brasileiras, os monitoramentos de rotina das componentes de atenuação atmosférica da radiação solar estão vinculados às universidades e institutos de pesquisa, em função dos custos envolvidos na aquisição e na manutenção de instrumentos específicos para medidas (Codato et al., 2008; Martins et al., 2008; Escobedo et al., 2009; Borges et al., 2010; Piacentini et al., 2011; Viana et al., 2011; Furlan et al., 2012). Esses instrumentos são agrupados basicamente em dois tipos: i) piranômetros, que podem ser usados para medir a radiação global, difusa (quando posicionados em sistemas de sombreamento) e a radiação refletida, ii) pireliômetros que permitem medidas da radiação direta, porém são as mais onerosas devido ao custo de aquisição e manutenção, em função do sistema de rastreamento solar (perfazendo a necessidade da sua obtenção de maneira indireta com base em estimativas).

Como os custos de aquisição e de manutenção dos pireliômetros para medida da radiação direta são altos, a aplicação de anéis de sombreamento propicia a obtenção da componente direta pelo método da diferença. Independentemente do tipo de anel de sombreamento utilizado, parte da radiação difusa também é bloqueada, levando a necessidade do uso de fatores de correção, como os propostos por Drummond (1956), LeBaron et al. (1990), Melo (1994), Battles et al. (1995), Jacovides et al. (1996), Oliveira et al. (2002a,b), Dal Pai (2005), entre outros.

Com a existência do Campus Universitário de Sinop (UFMT), no ano de 2011 foi celebrada uma parceria com o Laboratório de Radiometria Solar da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP e com o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP para o início do monitoramento da componente difusa da radiação global. Assim, em superfícies horizontais, desde 02 de junho de 2011 ocorrem medidas de rotina da radiação difusa por anel de sombreamento Melo-Escobedo (MEO) e da radiação global nas equipartições instantânea, horária e diária.

Tendo em vista a importância dos estudos relacionados à radiação solar e a carência de informações deste cunho, o presente trabalho objetivou avaliar as variações das médias mensais diárias da radiação solar global e difusa e as frequências da transmissividade atmosférica na região norte de Mato Grosso. Para isso, tomaram-se como base medidas da radiação solar obtidas por meio do anel de sombreamento MEO.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e condições climáticas

Os valores das irradiâncias solar global e difusa, em superfície horizontal, foram obtidos da base de dados da Estação Meteorológica Automática do Campus Universitário da UFMT no município de Sinop (latitude $-11,98^\circ$, longitude $-55,56^\circ$, altitude 371m), dentre o período de 02 de junho de 2011 a 31 de dezembro de 2014.

O clima da região segundo a classificação climática de Köppen é do tipo tropical quente e úmido Aw, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro). As temperaturas médias mensais oscilam entre $23,0^\circ\text{C}$ e $25,8^\circ\text{C}$, com valor médio anual de $24,7^\circ\text{C}$ (Souza et al., 2013).

No inverno ocorrem as maiores amplitudes térmicas diárias, pois como o vapor d'água apresenta um grande potencial de atenuação da radiação na atmosfera, durante os meses de verão ou período chuvoso, as diferenças entre temperaturas noturnas e

diurnas são menores, com amenização principalmente da temperatura máxima em decorrência das alterações nas radiações direta e difusa com a nebulosidade (Santos et al., 2013). E ainda, as evoluções médias mensais da temperatura e insolação são maiores no período de seca, pois as condições atmosféricas permitem maior incidência dos raios solares na superfície terrestre.

Em relação à precipitação ocorrem, em média, 1900 mm ano⁻¹, com concentrações de 70% do total de chuvas entre novembro e março (verão), sendo que os meses mais chuvosos estão no intervalo de janeiro a março. Durante o primeiro trimestre do ano a precipitação chega a atingir de 45% a 55% do total anual das chuvas (Sette & Tarifa, 2000; Alvares et al., 2014; Souza et al., 2013).

Instrumentação, controle de qualidade e tratamento dos dados

As irradiâncias global e difusa foram monitoradas por piranômetros CM3 da Kipp & Zonen, posicionados a 1 m de altura, que possuem uma sensibilidade de resposta de $\pm 10\text{-}35 \mu\text{V/Wm}^2$, tempo de resposta de 18 s, resposta a temperatura de $\pm 1,0\%$ para a faixa de -40 a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ e desvios para o efeito cosseno de $\pm 2\%$ ($0 < z < 80^\circ$); sendo a difusa medida com base no anel de sombreamento MEO.

Para medição das demais variáveis meteorológicas a estação conta com os seguintes sensores: radiação PAR (Licor) a 2 m de altura, velocidade e direção do vento (anemômetro, 03002-L RM YOUNG) a 10 m de altura, psicrômetro com abrigo termométrico (Vaisala, CS 215) a 2 m de altura, pluviógrafo (Vaisala, TE 525) a 1,5 m de altura e heliógrafo a 1,5 m de altura. Na aquisição dos dados foi utilizado um datalogger CR1000 (Campbell Scientific) operando na frequência de 1 Hz e armazenando médias de 300 leituras ou 5 min. Semanalmente os dados armazenados no cartão de memória foram transferidos para o computador através de uma interface USB e do software PC208w.

O anel de sombreamento de baixo custo, fácil operação e manutenção para as medidas na horizontal, instalado na Estação Meteorológica Automática do Campus Universitário da UFMT/Sinop, é apresentado na Figura 1 (Melo, 1994; Souza, 2012). Nas medidas no plano horizontal, o anel de sombreamento é mantido fixo e inclinado com ângulo igual à latitude local, e para compensar a variação da declinação solar, o piranômetro translada paralelamente ao plano do horizonte local em uma base móvel para permanecer abaixo da sombra produzida pelo anel (Oliveira et al., 2002a).



Figura 1. Anel de sombreamento MEO instalado na Estação Meteorológica Automática do Campus Universitário da UFMT/Sinop

A distância sensor-anel e a largura da sombra do anel projetada sobre o aparelho foram determinadas a partir das Eqs. 1 e 2 (Oliveira et al., 2002a).

$$r = \frac{R}{\cos(\delta)} \left[\frac{\cos(\phi)\cos(\delta)}{\cos(\phi + \delta)} \right] \quad (1)$$

em que: r - distância do sensor-anel (m); R - raio do anel de sombreamento (m); δ - declinação solar; ϕ - latitude do local.

$$w = \frac{b \cos(\delta)}{\cos(\phi + \delta)} \quad (2)$$

em que: w - largura da sombra (m); b - largura do anel (m).

Os dados de radiação solar obtidos sofreram análise de consistência para observação das possibilidades de agrupamento de dados nas partições diárias e mensais. Com base em integrações da partição instantânea foram obtidas as irradiações diárias (Iqbal, 1983).

No processamento dos dados foram obtidos os instantes de nascer e pôr do sol, declinação solar, irradiação no topo da atmosfera, cosseno do ângulo zenital ($\cos Z$) e ângulo horário solar diário para a superfície horizontal.

Os dados de irradiância difusa medidos pelo anel de sombreamento MEO foram corrigidos utilizando-se os fatores de correção geométricos e astronômicos propostos por Oliveira et al. (2002a) (Eqs. 3 e 4).

$$FC = \frac{1}{1 - F_p} \quad (3)$$

$$F_p = \left(\frac{2b}{\pi R} \right) \cdot \cos(\delta) \left[\frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 \cdot \int_0^{\omega_s} \cos(\theta_z) d\omega \quad (4)$$

em que: b - largura do anel (0,1 m); R - raio do anel (0,4 m); ω - ângulo horário; θ_z - ângulo zenital.

Em geral, a aplicação dos fatores de correção supracitados não contempla os efeitos atmosféricos (turbidez, nebulosidade, vapor de água e poluição) que são os principais responsáveis pela anisotropia da radiação difusa (Iqbal, 1983; LeBaron et al., 1990; Battles et al., 1995; Dal Pai, 2005). Em razão disso, foram empregadas correções anisotrópicas em função da cobertura de céu, levando em conta o comportamento anisotrópico da dispersão ocasionada pela interação da radiação solar com a atmosfera. Essas correções foram propostas por Dal Pai et al. (2011) e dependem da transmissividade atmosférica em acordo com a classificação da cobertura de céu descrita por Escobedo et al. (2009) (Tabela 1).

Tabela 1. Fatores de correção anisotrópica para radiação difusa pelo método anel de sombreamento MEO (Dal Pai et al., 2011)

Intervalo de K_T	Cobertura de céu	Fator de correção
$0 \leq K_T < 0,35$	Nublado	0,975
$0,35 \leq K_T < 0,55$	Parcialmente nublado	1,034
$0,55 \leq K_T < 0,65$	Parcialmente aberto	1,083
$K_T \geq 0,65$	Aberto	1,108

O coeficiente de transmissividade atmosférica da radiação global (K_T) ou índice de claridade foi obtido pela razão entre a radiação global (H_G) e a radiação no topo da

atmosfera (H_0). Posteriormente, estabeleceu-se a classificação da cobertura de céu em função de K_T proposto por Escobedo et al. (2009), a qual dispensa o uso de dados de radiação direta e/ou difusa, e considera os seguintes tipos de condição de céu expostos na Tabela 1. Em seguida, realizou-se a distribuição de frequência da base de dados por condição de cobertura de céu.

As frações radiométricas K_d e K_d' representam a parcela da radiação global incidente na superfície terrestre como radiação difusa, calculadas pela razão entre a radiação difusa e a radiação global, e a difusa pela radiação no topo da atmosfera, respectivamente.

A variabilidade da radiação solar foi calculada por meio do desvio relativo (Eq. 5), considerando como média geral, especificamente, a média mensal da radiação global calculada com base nos valores observados no período de tempo estudado.

$$D(\%) = \left(\frac{\text{Radiação mediado período} - \text{Radiação mediageral}}{\text{Radiação mediageral}} \right) * 100 \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias mensais da temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e insolação observadas no local de estudo, durante o período de tempo em questão, são mostradas na Figura 2.

As Figuras 3 e 4 mostram o número de focos de calor mensais identificados no município de Sinop e no estado de Mato Grosso, respectivamente, durante os anos estudados, de acordo com dados do INPE (2014).

Em particular, os aerossóis de queimadas modificam o balanço radioativo na superfície, absorvendo e espalhando a radiação solar, influenciando no aumento relativo da radiação difusa, que por sua vez pode afetar diversos processos biológicos, como a produtividade das plantas (Pauliquevis et al., 2007; Mercado et al., 2009).

Através da análise de dados estaduais conclui-se que setembro é o mês com maior índice de queimadas, apresentando, no período de tempo estudado, média de 47.112 focos de calor/ano (INPE, 2014). Em escala regional, os aerossóis podem ser transportados a longas distâncias e, portanto, podem influenciar na composição do material particulado e conseqüentemente na passagem da radiação solar através da atmosfera. Estudos afirmam que dependendo da circulação regional e da quantidade e

intensidade das queimadas, os aerossóis originados na região amazônica, principalmente durante os meses de seca, podem provocar alterações desde a escala local até milhares de quilômetros longe das regiões de emissões (Prins et al., 1998; Artaxo et al., 2006; Oliveira & Mariano, 2014).

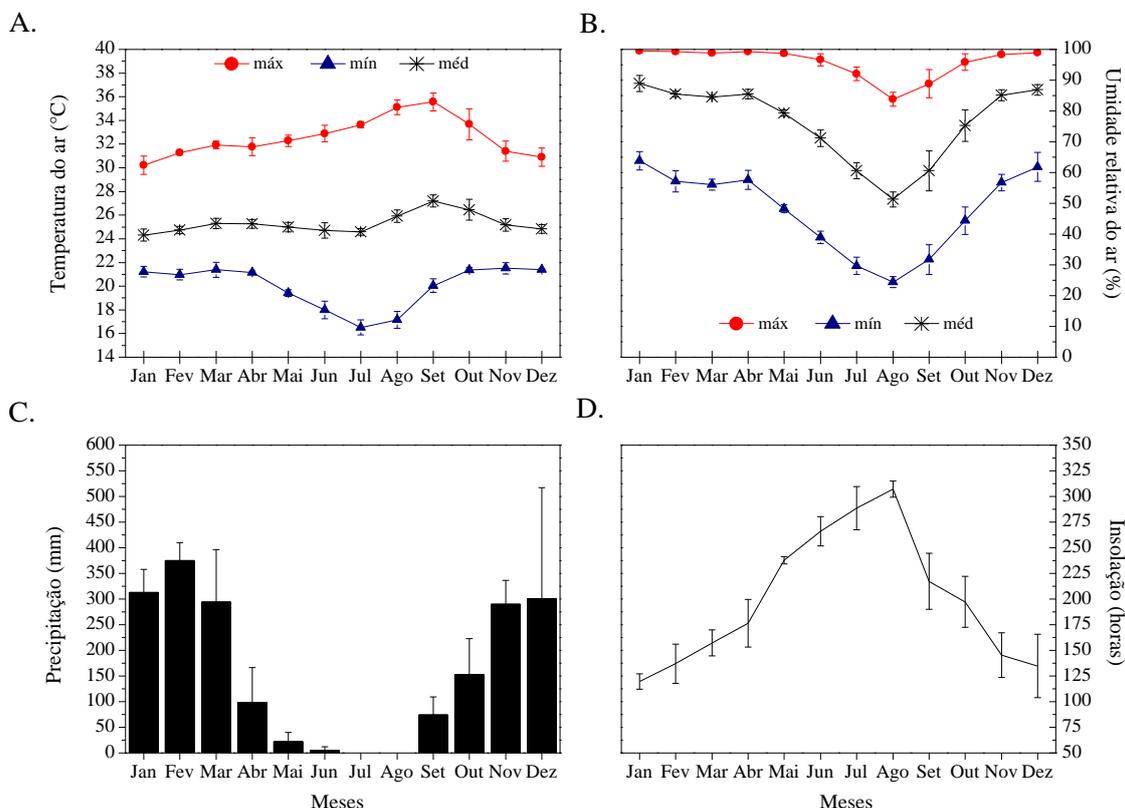


Figura 2. Evolução média anual das variáveis meteorológicas: temperatura (A), umidade relativa do ar (B), precipitação acumulada (C), insolação total (D), para a região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014

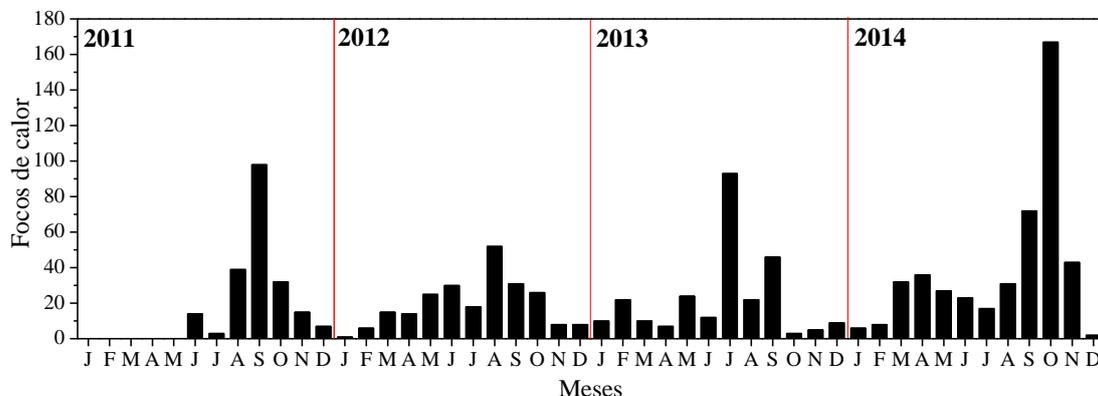


Figura 3. Número de focos de calor por ano no município de Sinop-MT, dentre junho de 2011 e dezembro de 2014

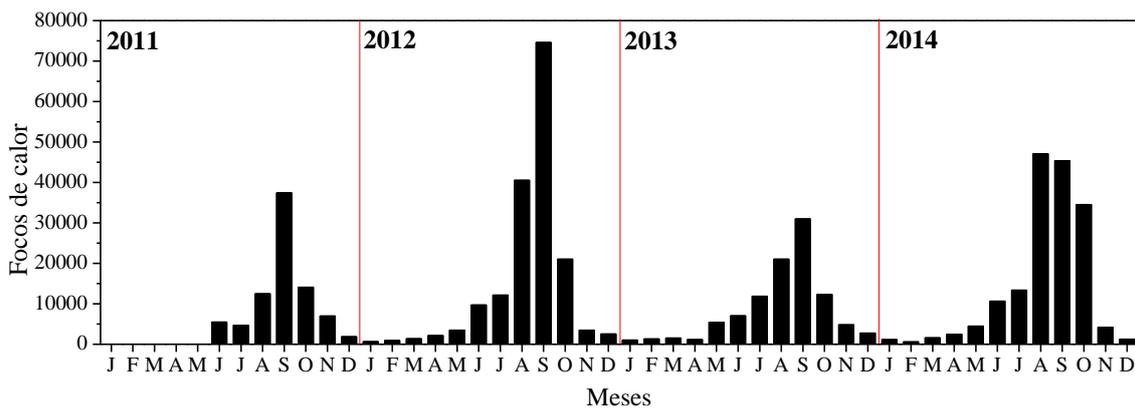


Figura 4. Número de focos de calor por ano no estado de Mato Grosso, dentre junho de 2011 e dezembro de 2014

Durante o período avaliado, o mês de fevereiro foi o mais chuvoso do ano, com média total de precipitação de 375,25 mm; já a estação seca pode ser verificada entre os meses de maio e setembro. Os maiores desvios observados nos meses de março e dezembro podem ser explicados por alterações nos totais mensais de precipitação nos anos de 2014 e 2013, respectivamente (Figura 5). A precipitação regional apresenta comportamento convectivo, com predominância de ocorrência no período vespertino ou noturno e com altas intensidades.

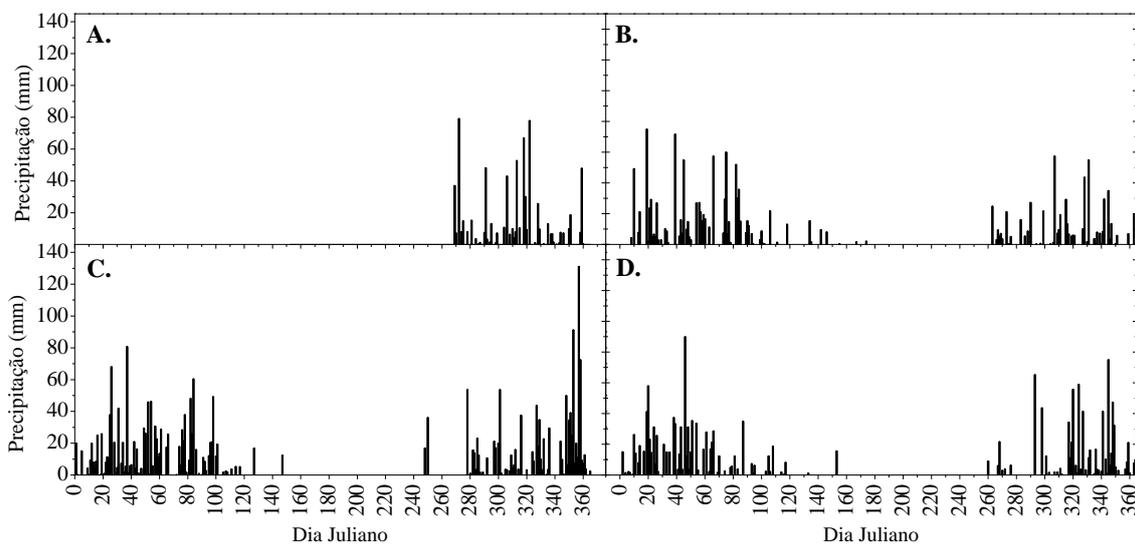


Figura 5. Precipitação diária (mm) nos anos de 2011 (A), 2012 (B), 2013 (C) e 2014 (D), na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014

Na Figura 6 são apresentadas as médias mensais diárias das radiações global (H_G) e no topo da atmosfera (H_0). A variação diária da radiação global que atinge a superfície

horizontal, obtida pela integração da partição horária pode ser observada na Figura 7. O valor médio diário observado foi de $19,26 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. A energia diária mínima ocorreu em 23/12/2013 com valor de $2,15 \text{ MJ m}^{-2}$ ($K_T = 0,05$) e a máxima em 18/12/2012 com valor de $29,83 \text{ MJ m}^{-2}$ ($K_T = 0,75$). Durante este mês (estação chuvosa), além da elevada nebulosidade na maioria dos dias, deve-se levar em conta que o fenômeno de precipitação também é responsável pela limpeza da atmosfera, carregando grande parte das partículas em suspensão para a superfície, deixando a atmosfera mais limpa (Querino et al.; 2011).

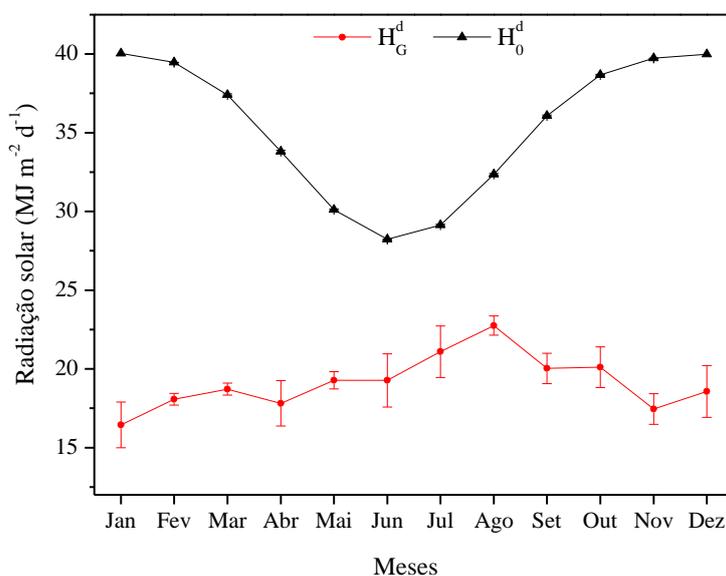


Figura 6. Médias mensais diárias das radiações global (H_G) e no topo da atmosfera (H_0), na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014

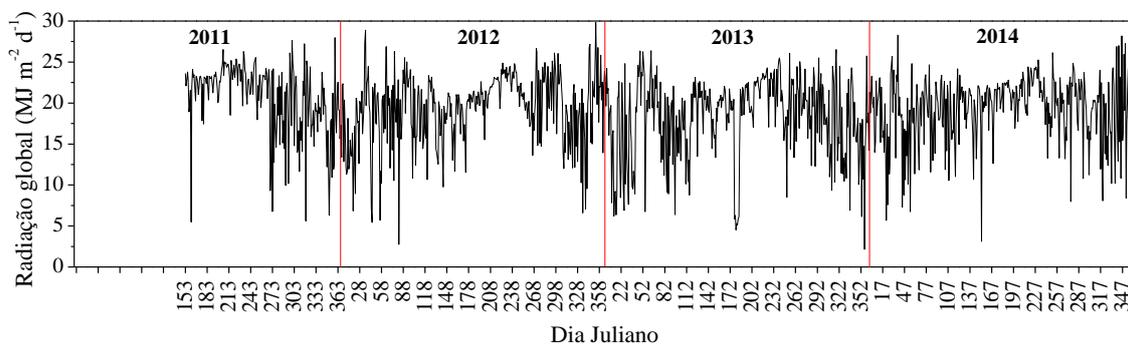


Figura 7. Valores diários da radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014

De maneira geral a radiação global apresenta maiores valores durante o período seco e menores no chuvoso. Porém, observa-se que o valor médio diário para o mês de setembro ($20,03 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), que deveria ser maior que o de outubro ($20,11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) em vista das variações astronômicas, não acompanha a curva (Figura 6); tal fato pode ser explicado pelo aumento da concentração de aerossóis na atmosfera em virtude das queimadas que costumam ser mais intensas na região durante este mês.

Na Figura 8 pode-se observar as variações das médias mensais de H_G dos diferentes anos avaliados quando comparados com a média mensal diária. O ano de 2014 possui valores mais próximos à média, apresentando desvios inferiores a 5%, com exceção do mês de janeiro. O ano de 2013 exibe maior número de desvios negativos, fato que pode ser explicado pelo maior índice pluviométrico anual (2455,40 mm) e conseqüentemente maior interferência na passagem da radiação solar global.

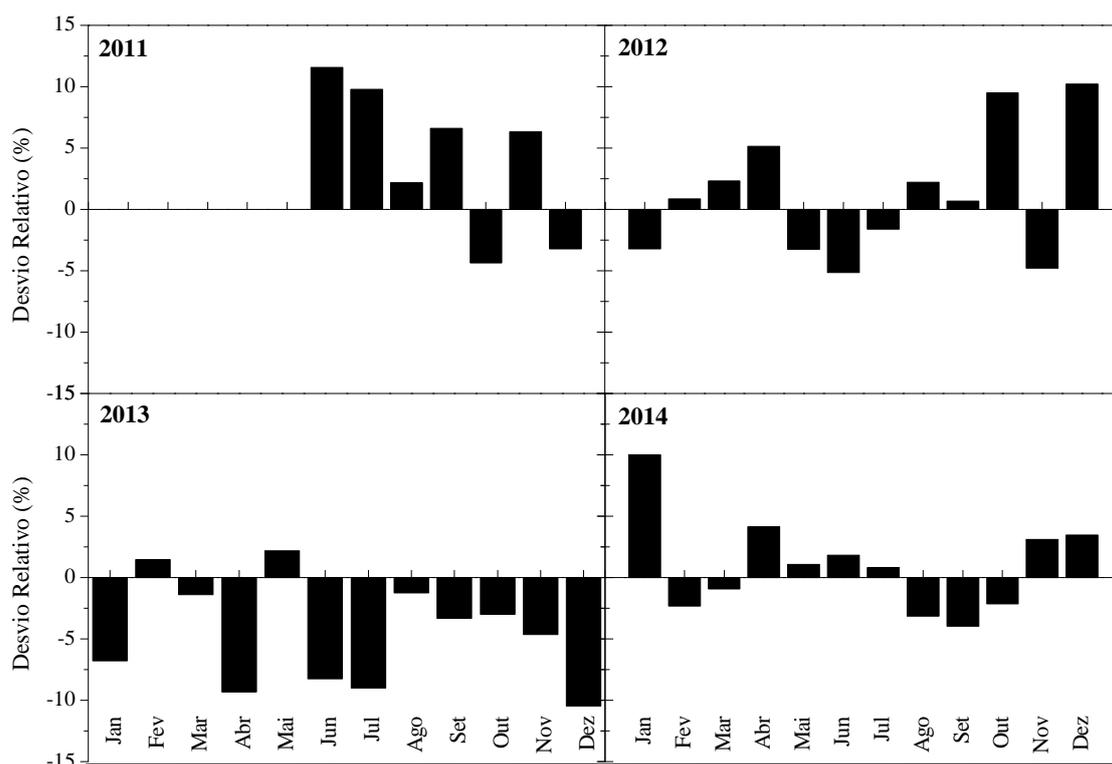


Figura 8. Desvio relativo (%) da radiação global na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014

Através da variação existente entre os valores médios mensais diários de K_T ao longo do ano (Tabela 2) é possível observar como a composição atmosférica (nuvens, vapor de água e aerossóis) interfere na transmissão da radiação global.

Durante o ano, o período de seca apresenta maiores frequências de condição de céu aberto (62,07%) e parcialmente aberto (23,45%), devido à estação ser caracterizada por baixos índices pluviométricos. Durante o período chuvoso predomina a condição de céu parcialmente difuso (51,47%).

O mês de janeiro (período chuvoso) apresentou a maior frequência de dias com cobertura de céu I (36,56%) e agosto (período seco) a menor (0%), assim como ocorre no município de Botucatu-SP (Teramoto & Escobedo, 2012). O oposto é observado para a cobertura de céu aberto (IV), predominante em julho (87,10%), para a qual a frequência é maior durante o período seco do ano devido à predominância de condições atmosféricas de baixa nebulosidade e concentração de vapor de água.

Tabela 2. Frequências das condições de céu em Sinop-MT ao longo do ano (02/06/2011 – 31/12/2014) de acordo com classificação proposta por Escobedo et al. (2009)

Mês	Condição de céu			
	I (nublado)	II (parcialmente difuso)	III (parcialmente aberto)	IV (aberto)
Janeiro	36,56	50,54	12,90	0,00
Fevereiro	22,41	50,49	21,22	5,87
Março	11,83	52,69	27,96	7,53
Abril	10,00	44,44	31,11	14,44
Mai	1,08	13,98	29,03	55,91
Junho	5,03	5,00	12,56	77,41
Julho	2,42	1,61	8,87	87,10
Agosto	0,00	2,42	20,97	76,61
Setembro	3,33	24,17	36,67	35,83
Outubro	6,45	45,97	41,13	6,45
Novembro	25,00	58,33	15,00	1,67
Dezembro	15,48	57,80	19,44	7,28

Em relação à cobertura de céu II, os maiores valores de frequência foram observados durante os meses chuvosos, similar à variação da cobertura de céu I. Para a cobertura de céu III, os valores de frequência variaram de 41,13% em outubro a 8,87% em julho. Em geral, durante o período estudado, o município apresentou 35,06% dos dias com céu parcialmente difuso. As frequências médias anuais observadas para esta cobertura de céu foram de 29,59; 31,75 e 30,97% para os anos de 2012, 2013 e 2014, respectivamente.

A radiação difusa apresenta características isotrópicas e anisotrópicas decorrentes do espalhamento atmosférico (espalhamentos Rayleigh e Mie). O espalhamento (difusão) pode ocorrer em todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético e ser

classificado em função do tamanho das partículas em relação ao comprimento de onda da radiação incidente: seletivo ou isotrópico (espalhamento Rayleigh, quando realizado por partículas com diâmetro inferiores a 10% do tamanho do comprimento de onda incidente) e não seletivo ou anisotrópico (espalhamento Mie, realizado por partículas com tamanho semelhante ao comprimento de onda incidente) (Chwieduk, 2009; Posadillo & Luque, 2009).

A Figura 9 exhibe o comportamento médio mensal do fator de correção (F_c) para a latitude de Sinop-MT. Os pontos máximos de 1,199 são observados nos dias 21 de fevereiro e 17 de outubro (estação chuvosa) e o mínimo de 1,086 no dia 20 de junho (seca).

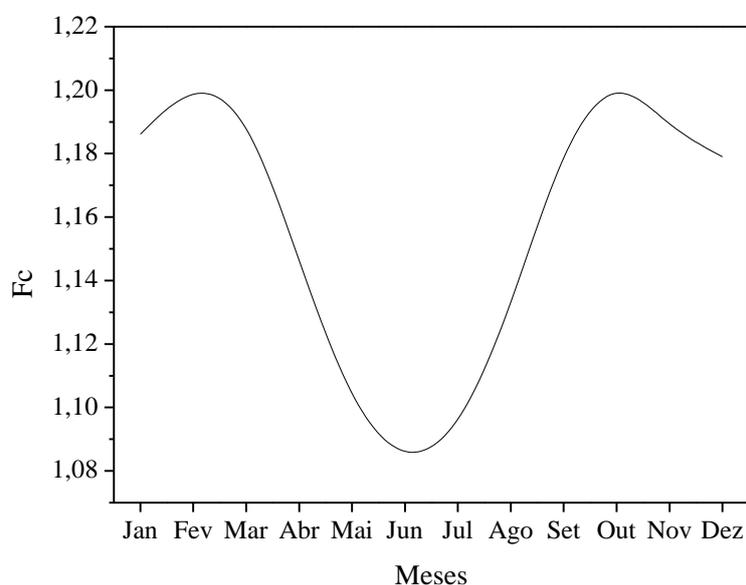


Figura 9. Comportamento médio mensal do fator de correção (F_c) para a região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014

Em estudo realizado por Recieri et al. (2002) no município de Cascavel-PR (latitude $-24,88^\circ$, longitude $-43,38^\circ$), verificaram-se pontos máximos nos meses de março e setembro, e um mínimo em junho. Já Oliveira et al. (2002a), em estudos com três tipos de fator de correção no município de Botucatu-SP (latitude $-22,90^\circ$, longitude $-48,45^\circ$), verificaram que o F_c varia de um máximo de 1,24 no verão (19 dias do ano e 328) para um mínimo de 1,05 no solstício de inverno (dia do ano 173). Da mesma forma, Robinson & Stoch (1964), utilizando outro modelo de anel de sombreamento, encontraram dois valores máximos de 1,19 durante o verão (dias do ano 30 e 317) e um mínimo de 1,10 no solstício de inverno, para latitudes acima de 65° .

De acordo com Oliveira et al. (2002a), este comportamento está relacionado à evolução anual da distância sensor-anel. Nos estudos realizados em Botucatu-SP a relação distância sensor-anel e raio variam a partir de 0,92 no verão a 1,33 no inverno. Já para a região de Sinop-MT encontrou-se uma variação entre 0,98 no verão a 1,20 no inverno (Figura 10A). Essa discrepância se deve a diferenças no raio e largura dos anéis, assim como na latitude dos locais.

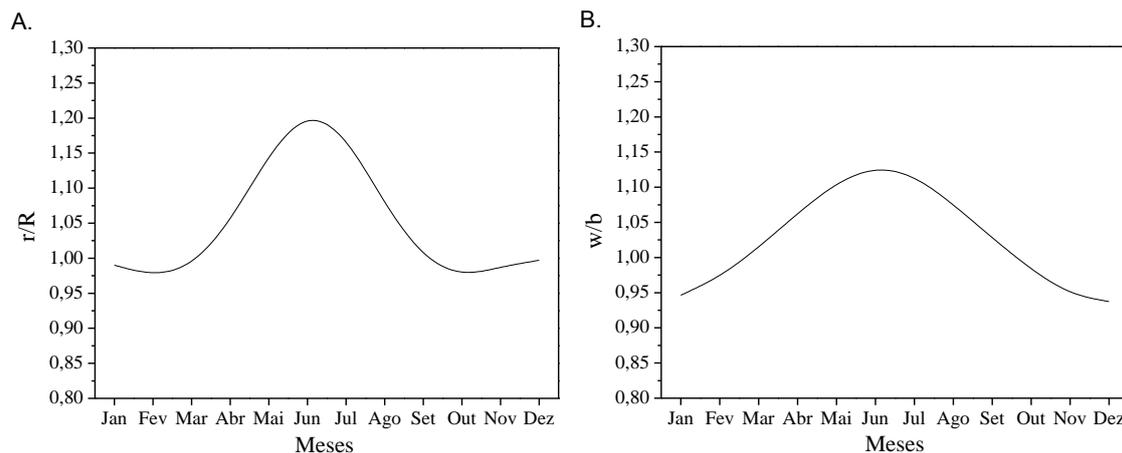


Figura 10. Relação distância sensor-anel e raio do anel de sombreamento (A) e relação entre largura da sombra e largura do anel (B) de sombreamento MEO instalado em Sinop-MT

A componente difusa apresenta variações ao longo do ano (Figuras 11 e 12), similares ao comportamento da radiação no topo da atmosfera, visto que a correção geométrica aplicada é em função do ângulo zenital. A evolução anual é dependente das condições climáticas, com maior destaque para nebulosidade e precipitação pluviométrica.

Os maiores valores da radiação difusa podem ser observados durante o período de outubro a abril, correspondente à estação chuvosa na região estudada, devido à maior concentração de nuvens. Sendo que os valores mais altos são verificados no mês de janeiro, atingindo, em média, 41,90% da radiação global, enquanto os menores índices são observados em julho, totalizando até 17,79% da radiação total incidente na superfície terrestre.

Tais resultados revelam comportamento semelhante aos estudos realizados nos municípios de Botucatu e Cascavel (Inácio, 2009; Drechmer & Ricieri, 2006), o que

comprova que os invernos no hemisfério sul são caracterizados por dias de céu claro, enquanto os verões são marcados por dias nublados.

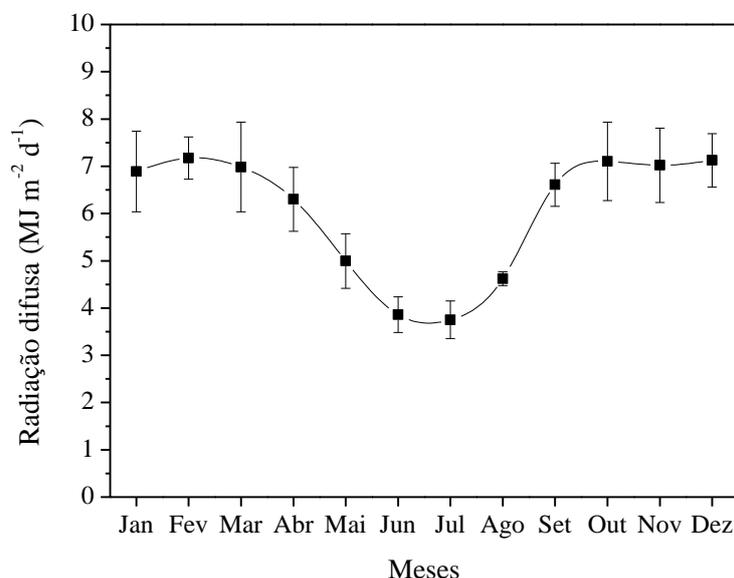


Figura 11. Valores médios diários mensais da radiação solar difusa ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014

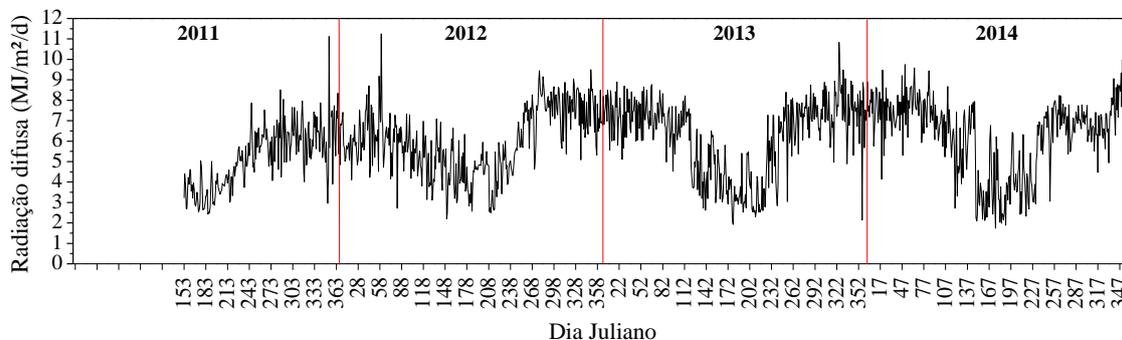


Figura 12. Valores diários da radiação solar difusa ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) na região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 a 31/12/2014

Os desvios médios mensais da radiação difusa variam de 0,15 no mês de agosto a 0,95 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, no mês de março, sendo que os maiores valores são encontrados para o período chuvoso. Há tendência para ocorrência de picos no início do período das chuvas.

As evoluções anuais de K_d e K_d' são apresentadas nas Figuras 13 e 14. Ocorrem alterações nos valores de K_d e K_d' ao longo do ano conforme as variações astronômicas

e na composição da atmosfera. Em geral, os maiores valores de K_d e K_d' são observados no período chuvoso ou de transição, variando de 0,32 (março/12) a 0,54 (janeiro/13) para K_d , e de 0,12 (janeiro/12) a 0,18 (novembro/13) para K_d' . Os menores valores das frações radiométricas encontram-se dentre os meses de maio a agosto, com valores entre 0,16 (julho/11) e 0,31 (maio/14) para K_d , e 0,10 (julho/13) a 0,15 (maio/14) para K_d' .

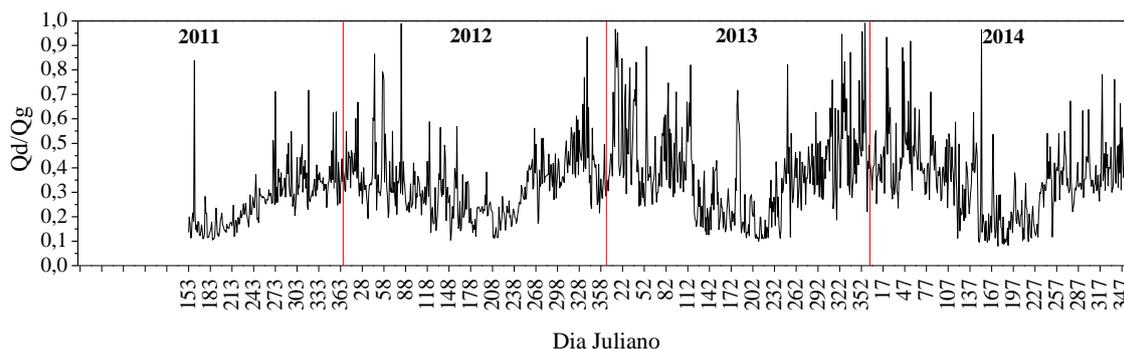


Figura 13. Evolução anual da fração K_d (razão entre radiação difusa e radiação global) no município de Sinop-MT, entre 02/06/2011 e 31/12/2014

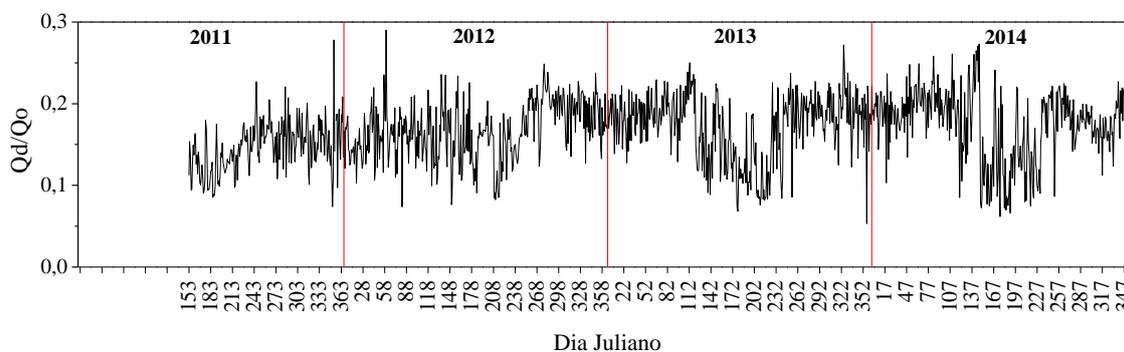


Figura 14. Evolução anual da fração K_d' (razão entre radiação difusa e radiação incidente no topo da atmosfera) no município de Sinop-MT, entre 02/06/2011 e 31/12/2014

Na Tabela 3 encontram-se descritas as médias mensais diárias das frações radiométricas K_d e K_d' .

Dentre o período de tempo estudado, a radiação difusa representa de 8,02 a 99,12% da energia que atinge a superfície terrestre, e de 5,33 a 29,01% da energia solar incidente no topo da atmosfera.

Tabela 3. Médias mensais diárias das frações radiométricas Kd e Kd' no município de Sinop-MT, dentre 02/06/2011 e 31/12/2014

Mês	Kd				Kd'			
	2011	2012	2013	2014	2011	2012	2013	2014
Jan		0,3911	0,5417	0,4501		0,1477	0,1806	0,1876
Fev		0,4145	0,4590	0,4737		0,1691	0,1856	0,1905
Mar		0,3414	0,4193	0,3963		0,1590	0,1929	0,1890
Abr		0,3072	0,4514	0,3689		0,1643	0,2024	0,1928
Mai		0,2688	0,2429	0,3065		0,1573	0,1532	0,1881
Jun	0,1824	0,2505	0,2553	0,2156	0,1237	0,1542	0,1397	0,1295
Jul	0,1549	0,2117	0,2107	0,1760	0,1223	0,1486	0,1186	0,1253
Ago	0,2037	0,1954	0,2047	0,2230	0,1447	0,1396	0,1373	0,1474
Set	0,2977	0,3399	0,3726	0,3773	0,1655	0,1840	0,1892	0,1943
Out	0,3315	0,3749	0,3912	0,3687	0,1585	0,2090	0,1906	0,1766
Nov	0,3522	0,4727	0,5200	0,3821	0,1562	0,1897	0,1970	0,1638
Dez	0,3604	0,3895	0,4916	0,4245	0,1575	0,1841	0,1819	0,1893

CONCLUSÕES

1. A radiação solar global apresentou maiores valores durante a estação seca, comportamento inverso ao da radiação difusa.

2. Há influência direta da composição atmosférica na transmissividade da radiação solar, principalmente no que se refere a nebulosidade e concentração de aerossóis provenientes de queimadas.

3. Em geral, o município apresentou 35,06% dos dias com céu parcialmente difuso. As frequências médias anuais observadas para esta cobertura de céu foram de 29,59; 31,75 e 30,97% para os anos de 2012, 2013 e 2014, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), pelo apoio financeiro concedido com bolsa de mestrado.

LITERATURA CITADA

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711–728, 2014.
- Artaxo, P.; Oliveira, P. H.; Lara, L. L.; Pauliquevis, T. M.; Rizzo, L. V.; Pires Junior, C.; Paixão, M. A.; Longo, K. M.; Freitas, S. de; Correia, A. L. Efeitos climáticos de

- partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3a, p.168-22, 2006.
- Batlles, F. J.; Olmo, F. J.; Alados-Arboledas, L. On shadowband correction methods for diffuse irradiance measurements. *Solar Energy*, v.54, n.2, p.105-114, 1995.
- Borges, V. P.; Oliveira, A. S.; Coelho Filho, M. A.; Silva, T. S. M.; Pamponet, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.1, p.74-80, 2010.
- Chwieduk, D. A. Recommendation on modeling of solar energy incident on a building envelope. *Renewable Energy*, v.34, n.3, p.736-741, 2009.
- Codato, G.; Oliveira, A. P.; Soares, J.; Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Dal Pai, A. Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in Southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v.93, n.1, p.57-73, 2008.
- Dal Pai, A. Anisotropia da irradiância solar difusa medida pelo método de sombreamento Melo-Escobedo: fatores de correção anisotrópicos e modelos de estimativa. 2005. 87f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Unesp, Botucatu, 2005.
- Dal Pai, A.; Escobedo, J. F.; Correa, F. H. P. Numerical correction for the diffuse solar irradiance by the Melo-Escobedo shadowring measuring method. In: *Ises Solar World Congress 2011*, 2011, Kassel.
- Drechmer, P. A. de O.; Ricieri, R. P. Irradiação global, direta e difusa, para a região de Cascavel, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Technology*, v.28, n.1, p.73-77, 2006.
- Drummond, A. J. On the measurements of sky radiation. *Archiv. fur Meteorologie. Geophysik Bioklimatologie*, v.7, p.413-436, 1956.
- Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Oliveira, A. P.; Soares, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v.86, n.3, p.299-309, 2009.
- Furlan, C.; Oliveira, A. P.; Soares, J.; Codato, G.; Escobedo, J. F. The role of clouds in improving the regression model for hourly values of diffuse radiation. *Applied Energy*, London, v.92, n.2, p.240-254, 2012.
- Inácio, T. Potencial solar das radiações global, difusa e direta em Botucatu. 2009. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Monitoramento de Queimadas e Incêndios. 2014. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>>. Acesso em: 25 de novembro de 2014.
- Iqbal, M. An introduction to solar radiation. Canadá: Academic Press, 1983. 390p.
- Jacovides, C. P.; Hadjidannov, L.; Pashiards, S. On the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for Island Cyprus. *Solar Energy*, v.56, n.6, p.565-720, 1996.
- Khatib, T.; Mohamed, A.; Sopian, K. A review of solar energy modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.16, p.2864-2869, 2012.
- Lamb, H. H. Há 30 anos a terra se esfria. Os segredos do tempo. Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1975, p.37-47.
- LeBaron, B. A.; Michalsky, J. J.; Perez, R. A simple procedure for correcting shadowband data for all sky conditions. *Solar Energy*, v.44, n.5, p.249-56, 1990.
- Martins, F. R.; Pereira, E. B.; Silva, S. A. B.; Colle, S. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: resource assessment. *Energy Policy*, Surrey, v.36, n.8, p.2853-2864, 2008.
- Melo, J. M. D. Desenvolvimento de um sistema para medir simultaneamente radiações global, difusa e direta. 1994. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.
- Mercado, L. M.; Bellouin, N.; Sitch, S.; Boucher, O.; Huntingford, C.; Wild, M.; Cox, P. M. Impact of changes in diffuse radiation on the global land carbon sink. *Nature*, v.458, p.1014-1017, 2009.
- Oliveira, A. P.; Escobedo, J. F.; Machado, A. J. A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at surface. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v.19, n.5, p.698-708, 2002a.
- Oliveira, A. P.; Escobedo, J. F.; Machado, A. J.; Soares, J. Correlation models of diffuse-solar radiation applied to the city of São Paulo, Brazil. *Applied Energy*, v.71, n.01, p.59-73, 2002b.
- Oliveira, A. M. de; Mariano, G. L. Identificação de entrada de plumas de queimada e principais áreas afetadas na região Sul do Brasil. *Ciência e Natura*, v.36, n.2, p.241-249, 2014.
- Pauliquevis, T.; Artaxo, P.; Oliveira, P. H.; Paixão, M. O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. *Ciência e Cultura*, v.59, n.3, 2007.

- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L.; Rütther, R., 2006. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: INPE, 60 p.
- Piacentini, R. D.; Salum, G. M.; Fraidenraich, N.; Tiba, C. Extreme total solar irradiance due to cloud enhancement at sea level of the NE Atlantic coast of Brazil. *Renewable Energy*, v.36, n.2, p.409-412, 2011.
- Posadillo, R.; Luque, R. L. Hourly distributions of the diffuse fraction of global solar irradiation in Córdoba (Spain). *Energy Conversion and Management*, v.50, n.2, p.223-231, 2009.
- Prins, E. M.; Feltz, J. M.; Menzel, W. P.; Ward, D. E. An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America. *Journal of Geophysical Research*, v.103, D24, p.31821-31835, 1998.
- Querino, C. A. S.; Moura, M. A. L.; Querino, J. K. A. da S.; Von Radow, C.; Marques Filho, A. de O. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (Kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas-Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.2, p.204-294, 2011.
- Recieri, R. P.; Dallacort, R.; Gnoatto, E.; Souza, S. N. M.: Eficiência do método de medida da radiação solar difusa medida por sombreamento em função do tipo de cobertura do céu. An. 4. Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.
- Robinson, N.; Stoch, L. Sky radiation measurement and corrections. *Journal of Applied Meteorology*, v.3, n.1, p.179-181, 1964.
- Santos, R. B.; Souza, A. P. de; Silva, A. C.; Almeida, F. T. de; Arantes, K. R.; Siqueira, J. L. de. Planejamento da pulverização de fungicidas em função das variáveis meteorológicas na região de Sinop – MT. *Global Science and Technology*, v.6, n.1, p.72-88, 2013.
- Sette, D. M.; Tarifa, J. R. A estrutura pluvial e as paisagens no Mato Grosso – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 4, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2000.
- Souza, A. P. Radiação solar difusa horária incidente em superfícies inclinadas: fatores de correção, evolução diurna e modelos de estimativa. 2012. 146f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2012.

- Souza, A. P.; Escobedo, J. F.; Dal Pai, A.; Gomes, E. N. Annual evolution of global, direct and diffuse radiation and fractions in tilted surfaces. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.2, p.247-260, 2012.
- Souza, A. P. de; Mota, L. L. da; Zamadei, T.; Martim, C. C.; Almeida, F. T.; Paulino, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. *Nativa*, v.1, n.1, p.34-43, 2013.
- Teramoto, E. T.; Escobedo, J. F. Análise da frequência anual das condições de céu em Botucatu, São Paulo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.9, p.985-992, 2012.
- Tevini, M., 1993. UV-B radiation and ozone depletion: effects on humans, animals, plants, microorganisms and materials. Boca Raton, Lewis Publishers, 248 p.
- Thornton, P. E.; Running, S. W. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.93, n.4, p.211-228, 1999.
- Varejão Silva, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Recife: Versão Digital, 2006. 463p.
- Viana, T. S.; Ruther, R.; Martins, F. R.; Pereira, E. B. Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation. *Solar Energy*, v.85, n.3, p.486-495, 2011.
- Weiss, A.; Hays, C. J.; Hu, Q.; Easterling, W. E. Incorporating bias error in calculating solar irradiance: implications for crop simulations. *Agronomy Journal*, v.93, n.6, p.1321-1326, 2001.

Estimativas da radiação difusa diária baseadas na transmissividade atmosférica e insolação na transição Cerrado-Amazônia

Resumo: Neste estudo foram geradas e validadas equações de estimativa da componente difusa na partição diária para o município de Sinop-MT, por meio de correlações das frações radiométricas K_d e K_d' com o coeficiente de transmissividade atmosférica e a razão de insolação. Para tanto, foram utilizadas medidas de radiação solar obtidas da base de dados da Estação Meteorológica Automática do Campus Universitário da UFMT. Foram geradas equações com agrupamentos anuais, sazonais e mensais, com validações das equações anuais nos anos, nas estações e nos meses; das equações sazonais, nas estações e nos meses; e das equações mensais apenas nos meses. Utilizaram-se dois anos e meio de medidas para modelagem (junho de 2011 a dezembro de 2013) e um ano para validação (2014). Os modelos $K_d \times K_T$ apresentaram bom desempenho em praticamente todos os períodos, comportamento não exibido pela correlação $K_d \times n/N$. As equações geradas apresentaram comportamento de estimativa diferentes, com tendência a subestimar os valores da radiação difusa. Nos meses de seca, os modelos mensais e sazonais apresentaram melhor desempenho para estimativa.

Palavras-chave: índice de claridade, razão de insolação, frações radiométricas

Estimates of daily diffuse radiation based on atmospheric transmissivity and sunshine in the transition Cerrado-Amazon

Abstract: In this study were generated and validated estimating equations of the diffuse component in the daily partition for Sinop-MT through correlations of radiometric fractions K_d and K_d' with atmospheric transmissivity coefficient and the sunshine duration ratio. Thus, we used solar radiation measurements obtained from the database of the Weather Station Automatic Campus UFMT. Equations were generated with annual, seasonal and monthly groups, with the validation of annual equations in years, seasons and months; seasonal equations in the seasons and months; and monthly equations only in months. For this were used two and a half years of measures to modeling (June 2011 to December 2013) and one year for validation (2014). The $K_d \times K_T$ models showed a good performance in all periods, and the correlation $K_d \times n/N$ proved to be weaker compared to the previous one. The generated equations presented different estimation behavior, with a tendency to underestimate the values of diffuse radiation. In the dry months, monthly and seasonal models showed better performance of estimative.

Keywords: clearness index, sunshine duration ratio, radiometric fractions

INTRODUÇÃO

Os níveis da radiação solar incidente na superfície são informações mínimas requeridas em aplicações voltadas à energia solar. Para planos horizontais, a radiação global é composta pelas componentes direta e difusa, que por sua vez, quando avaliadas permitem várias aplicações na agricultura, arquitetura, climatologia, iluminação, sistemas de conversão energética, dentre outras (Bashahu, 2003; Kumar & Umanand, 2005). A maioria das estações meteorológicas brasileiras monitora apenas a radiação global em função dos custos de aquisição e operação dos sensores, portanto, modelos de estimativa são importantes por permitirem a obtenção das demais componentes da radiação solar.

De acordo com Souza et al. (2011) na estimativa da radiação solar normalmente são empregados dois tipos de modelo: estatísticos (ou de decomposição) e parametrizados. Os modelos estatísticos são representados por equações matemáticas ajustadas por meio de regressões em correlações com a razão de insolação e/ou com as frações radiométricas. Nesse caso, o emprego de frações das diferentes componentes da radiação solar, permite a minimização dos efeitos geográficos e astronômicos, visto que se consideram componentes obtidas no mesmo local, instante e intervalo de tempo. Já os modelos parametrizados carecem de informações mais detalhadas das condições atmosféricas locais, conforme a componente a ser estimada, ou então a utilização de percentuais fixos de ocorrência de cada componente da radiação solar global.

Liu & Jordan (1960) foram os precursores da utilização da correlação entre a fração difusa (K_d) e o coeficiente de transmissividade atmosférica (K_T), que indicam as razões da radiação difusa com a radiação global e da radiação global com a radiação no topo da atmosfera, respectivamente. Posteriormente, muitos trabalhos foram desenvolvidos para calibração e alteração desse modelo com diferentes dados, regiões e escalas temporais (Orgill & Hollands, 1977; Iqbal, 1979; Barbaro et al., 1981; Jain, 1990; Reindle et al., 1990; Tasdemiroglu & Sever, 1991; Oliveira et al., 2002; Jacovides et al., 2006; Muneer & Munawwar, 2006; Elminir, 2007; Elminir et al., 2007; Jiang, 2009; Ulgen & Hepbasl, 2009; Butt et al., 2010; Li et al., 2011; Boukelia et al., 2014; Kuo et al., 2014).

Tais correlações apresentam grande variabilidade em função da partição temporal escolhida, do local estudado e do tipo de ajuste. Em geral, são obtidos ajustes lineares, polinomiais (primeira a quarta ordem) e exponenciais, no entanto, a escolha dependerá do desempenho estatístico dos modelos gerados localmente (Dal Pai & Escobedo, 1999;

Dervishi & Mahdavi, 2012). Segundo Muneer & Munawwar (2006), o emprego de parâmetros meteorológicos como a razão de insolação e/ou fração de nuvens presentes na atmosfera podem melhorar o desempenho de modelos de estimativa da radiação difusa.

Na avaliação de desempenho devem ser priorizados indicativos estatísticos que permitam a comparação entre valores estimados pelos modelos gerados com medidas não empregadas nas correlações. Segundo Souza et al. (2011), a utilização conjunta dos indicadores estatísticos MBE (desvio das médias), RMSE (erro médio quadrático) e índice de ajustamento (d) de Willmott (1981) permite uma alternativa adequada para validação de modelos estatísticos, pois possibilita a análise simultânea dos desvios dos valores médios, ocorrência de sub ou superestimativa, espalhamento e ajustamento entre valores estimados e medidos.

Neste trabalho objetivou-se gerar e validar equações de estimativa da radiação difusa com base no coeficiente de transmissividade atmosférica e na razão de insolação, na partição diária e em diferentes agrupamentos, na região de transição Cerrado-Amazônia - Sinop-MT.

MATERIAL E MÉTODOS

Os valores das irradiâncias solar global e difusa medidas na superfície horizontal foram obtidos da base de dados da Estação Meteorológica Automática da UFMT Campus Universitário de Sinop (latitude 11,98° S, longitude 55,56° W e altitude 371m), dentre o período de 02 de junho de 2011 a 31 de dezembro de 2014.

O clima da região segundo a classificação climática de Köppen é do tipo Aw tropical quente e úmido, caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro). As temperaturas médias mensais oscilam entre 23 °C e 25,8 °C, com valor médio anual de 24,7 °C (Souza et al., 2013).

Em relação à precipitação ocorrem em média 1900 mm ano⁻¹, com concentrações de 70% do total de chuvas entre novembro e março (verão), sendo que os meses mais chuvosos estão no intervalo de janeiro a março. Durante o primeiro trimestre do ano a precipitação chega a atingir de 45% a 55% do total anual das chuvas (Sette & Tarifa, 2000; Souza et al., 2013; Alvares et al., 2014).

Os dados de radiação difusa instantânea foram submetidos a correções geométricas e anisotrópicas através da aplicação de fatores de correção propostos por Oliveira et al.

(2002) e Dal Pai et al. (2011). As frações radiométricas K_d e K_d' representam a parcela da radiação global incidente na superfície terrestre como radiação difusa, calculadas pela razão entre a radiação difusa e a radiação global, e a difusa pela radiação no topo da atmosfera, respectivamente.

Foram avaliadas as correlações entre as frações radiométricas K_d e K_d' com o coeficiente de transmissividade global diário - K_T e a razão de insolação - n/N (calculada com base na duração do brilho solar observado e duração astronômica do dia.) Foram geradas equações para agrupamentos de dados mensais, sazonais e anuais, com suas respectivas validações, e ainda, com validações de equações anuais nas bases sazonais e mensais e de equações sazonais em agrupamentos mensais. Para tanto, na geração das equações foram empregados os dados de junho de 2011 a dezembro de 2013, enquanto que para a validação foram utilizados os dados de 2014.

Na avaliação do desempenho estatístico das equações foram empregados os indicativos MBE, RMSE e índice de ajustamento “d” de Willmott (Eqs. 6 a 8). O indicativo MBE representa o desvio das médias e provê informações quanto à performance do modelo a longo prazo. Valores negativos de MBE indicam subestimativa do modelo testado, e vice-versa. Segundo Stone (1993), quanto menor o valor absoluto de MBE, melhor é a performance do modelo testado. A desvantagem deste método é que uma superestimativa cancela uma subestimativa. O RMSE é a raiz quadrada do erro quadrático médio e informa sobre o valor real do erro produzido pelo modelo. As desvantagens do RMSE são que alguns erros de grande proporção na soma podem causar acréscimos significativos nos valores de RMSE, além do que ele não diferencia superestimativa de subestimativa. Em geral, quanto menores os valores obtidos para RMSE, melhor performance dos modelos. O índice de ajustamento “d” varia de 0 a 1 e representa o quanto os valores estimados se ajustam com os valores medidos (Willmott, 1981).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)}{N} \quad (6)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (8)$$

em que: P_i - valores estimados; O_i - valores medidos; N - número de observações; $|P_i|$ - valor absoluto da diferença $P_i - \bar{O}_i$; $|O_i|$ - valor absoluto da diferença $O_i - \bar{O}_i$.

Considerando os indicativos e no intuito de analisar com maior restrição o desempenho dos modelos gerados, empregou-se o método dos valores de posição dos indicativos estatísticos (V_p), no qual atribuiu-se pesos de 1 a “n” para cada indicador estatístico em cada modelo, onde “n” corresponde ao número de modelos testados. Ao final, o melhor modelo considerado foi aquele que apresentou o menor somatório de pesos (menor V_p acumulado) (Souza et al., 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias mensais da temperatura e da umidade relativa do ar, e os totais de precipitação observados em Sinop-MT, durante os anos estudados, são expostos nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Médias mensais de precipitação acumulada, temperatura e umidade relativa para a região de Sinop-MT, entre 02/06/2011 e 31/12/2012

Mês	2011			2012		
	Precipitação (mm)	Temp. do Ar (°C)	Umidade relativa (%)	Precipitação (mm)	Temp. do Ar (°C)	Umidade relativa (%)
Jan				262,70	23,77	90,78
Fev				334,80	24,41	84,65
Mar				344,70	24,87	84,33
Abr				57,18	25,57	84,22
Mai				34,90	24,54	80,15
Jun	0,00	24,11	67,26	4,39	24,51	73,26
Jul	0,00	24,76	57,48	0,00	24,20	59,52
Ago	0,00	26,37	51,72	0,00	25,59	48,19
Set	123,60	27,83	51,98	75,40	26,99	59,24
Out	145,29	25,44	79,94	86,58	27,12	72,84
Nov	357,03	24,72	86,18	275,90	25,18	85,92
Dez	129,39	24,49	88,43	139,73	25,29	84,90

Tabela 5. Médias mensais de precipitação acumulada, temperatura e umidade relativa para a região de Sinop-MT, entre 01/01/2013 e 31/12/2014

Mês	2013			2014		
	Precipitação (mm)	Temp. do Ar (°C)	Umidade relativa (%)	Precipitação (mm)	Temp. do Ar (°C)	Umidade relativa (%)
Jan	348,65	24,78	90,15	328,08	24,38	85,98
Fev	395,70	25,05	86,40	395,25	24,75	85,44
Mar	361,00	25,72	85,15	176,50	25,27	84,26
Abr	177,18	24,86	87,21	62,00	25,40	85,02
Mai	29,48	25,30	79,63	1,25	25,16	78,15
Jun	0,00	25,65	72,16	15,75	24,61	72,02
Jul	0,00	24,61	61,90	0,00	24,80	63,45
Ago	0,00	25,35	51,08	0,00	26,38	54,08
Set	53,25	26,64	64,84	43,93	27,31	66,24
Out	251,20	25,98	78,94	129,70	27,27	69,23
Nov	249,70	24,84	85,94	278,45	25,92	82,43
Dez	589,25	24,59	88,26	345,30	25,01	85,93

Durante o período avaliado, o mês de fevereiro é o mais chuvoso do ano, com média total de precipitação de 375,25 mm; já a estação seca pode ser verificada entre os meses de maio e setembro. O mês de dezembro apresenta totais de precipitação elevados em 2013 e 2014, quando comparados aos demais anos.

Na Figura 15 pode-se observar as correlações propostas entre as frações radiométricas e K_T e n/N para o agrupamento de dados anual. Nos limites, quando K_T tende a zero, K_d tende a um, e quando K_d tende a zero, K_T tende a um. No intervalo intermediário, K_T pode assumir tendência linear, polinomial, de 2^a, 3^a ou 4^a ordem, ou mesmo uma exponencial (Recieri et al., 2002).

Para a variação da razão de insolação e conseqüentemente da cobertura de céu, ocorre um valor de transmissividade máxima para a radiação difusa que, no entanto, não ocorre em uma condição de céu completamente nublado ($n/N = 0$). Este comportamento polinomial decorre das variações da presença de vapor d'água e/ou partículas em suspensão em conjunto com a sazonalidade anual da radiação no topo da atmosfera (Souza & Escobedo, 2013).

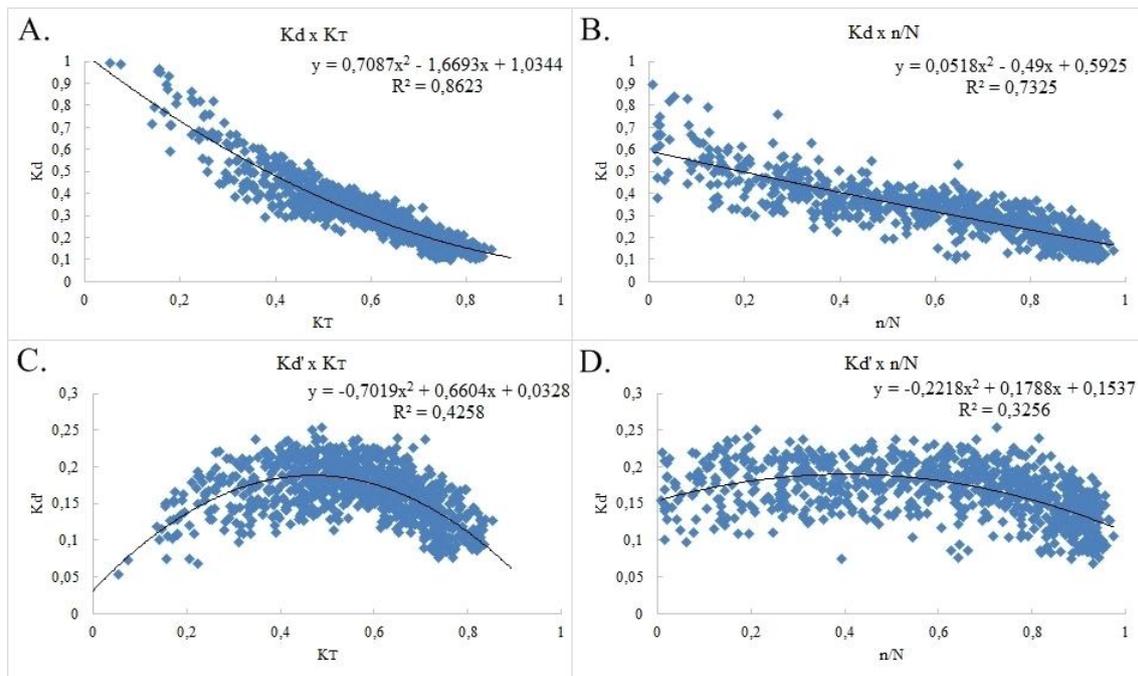


Figura 15. Correlações entre K_d e K_T (A), K_d e n/N (B), K_d' e K_T (C) e K_d' e n/N (D) para o agrupamento anual de dados, estabelecidas com os valores observados dentre 02/06/2011 e 31/12/2013 na região de Sinop-MT

Com a utilização da base de dados referente a 2 anos e meio (02/06/2011 a 31/12/2013) geraram-se equações correlacionando K_d e K_d' a K_T e n/N , ajustando-se os pontos dos gráficos a curvas polinomiais de 2ª ordem. Tal ajuste foi escolhido por ser comum na literatura para estimativa da radiação difusa (Bashahu, 2003; Dal Pai, 2005; Jiang, 2009; Koussa et al., 2009; Souza & Escobedo, 2013) e pelo fato de melhor se ajustar aos dados disponíveis. Para verificar o grau de ajustamento foram calculados os coeficientes de determinação (R^2).

A fração K_d apresentou melhor correlação com o parâmetro K_T quando comparado com n/N (Tabela 6). Os modelos $K_d \times K_T$ apresentaram bons ajustes em praticamente todos os períodos, com R^2 acima de 0,7; exceto em julho e agosto (inverno). Tais meses do período seco apresentam maiores frequências (Tabela 7) da cobertura de céu tipo IV (aberto) conforme classificação proposta por Escobedo et al. (2009), que indica que $K_T \geq 0,65$, e portanto tem-se grande intervalo de pontos da variável dependente (y) para um pequeno intervalo de K_T (0,6 a 0,8), o que resulta em um ajuste de desempenho inferior da linha de tendência aos dados. Os meses de maio e junho, apesar de também apresentarem alta frequência de céu aberto (54,84 e 86,67%, respectivamente), possuem maior número de valores dentro das classes céu nublado (I) e parcialmente difuso (II), o

que melhora o desempenho do ajuste. De acordo com o coeficiente de correlação (r) e a classificação proposta por Devore (2006), as correlações observadas são fortes, com r variando de 0,77 a 0,94.

Tabela 6. Coeficientes de regressão das equações de estimativa da radiação solar difusa na equipartição diária para a região de Sinop-MT, geradas através da correlação de K_d com K_T e n/N

Período	Kd x K_T				Kd x n/N			
	a_0	a_1	a_2	R^2	a_0	a_1	a_2	R^2
Janeiro	1,5379	-4,8944	4,9857	0,7085	0,7259	-1,6775	1,7974	0,6602
Fevereiro	1,1622	-2,2629	1,3488	0,8753	0,7030	-1,0341	0,6400	0,7141
Março	1,1218	-2,1053	1,2038	0,8620	0,7504	-1,2736	0,8631	0,7832
Abril	1,1673	-2,1783	1,229	0,7769	0,6958	-1,0073	0,6049	0,7445
Mai	0,3917	0,6883	-1,3812	0,7600	0,6452	-0,7927	0,3189	0,5644
Junho	1,1808	-2,0871	0,9913	0,8716	0,7994	-1,1521	0,5117	0,6771
Julho	1,6429	-3,3424	1,8349	0,5878	0,7346	-0,9720	0,3856	0,3087
Agosto	1,6777	-3,4293	1,8983	0,6342	-0,2355	1,6529	-1,3243	0,4053
Setembro	0,9727	-1,3893	0,4506	0,8063	0,6363	-0,6787	0,2785	0,6522
Outubro	0,7652	-0,8239	0,148	0,7258	0,5020	-0,2101	-0,0621	0,5846
Novembro	0,9233	-1,3452	0,5011	0,7361	0,6087	-0,7149	0,4222	0,4891
Dezembro	1,2226	-2,5468	1,678	0,8716	0,6504	-0,8838	0,5231	0,5229
Verão	1,1831	-2,5021	1,6965	0,8222	0,6719	-0,9761	0,6204	0,5934
Outono	1,0907	-1,7866	0,7547	0,8729	0,6163	-0,5983	0,1346	0,6968
Inverno	1,1095	-1,8056	0,7442	0,8196	0,3674	0,2406	-0,5003	0,5254
Primavera	1,0706	-1,9955	1,2098	0,7747	0,5908	-0,5654	0,2329	0,5428
Anual	1,0344	-1,6693	0,7087	0,8623	0,5925	-0,49	0,0518	0,7325

Tabela 7. Frequências das condições de céu em Sinop –MT ao longo do ano de 2014 de acordo com classificação proposta por Escobedo et al. (2009)

Mês	Condição de céu			
	I (nublado)	II (parcialmente difuso)	III (parcialmente aberto)	IV (aberto)
Janeiro	22,58	58,06	19,35	0,00
Fevereiro	25,00	57,14	14,29	3,57
Março	9,68	61,29	25,81	3,23
Abril	10,00	40,00	33,33	16,67
Mai	0,00	9,68	35,48	54,84
Junho	3,33	3,33	6,67	86,67
Julho	0,00	0,00	9,68	90,32
Agosto	0,00	3,23	38,71	58,06
Setembro	0,00	56,67	36,67	6,67
Outubro	9,68	45,16	41,94	3,23
Novembro	23,33	60,00	16,67	0,00
Dezembro	12,90	48,39	25,81	12,90

A correlação $K_d \times n/N$ mostrou-se mais fraca quando comparada com K_T , com valores mínimos e máximos de R^2 iguais a 0,31 e 0,78 e correlações de 5 a 88%. O comportamento dos meses de julho e agosto segue o mesmo padrão nesta correlação. Apesar do baixo desempenho dos modelos mensais e sazonais, a equação anual apresentou ótimo desempenho, com $R^2 = 0,73$ ($r = 0,86$).

Dal Pai (2005) afirma que a componente difusa apresenta comportamento anisotrópico e isotrópico e, normalmente, é composta pelas subcomponentes circunsolar, brilho horizontal (multirreflexões) e radiação difusa isotrópica e que, em muitos modelos de estimativa, não são contempladas, como no caso da correlação com a razão de insolação.

A fração K_d' apresentou baixa correlação com os parâmetros estabelecidos (Tabela 8), uma vez que há grande influência da composição atmosférica. O coeficiente de determinação varia de 0,02 a 0,48 e a correlação é classificada de acordo com Devore (2006) como bem fraca a moderada, conforme o período.

Tabela 8. Coeficientes de regressão das equações de estimativa da radiação solar difusa na equipartição diária para a região de Sinop-MT, geradas através da correlação de K_d' com K_T e n/N

Período	$K_d' \times K_T$				$K_d' \times n/N$			
	a0	a1	a2	R^2	a0	a1	a2	R^2
Janeiro	0,1549	-0,0828	0,2480	0,2401	0,1556	-0,0053	0,0908	0,1309
Fevereiro	0,0837	0,4404	-0,4712	0,2434	0,1701	0,0678	-0,0799	0,0458
Março	0,0419	0,6268	-0,6663	0,3404	0,1586	0,139	-0,1631	0,1085
Abril	0,0790	0,5571	-0,6335	0,2009	0,1937	0,0685	-0,1307	0,2284
Maió	-0,2185	1,6170	-1,5834	0,4400	0,1915	0,0046	-0,0772	0,193
Junho	0,0112	0,6720	-0,6795	0,4421	0,1496	0,1708	-0,2178	0,3347
Julho	0,0302	0,5239	-0,5217	0,2292	0,2117	-0,084	-0,0108	0,0821
Agosto	0,4616	-0,6553	0,2847	0,2387	-0,1308	0,8977	-0,6738	0,2165
Setembro	-0,0407	0,9894	-1,0259	0,4289	0,1569	0,1927	-0,2244	0,1811
Outubro	-0,0192	0,9318	-0,9892	0,3135	0,1629	0,0842	-0,0628	0,0458
Novembro	0,0467	0,6346	-0,6946	0,1639	0,1629	0,1198	-0,1325	0,0632
Dezembro	0,0544	0,4883	-0,4628	0,2599	0,1628	0,0656	-0,068	0,0239
Verão	0,0728	0,4368	-0,4375	0,2295	0,1584	0,0919	-0,091	0,0694
Outono	0,0663	0,5873	-0,6699	0,4754	0,1815	0,0995	-0,1715	0,3911
Inverno	-0,0073	0,7739	-0,7854	0,4440	0,152	0,2008	-0,2502	0,3074
Primavera	0,0584	0,4957	-0,4702	0,1552	0,1637	0,0928	-0,0913	0,0424
Anual	0,0328	0,6604	-0,7019	0,4258	0,1537	0,1788	-0,2218	0,3256

Pelas equações supracitadas para correlação $K_d' \times K_T$, as curvas apresentam crescimento até o ponto máximo em que $K_T = 0,53$. Dal Pai (2001) cita que os valores máximos ocorrem na cobertura de céu parcialmente nublado, o que causa um aumento do fluxo difuso em virtude do comportamento complexo dessas condições de cobertura do céu, mesclando as componentes difusa e direta da irradiação ao mesmo tempo.

Os valores médios diários observados e estimados da radiação solar difusa para cada período, de acordo com as correlações estabelecidas, podem ser observados na Figura 16. Os valores dos indicadores estatísticos das equações geradas a partir das correlações mensais, sazonais e anuais entre K_d e $K_d' \times K_T$ e n/N são apresentados nas Tabelas 9, 10, 11 e 12.

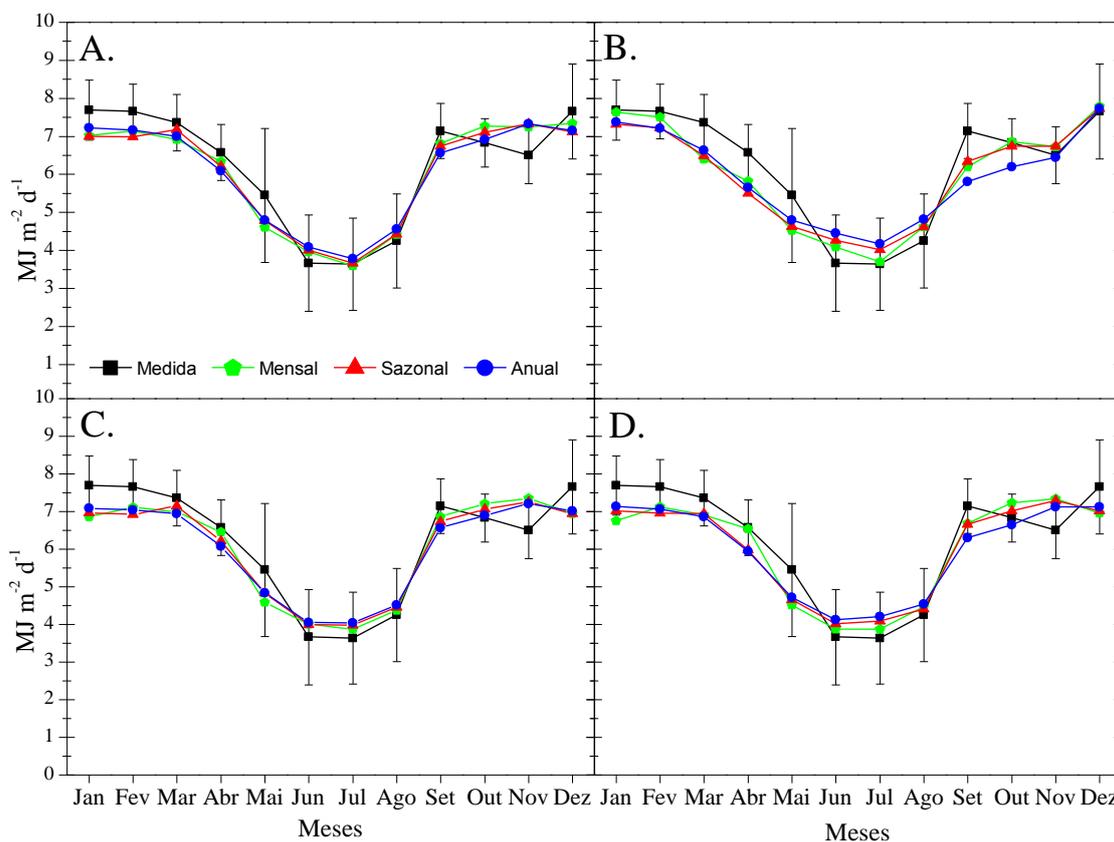


Figura 16. Valores observados e estimados da radiação difusa para a região de Sinop-MT, a partir de equações geradas através das correlações $K_d \times K_T$ (A), $K_d \times n/N$ (B), $K_d' \times K_T$ (C) e $K_d' \times n/N$ (D), para o ano de 2014

Tabela 9. Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação de K_d e K_T , na região de Sinop-MT

Período	Mensais			Sazonais			Anual		
	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d
Janeiro	-0,6679 (2)	1,7505 (3)	0,3684 (3)	-0,6977 (3)	0,8493 (2)	0,7198 (2)	-0,4778 (1)	0,6464 (1)	0,8267 (1)
Fevereiro	-0,5187 (2)	0,7664 (2)	0,6367 (2)	-0,6689 (3)	0,9443 (3)	0,5321 (3)	-0,4909 (1)	0,7445 (1)	0,6899 (1)
Março	-0,4405 (3)	0,9363 (3)	0,3299 (1)	-0,1893 (1)	0,9214 (1)	0,1857 (3)	-0,3591 (2)	0,9284 (2)	0,2913 (2)
Abril	-0,2366 (1)	0,6618 (1)	0,5981 (3)	-0,3615 (2)	0,7345 (2)	0,6469 (1)	-0,4819 (3)	0,7772 (3)	0,6282 (2)
Mai	-0,8435 (3)	1,4408 (1)	0,7321 (1)	-0,6665 (2)	1,5420 (2)	0,6176 (2)	-0,6514 (1)	1,5741 (3)	0,5841 (3)
Junho	0,9577 (3)	0,9871 (2)	0,6866 (2)	0,3397 (1)	0,9736 (1)	0,7121 (1)	0,4273 (2)	1,0509 (3)	0,6402 (3)
Julho	-0,0424 (2)	0,8661 (2)	0,7377 (3)	0,0273 (1)	0,8523 (1)	0,7464 (2)	0,1415 (3)	0,9107 (3)	0,8594 (1)
Agosto	0,1684 (1)	0,8991 (2)	0,6765 (2)	0,1743 (2)	0,8732 (1)	0,7018 (1)	0,3007 (3)	0,9516 (3)	0,6330 (3)
Setembro	-0,3339 (1)	0,7332 (1)	0,5841 (1)	-0,4083 (2)	0,8095 (2)	0,4512 (3)	-0,5825 (3)	0,8878 (3)	0,5624 (2)
Outubro	0,4206 (3)	0,8038 (3)	0,6198 (2)	0,2646 (2)	0,6287 (2)	0,6130 (3)	0,0772 (1)	0,5934 (1)	0,6800 (1)
Novembro	0,6999 (1)	0,9416 (1)	0,5130 (1)	0,8212 (2)	1,0235 (2)	0,4963 (2)	0,8213 (2)	1,1072 (3)	0,4162 (3)
Dezembro	-0,3263 (1)	1,2461 (1)	0,3691 (2)	-0,5413 (3)	1,2848 (2)	0,4480 (1)	-0,5119 (2)	1,5180 (3)	0,3572 (3)
Verão				-0,4098	0,8178 (2)	0,5483 (2)	-0,2324 (1)	0,6904 (1)	0,6692 (1)
Outono				-0,2352	1,0714 (1)	0,8175 (1)	-0,2627 (2)	1,1059 (2)	0,7930 (2)
Inverno				0,0836	0,9400 (1)	0,9152 (1)	0,1137 (2)	1,0369 (2)	0,8867 (2)
Primavera				0,1297	0,9229 (1)	0,4723 (1)	0,0015 (1)	1,1145 (2)	0,3695 (2)
Anual							-0,1543	1,0301	0,8883

*Valores entre parênteses referem-se ao Vp

Tabela 10. Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação de K_d e n/N , na região de Sinop-MT

Período	Mensais			Sazonais			Anual		
	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d
Janeiro	-0,0646 (1)	1,5620 (3)	0,5019 (3)	-0,3807 (3)	0,9408 (1)	0,7822 (1)	-0,3239 (2)	1,0158 (2)	0,7763 (2)
Fevereiro	-0,1578 (1)	1,1991 (1)	0,4969 (2)	-0,4370 (2)	1,2089 (2)	0,4966 (2)	-0,4437 (3)	1,2473 (3)	0,5545 (1)
Março	-0,9599 (3)	1,3843 (3)	0,4290 (3)	-0,8718 (2)	1,3360 (2)	0,5018 (2)	-0,7231 (1)	1,2044 (1)	0,5589 (1)
Abril	-0,7607 (1)	1,0239 (1)	0,5650 (3)	-1,0729 (3)	1,2778 (3)	0,5922 (2)	-0,9221 (2)	1,1612 (2)	0,6289 (1)
Mai	-0,9615 (3)	1,9026 (3)	0,4287 (3)	-0,8231 (2)	1,7669 (2)	0,5466 (1)	-0,6558 (1)	1,6916 (1)	0,5458 (2)
Junho	0,4484 (1)	1,1387 (1)	0,7267 (1)	0,5968 (2)	1,2663 (2)	0,6380 (3)	0,7901 (3)	1,3005 (3)	0,6516 (2)
Julho	0,0610 (1)	1,0268 (2)	0,5413 (3)	0,3724 (2)	0,9975 (1)	0,7039 (2)	0,5262 (3)	1,1367 (3)	0,8348 (1)
Agosto	0,3655 (1)	1,4675 (1)	0,3689 (1)	0,3683 (2)	1,4792 (2)	0,3651 (2)	0,5677 (3)	1,4849 (3)	0,3133 (3)
Setembro	-0,9456 (2)	1,2014 (2)	0,4789 (1)	-0,8026 (1)	1,1103 (1)	0,4552 (3)	-1,3416 (3)	1,5425 (3)	0,4666 (2)
Outubro	0,0117 (1)	0,7089 (2)	0,7251 (2)	-0,1083 (2)	0,5709 (1)	0,7814 (1)	-0,6449 (3)	0,8691 (3)	0,7062 (3)
Novembro	0,2163 (2)	0,7582 (1)	0,7575 (1)	0,2369 (3)	0,8460 (2)	0,7034 (2)	-0,0634 (1)	1,1202 (3)	0,5476 (3)
Dezembro	0,1263 (3)	2,0080 (3)	0,5862 (3)	0,0693 (1)	1,8281 (2)	0,6306 (2)	0,0695 (2)	1,6951 (1)	0,7017 (1)
Verão				-0,3238 (2)	0,9706 (1)	0,6435 (2)	-0,3098 (1)	0,9821 (2)	0,7031 (1)
Outono				-0,5391 (2)	1,2921 (2)	0,7484 (2)	-0,4157 (1)	1,2302 (1)	0,7608 (1)
Inverno				0,1574 (1)	1,4290 (1)	0,7576 (1)	0,2332 (2)	1,5157 (2)	0,6945 (2)
Primavera				-0,0097 (1)	1,1438 (1)	0,7559 (1)	-0,3330 (2)	1,3482 (2)	0,7089 (2)
Anual							-0,2865	1,3104	0,8379

*Valores entre parênteses referem-se ao Vp

Tabela 11. Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação de K_d' e K_T , na região de Sinop-MT

Período	Mensais			Sazonais			Anual		
	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d
Janeiro	-0,8379 (3)	1,1904 (3)	0,5183 (3)	-0,7287 (2)	0,8608 (2)	0,7238 (2)	-0,6061 (1)	0,7375 (1)	0,8009 (1)
Fevereiro	-0,5495 (1)	0,7985 (1)	0,6260 (2)	-0,7403 (3)	0,9652 (3)	0,5780 (3)	-0,6164 (2)	0,8566 (2)	0,6517 (1)
Março	-0,3675 (2)	0,8447 (1)	0,4085 (2)	-0,2130 (1)	0,8583 (2)	0,2606 (3)	-0,4197 (3)	0,8701 (3)	0,4207 (1)
Abril	-0,1152 (1)	0,6035 (1)	0,6864 (1)	-0,3575 (2)	0,6954 (2)	0,6578 (2)	-0,5067 (3)	0,7578 (3)	0,6469 (3)
Mai	-0,8663 (3)	1,4885 (1)	0,6778 (1)	-0,6164 (2)	1,4962 (2)	0,6285 (2)	-0,6117 (1)	1,5289 (3)	0,5978 (3)
Junho	0,3343 (2)	1,0264 (3)	0,6480 (3)	0,3293 (1)	0,9960 (1)	0,6883 (1)	0,3882 (3)	1,0112 (2)	0,6873 (2)
Julho	0,2352 (1)	0,9444 (3)	0,6418 (3)	0,3356 (2)	0,8732 (1)	0,7592 (2)	0,3949 (3)	0,9005 (2)	0,8876 (1)
Agosto	0,1203 (1)	0,9303 (3)	0,6177 (3)	0,2059 (2)	0,8582 (1)	0,7212 (1)	0,2658 (3)	0,8790 (2)	0,7115 (2)
Setembro	-0,2866 (1)	0,6936 (1)	0,5978 (1)	-0,4146 (2)	0,7942 (2)	0,4769 (3)	-0,5768 (3)	0,8617 (3)	0,5594 (2)
Outubro	0,3616 (3)	0,7057 (3)	0,6769 (2)	0,2217 (2)	0,6258 (2)	0,6314 (3)	0,0481 (1)	0,5551 (1)	0,6976 (1)
Novembro	0,8443 (3)	1,0742 (3)	0,4630 (3)	0,7419 (2)	0,9231 (1)	0,5738 (1)	0,7035 (1)	0,9407 (2)	0,5212 (2)
Dezembro	-0,7164 (3)	1,4068 (1)	0,4623 (1)	-0,7140 (2)	1,4306 (2)	0,4421 (2)	-0,6455 (1)	1,5005 (3)	0,4054 (3)
Verão				-0,4358 (2)	0,8143 (2)	0,5789 (2)	-0,3247 (1)	0,7362 (1)	0,6397 (1)
Outono				-0,2199 (1)	1,0385 (1)	0,8268 (1)	-0,2639 (2)	1,0751 (2)	0,8034 (2)
Inverno				-0,0269 (1)	0,9197 (2)	0,9064 (2)	0,0501 (2)	0,9079 (1)	0,9101 (1)
Primavera				0,0416 (1)	0,9373 (1)	0,4732 (1)	-0,0834 (2)	1,0492 (2)	0,4218 (2)
Anual							-0,1738	0,9709	0,8904

*Valores entre parênteses referem-se ao Vp

Tabela 12. Indicativos estatísticos obtidos para as equações geradas a partir da correlação de K_d' e n/N , na região de Sinop-MT

Período	Mensais			Sazonais			Anual		
	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d	MBE (MJ m ⁻²)	RMSE (MJ m ⁻²)	d
Janeiro	-0,9464 (3)	1,3433 (3)	0,4279 (3)	-0,6835 (2)	0,9602 (2)	0,5450 (2)	-0,5618 (1)	0,8201 (1)	0,6416 (1)
Fevereiro	-0,5318 (1)	0,8649 (1)	0,4853 (2)	-0,7047 (3)	0,9937 (3)	0,4759 (3)	-0,5927 (2)	0,9326 (2)	0,5346 (1)
Março	-0,4554 (2)	0,8331 (1)	0,4671 (1)	-0,4133 (1)	0,9044 (3)	0,3732 (3)	-0,4997 (3)	0,8721 (2)	0,4663 (2)
Abril	-0,0335 (1)	0,6557 (1)	0,5772 (3)	-0,6003 (2)	0,9184 (3)	0,6250 (2)	-0,6262 (3)	0,8923 (2)	0,6317 (1)
Mai	-0,9562 (3)	1,7822 (3)	0,4984 (3)	-0,7942 (2)	1,6356 (2)	0,6054 (1)	-0,7351 (1)	1,6121 (1)	0,5913 (2)
Junho	0,2303 (1)	0,9979 (1)	0,6694 (2)	0,3553 (2)	1,0180 (2)	0,6697 (1)	0,4522 (3)	1,0785 (3)	0,6313 (3)
Julho	0,2295 (1)	1,0116 (2)	0,5341 (3)	0,4520 (2)	0,9660 (1)	0,6951 (2)	0,5609 (3)	1,0443 (3)	0,8631 (1)
Agosto	0,2102 (2)	1,1574 (2)	0,4743 (1)	0,1527 (1)	1,1461 (1)	0,4465 (2)	0,2839 (3)	1,1646 (3)	0,4406 (3)
Setembro	-0,4581 (1)	0,8425 (2)	0,5901 (1)	-0,4893 (2)	0,8355 (1)	0,5123 (3)	-0,8464 (3)	1,1141 (3)	0,5445 (2)
Outubro	0,3856 (3)	0,7421 (3)	0,4885 (3)	0,1736 (1)	0,6133 (1)	0,5419 (2)	-0,1914 (2)	0,6877 (2)	0,6503 (1)
Novembro	0,8324 (3)	1,1559 (2)	0,3887 (2)	0,7862 (2)	1,0666 (1)	0,4369 (1)	0,6185 (1)	1,1801 (3)	0,2879 (3)
Dezembro	-0,7020 (3)	1,3909 (3)	0,4411 (2)	-0,6432 (2)	1,3672 (2)	0,4288 (3)	-0,5443 (1)	1,2733 (1)	0,5281 (1)
Verão				-0,4157 (2)	0,8469 (2)	0,4721 (2)	-0,3360 (1)	0,7503 (1)	0,5575 (1)
Outono				-0,3856 (2)	1,1255 (2)	0,8089 (1)	-0,3695 (1)	1,1223 (1)	0,8007 (2)
Inverno				0,0115 (1)	1,0988 (1)	0,8517 (1)	0,0879 (2)	1,1349 (2)	0,8342 (2)
Primavera				0,0420 (1)	1,0023 (1)	0,3358 (2)	-0,1606 (2)	1,0923 (2)	0,3993 (1)
Anual							-0,2169	1,0500	0,8694

*Valores entre parênteses referem-se ao Vp

Através da análise do indicativo estatístico MBE, que representa o desvio das médias, pode-se afirmar que as correlações apresentaram comportamento de estimativa diferentes, com tendência a subestimar os valores da radiação difusa. Oliveira et al. (2002) constataram comportamento semelhante em estudo da correlação K_d e K_T no município de São Paulo-SP. Na correlação $K_d \times K_T$, para as equações mensais, MBE variou de -0,042 (julho) a 0,958 (junho), sendo que os menores valores são observados em meses de 2014 que apresentaram menor variação nas precipitações acumuladas quando comparada aos demais anos empregados na geração dos modelos.

Os graus de espalhamento (RMSE) obtidos na correlação $K_d \times K_T$ variam de 0,662 a 1,750 MJ m⁻² nas equações mensais; 0,818 a 1,071 MJ m⁻² nas sazonais; e 1,030 MJ m⁻² na equação anual. Na correlação $K_d \times n/N$ os valores variam entre 0,709 e 2,008 MJ m⁻² nas equações mensais; 0,971 e 1,429 MJ m⁻² nas sazonais; e 1,310 MJ m⁻² na anual. Para as correlações estabelecidas com a fração K_d' , o RMSE observado para as equações anuais foi de 0,971 (K_T) e 1,050 (n/N). Os valores se apresentam dentro dos padrões descritos na literatura para essa partição temporal (Oliveira et al., 2002; Bashahu, 2003; Escobedo et al., 2004; Dal Pai, 2005; Ulgen & Hepbasli, 2009).

Gomes & Escobedo (2002) afirmam que os valores de radiação difusa são dependentes da concentração variável de moléculas suspensas na atmosfera e de partículas (aerossóis), as quais promovem o espalhamento ou difusão das bandas do espectro da radiação, justificando assim o maior espalhamento dos pontos ao redor da reta ajustada na correlação.

As equações anuais quando validadas na base mensal apresentaram melhores valores para o índice de ajustamento “d”, em vista das elaboradas para os demais agrupamentos de dados. Os modelos anuais que correlacionam as frações radiométricas ao coeficiente de transmissividade apresentaram melhor performance quanto ao MBE, menor grau de espalhamento (RMSE) e melhor ajustamento (coeficiente “d”) em relação às correlações com a razão de insolação.

Para $K_d \times K_T$ os modelos mensais apresentaram melhor desempenho em abril, maio, setembro, novembro e dezembro; os sazonais obtiveram destaque para março, junho, julho e agosto; e o modelo anual apresentou melhor desempenho que os demais nos meses de janeiro, fevereiro e outubro. Na correlação $K_d \times n/N$ as equações mensais apresentaram melhor predição dos valores em fevereiro, abril, junho, agosto, setembro e

novembro; as sazonais em janeiro, julho e outubro; e a anual em março, abril, maio e dezembro.

Para $K_d' \times K_T$ os modelos mensais mostraram-se superiores aos demais de fevereiro a maio, e em setembro e dezembro; os sazonais de junho a agosto, e em novembro; e o anual nos meses de janeiro e outubro. Já na correlação $K_d' \times n/N$, os meses de fevereiro a abril, junho e setembro apresentaram melhores coeficientes com a validação através dos modelos mensais; julho, agosto, outubro e novembro obtiveram melhor desempenho com as equações sazonais; e o modelo anual ajustou-se melhor aos meses de janeiro, maio e dezembro.

Em termos gerais, mediante a análise dos coeficientes, pode-se afirmar que, para as correlações estudadas, os meses de seca apresentaram melhor estimativa com a utilização dos modelos mensais ou sazonais.

De acordo com Recieri et al. (2002), a correlação polinomial de quarto grau não melhora o coeficiente de determinação em relação ao de 3º grau e 2º grau, no entanto, generaliza a estimativa da radiação para vários locais, não importando as condições climáticas.

De modo geral, os modelos anuais subestimam a radiação difusa medida, e as correlações entre as frações radiométricas e o coeficiente de transmissividade (K_d e $K_d' \times K_T$) apresentam melhor desempenho para estimativa neste agrupamento.

CONCLUSÕES

1. Os modelos $K_d \times K_T$ apresentaram bom desempenho em praticamente todos os períodos, com R^2 acima de 0,7; exceto em julho e agosto. A correlação $K_d \times n/N$ mostrou-se mais fraca quando comparada com $K_d \times K_T$.

2. As correlações apresentaram comportamento de estimativa diferentes, com tendência a subestimar os valores da radiação difusa, principalmente durante o verão e o outono.

3. Os meses de seca apresentaram melhor estimativa com a utilização dos modelos mensais ou sazonais.

4. Os modelos anuais que correlacionam as frações radiométricas ao coeficiente de transmissividade apresentaram melhor performance quanto aos indicativos estatísticos, em comparação às correlações com a razão de insolação.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), pelo apoio financeiro concedido com bolsa de mestrado.

LITERATURA CITADA

- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711–728, 2014.
- Barbaro, S.; Cannato, G.; Coppolina, S.; Leone, C.; Sinagra, E. Diffuse solar radiation statistics for Italy. *Solar Energy*, v.26, p.429-35, 1981.
- Bashahu, M. Statistical comparison of models for estimating the monthly average daily diffuse radiation at a subtropical African site. *Solar Energy*, v.75, p.43–51, 2003.
- Boukélia, T. E.; Mecibah, M-S.; Meriche, I. E. General models for estimation of the monthly mean daily diffuse solar radiation (Case study: Algeria). *Energy Conversion and Management*, v.81, p.211–219, 2014.
- Butt, N.; New, M.; Malhi, Y.; Costa, A. C. L. da; Oliveira, P.; Silva-Espejo, J. E. Diffuse radiation and cloud fraction relationships in two contrasting Amazonian rainforest sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.150, p.361–368, 2010.
- Dal Pai, A. Radiação solar difusa instantânea: avaliação dos fatores de correção anisotrópicos e modelos de estimativa. 2001. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- Dal Pai, A. Anisotropia da irradiância solar difusa medida pelo método de sombreamento Melo-Escobedo: fatores de correção anisotrópicos e modelos de estimativa. 2005. 87f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2005.
- Dal Pai, A.; Escobedo, J. F. Modelo de estimativa da radiação solar difusa instantânea. In: *Simpósio em Energia na Agricultura*, 1., 1999, Botucatu. *Anais... Botucatu: UNESP*, 1999. v.2, p.312-17.
- Dal Pai, A.; Escobedo, J. F.; Correa, F. H. P. Numerical correction for the diffuse solar irradiance by the Melo-Escobedo shadowring measuring method. In: *Ises Solar World Congress 2011*, 2011, Kassel.

- Dervishi, S.; Mahdavi, A. Computing diffuse fraction of global horizontal solar radiation: A model comparison. *Solar Energy*, v.86, p.1796-1802, 2012.
- Devore, J. L. *Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências*. São Paulo, SP: Thomson Pioneira, 2006. 706p.
- Elminir, H. K. Experimental and theoretical investigation of diffuse solar radiation: data and models quality tested for Egyptian sites. *Energy*, v.32, p.73-82, 2007.
- Elminir, H. K.; Azzam, Y. A.; Younes, F. I. Prediction of hourly and daily diffuse fraction using neural network, as compared to linear regression models. *Energy*, v.32, p.1513-23, 2007.
- Escobedo, J. F.; Dal Pai, A.; Oliveira, A. P.; Soares, J. Radiações global, direta e difusa: ii – modelos de estimativa diários. In: Reunión Argentina, 10, y Latinoamericana de agrometeorología, 4, 2004, Mar del Plata. *Anais... Mar del Plata: AADA*, 2004.
- Escobedo, J. F.; Gomes, E. N.; Oliveira, A. P.; Soares, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v.86, n.3, p.299-309, 2009.
- Gomes, E. N.; Escobedo, J. F. Modelos de estimativa da radiação fotossinteticamente ativa global e difusa em função da radiação de ondas curtas e do índice de claridade (K_T). *Irriga*, v.7, n.2, p.122-129, 2002.
- Iqbal, M. Correlation of average diffuse and beam radiation with hours of bright sunshine. *Solar Energy*, v.23, n.2, p.169-73, 1979.
- Jacovides, C. P.; Tymvious, F. S.; Assimakopoulos, V. D.; Kaltsounides, N. A. Comparative study of various correlations in estimating hourly diffuse fraction of global solar radiation. *Renewable Energy*, v.31, p.2492-504, 2006.
- Jain, P. C. A model for diffuse and global irradiation on horizontal surfaces. *Solar Energy*, v.45, p.301-8, 1990.
- Jiang, Y. Estimation of monthly mean daily diffuse radiation in China. *Applied Energy*, v.86, p.1458-64, 2009.
- Kumar, R.; Umanand, L. Estimation of global radiation using clearness index model for sizing photovoltaic system. *Renewable Energy*, v.30, n.15, p.2221-33, 2005.
- Koussa, M.; Malek, A.; Haddadi, M. Statistical comparison of monthly mean hourly and daily diffuse and global solar irradiation models and a Simulink program development for various Algerian climates. *Energy Conversion and Management*, v.50, n.5, p.1227-1235, 2009.

- Kuo, C-W.; Chang, W-C.; Chang, K-C. Distribution of solar diffuse fraction in Taiwan. *Energy Procedia*, v.57, p.1120-1129, 2014.
- Li, H.; Ma, W.; Wang, X.; Lian, Y. Estimating monthly average daily diffuse solar radiation with multiple predictors: A case study. *Renewable Energy*, v.36, p.1944-1948, 2011.
- Liu, R. Y. H.; Jordan, R. C. The interrelationship and characteristics distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, v.4, n.3, p.1–19, 1960.
- Muneer, T., Munawwar, S. Potential for improvement in estimation of solar diffuse radiation. *Energy Conversion and Management*, v.47, p.68–86, 2006.
- Oliveira, A. P., Escobedo, J. F., Machado, A. J., Soares, J. Correlation models of diffuse solar radiation applied to the city of Sao Paulo, Brazil. *Applied Energy*, v.71, n.1, p.59-73, 2002.
- Orgill, J. F.; Hollands, K. G. T. Correlations equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. *Solar Energy*, v.19, p.357-9, 1977.
- Recieri, R. P.; Koehler, K.; Koehler, A. C.; Souza, S. N. M. de. Modelos de estimativa da radiação difusa diária em Cascavel. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., 2002, Campinas. Anais... Campinas: AGRENER, 2002.
- Reindle, D. T., Beckman, W. A., Diffie, J. A. Diffuse fraction correlations. *Solar Energy*, v.45, p.1-7, 1990.
- Sette, D. M.; Tarifa, J. R. A estrutura pluvial e as paisagens no Mato Grosso – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 4, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2000.
- Souza, A. P. de; Escobedo, J. F.; Dal Pai, A.; Gomes, E. N. Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.3, p.277–288, 2011.
- Souza, A. P. de; Escobedo, J. F. Estimativas das radiações direta e difusa em superfícies inclinadas com base na razão de insolação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.3, p.492-502, 2013.
- Souza, A. P. de; Mota, L. L. da; Zamadei, T.; Martim, C. C.; Almeida, F. T.; Paulino, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. *Nativa*, v.1, n.1, p.34-43, 2013.

- Souza, A. P. de; Silva, A. C.; Mallmann, F. F.; Demartini, W. F. B.; Tanaka, A. A.; Souza, M. E. Estimates of leaf area of *Curcubita moschata* Duch based on linear measures and degree-days in planting of winter in the central-western region of Brazil. *American Journal of Experimental Agriculture*, v.5, n.6, p.562-572, 2015.
- Stone, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. *Solar Energy*, v.51, n.4, p.289-291, 1993.
- Tasdemiroglu, E.; Sever, R. Estimation of monthly average daily, horizontal diffuse radiation in Turkey. *Energy*, v.16, n.4, p.787-90, 1991.
- Ulgen, K.; Hepbasli, A. Diffuse solar radiation estimation models for Turkey's big cities. *Energy Conversion and Management*, v.50, p.149-56, 2009.
- Willmott, C. J. On the validation of models. *Physical Geography*, v.2, n.2, p.184-194, 1981.

CONCLUSÕES GERAIS

Há influência direta da composição atmosférica na transmissividade da radiação solar, principalmente no que se refere a nebulosidade e concentração de aerossóis provenientes de queimadas. Na região de transição Cerrado-Amazônia a radiação solar global apresenta maiores valores durante a estação seca, comportamento inverso ao da radiação difusa.

Os valores mais altos da radiação difusa são verificados no mês de janeiro, enquanto os menores são observados em julho. Há tendência para ocorrência de picos no início do período das chuvas.

Durante o ano, o período de seca apresenta maiores frequências de condição de céu aberto (62,07%) e parcialmente aberto (23,45%), já durante a estação chuvosa há predominância da condição de céu parcialmente difuso (51,47%). Em geral, o município apresentou 35,06% dos dias com céu parcialmente difuso. As frequências médias anuais observadas para esta cobertura de céu foram de 29,59; 31,75 e 30,97% para os anos de 2012, 2013 e 2014, respectivamente.

Com relação à modelagem e validação das equações, as correlações apresentaram comportamento de estimativa diferentes, com tendência a subestimar os valores da radiação difusa diária, principalmente durante o verão e o outono.

Os modelos correlacionando a fração radiométrica K_d a K_T e n/N apresentaram melhor ajuste em relação à K_d , uma vez que há menor influência da composição atmosférica. Os meses de seca apresentaram melhor estimativa com a utilização dos modelos mensais ou sazonais. Quanto aos indicativos estatísticos, os valores observados apresentaram-se dentro dos padrões descritos na literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATLLES, F. J.; OLMO, F. J.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. On shadowband correction methods for diffuse irradiance measurements. **Solar Energy**, Kidlington, v. 54, n. 2, p.105-114, 1995.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 74-80, 2010.

CODATO, G.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J.; ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; DAL PAI, A. Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 93, n. 1, p. 57-73, 2008.

DAL PAI, A. **Anisotropia da irradiância solar difusa medida pelo método de sombreamento Melo-Escobedo: fatores de correção anisotrópicos e modelos de estimativa**. 2005. 87f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2005.

DAL PAI, A.; ESCOBEDO, J. F. Desempenho mensal das correções geométricas sobre os valores da irradiância solar difusa medidos pelo anel de sombreamento MEO em diferentes coberturas de céu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 4., CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DA ISES, 5., 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2012.

DAL PAI, A.; ESCOBEDO, J. F.; MARTINS, D.; TERAMOTO, E. T. Analysis of hourly global, direct and diffuse solar radiations attenuation as a function of optical air mass. **Energy Procedia**, v. 57, p. 1060-1069, 2014.

DRECHMER, P. A. de O. **Comportamento e correção da radiação solar difusa obtida com o anel de sombreamento**. 2005. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.

DRUMMOND, A. J. On the measurements of sky radiation. **Archiv. fur Meteorologie. Geophysik Bioklimatologie**, v. 7, p. 413-436, 1956.

EPPLEY LABORATORY, Inc. **Instructions for installation and operation of diffuse sky radiation**. Newport, p. 1-6, 1964.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, London, v. 86, n. 3, p. 299-309, 2009.

FURLAN, C.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J.; CODATO, G.; ESCOBEDO, J. F. The role of clouds in improving the regression model for hourly values of diffuse radiation. **Applied Energy**, London, v. 92, n. 2, p. 240-254, 2012.

GUIMARÃES, A. P. C. **Estimativa de parâmetros da camada atmosférica para cálculo da irradiação solar incidente na superfície terrestre**. 2003. 185f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades – Sinop. 2014**. Disponível em:
<<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=510790&search=|sinop>>.
Acesso em: 01 de novembro de 2014.

INÁCIO, T. **Potencial solar das radiações global, difusa e direta em Botucatu**. 2009. 84f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Canadá: Academic Press, 1983. 390 p.

JACOVIDES, C. P.; HADJIDANNOV, L.; PASHIARDS, S. On the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for Island Cyprus. **Solar Energy**, Kidlington, v. 56, n. 06, p. 565-720, 1996.

KHATIB, T.; MOHAMED, A.; SOPIAN, K. A review of solar energy modeling techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Malaysia, v. 16, p. 2864-2869, 2012.

LEBARON, B. A.; MICHALSKY, J. J.; PEREZ, R. A simple procedure for correcting shadowband data for all sky conditions. **Solar Energy**, Kidlington, v. 44, n. 05, p. 249-56, 1990.

LIU, K.N., 2002: **An Introduction to Atmospheric Radiation**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002. 583 p.

MARTINS, F. R; PEREIRA, E. B.; SILVA, S. A. B.; COLLE, S. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: resource assessment. **Energy Policy**, Surrey, v. 36, n. 8, p. 2853-2864, 2008.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. **Energy Policy**, Surrey, v. 39, n. 7, p. 4378-4390, 2011.

MELO, J. M. D. **Desenvolvimento de um sistema para medir simultaneamente radiações global, difusa e direta**. 1994. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

MOURA, E. D. DE; ROMANCINI, S. R. Espacialidade das manifestações culturais na cidade: O caso de Sinop – MT. In: Colóquio do Núcleo de Estudos em Espaço e Representações, 5, 2013, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2013. ISSN 1981-6820.

OLIVEIRA, A. P.; MACHADO, A. J.; ESCOBEDO, J. F. Estudo Observacional da Radiação Solar na Cidade de São Paulo. **Anais...** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro, p. 3758-3767. CD-ROM.

OLIVEIRA, A. P.; ESCOBEDO, J. F.; MACHADO, A. J. A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at surface. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, Boston, v.19, n. 05, p. 698-708, 2002a.

OLIVEIRA, A. P., ESCOBEDO, J. F., MACHADO, A. J., SOARES, J. Correlation models of diffuse-solar radiation applied to the city of São Paulo, Brazil. **Applied Energy**, London, v. 71, n. 01, p. 59-73, 2002b.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, M. G.; CAMACHO, C. F.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, N. F. The renewable energy market in Brazil: current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 16, n. 6, p. 3786-3802, 2012.

PIACENTINI, R. D.; SALUM, G. M.; FRAIDENRAICH, N.; TIBA, C. Extreme total solar irradiance due to cloud enhancement at sea level of the NE Atlantic coast of Brazil. **Renewable Energy**, Oxford, v. 36, n. 2, p. 409-412, 2011.

ROBINSON, N.; STOCH, L. Sky radiation measurement and corrections. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 3, n. 1, p. 179-181, 1964.

SOUZA, A. P. de. **Evoluções, frações e estimativas das irradiações global, direta e difusa em superfícies inclinadas**. 2009. 146f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2009.

SOUZA, A. P. **Radiação solar difusa horária incidente em superfícies inclinadas: fatores de correção, evolução diurna e modelos de estimativa**. 2012. 146f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2012.

SOUZA, A. P.; ESCOBEDO, J. F.; DAL PAI, A.; GOMES, E. N. Annual evolution of global, direct and diffuse radiation and fractions in tilted surfaces. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 247-260, 2012.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital, 2006. 463 p.

VIANA, T. S.; RUTHER, R.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation. **Solar Energy**, Kidlington, v. 85, n. 3, p. 486-495, 2011.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 3ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. 449 p.

VICTORIA, I. M. B. **Medição da radiação solar global e difusa utilizando piranômetros com sensores fotoelétricos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

**ANEXO A – NORMAS DA REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL**

REVISTA AGRIAMBI - INSTRUÇÕES AOS AUTORES

Composição sequencial do artigo

- a) **Título:** engloba, com no máximo 15 palavras, o conteúdo e o objetivo do trabalho, incluindo-se os artigos, as preposições e as conjunções. Apenas a primeira letra da primeira palavra deve ser maiúscula; entretanto, quando o título tiver um subtítulo, ou seja, com dois pontos (:), a primeira letra da primeira palavra do subtítulo (ao lado direito dos dois pontos) deve ser maiúscula. O título não deverá ter as palavras efeito, avaliação, influência nem estudo.
- b) **Nome(s) do(s) autor(es):**
- O arquivo do artigo enviado no ato da submissão não deverá conter o(s) nome(s) do(s) autor(es) nem a identificação de sua(s) instituição(ões), porque este arquivo será disponibilizado para os consultores no sistema; entretanto, o nome(s) do(s) autor(es) será(ão) informado(s) ao sistema pelo autor correspondente quando da submissão. Antes de o autor correspondente iniciar o processo de submissão, todos os autores já deverão estar cadastrados no sistema. Torna-se necessário que o autor correspondente inclua seu nome como autor, definindo, assim, sua posição em relação aos demais autores.
 - O artigo deverá ter, no máximo, seis autores.
 - Em relação ao que consta na primeira versão do artigo submetida à Revista, não serão permitidas alterações posteriores na sequência nem nos nomes dos autores.
- c) **Resumo:** no máximo com 15 linhas e não ter abreviaturas.
- d) **Palavras-chave:** no mínimo três e no máximo cinco, não constantes no Título, separadas por vírgula e com todas as letras minúsculas.
- e) **Título em inglês:** terá a mesma normatização do título em Português.
- f) **Abstract:** no máximo com 15 linhas, devendo ser tradução fiel do Resumo. A casa decimal dos números deve ser indicada por ponto ao invés de vírgula.
- g) **Key words:** terá a mesma normatização das palavras-chave e deverá ser uma tradução fiel das palavras-chave.
- h) **Introdução:** destacar a relevância da pesquisa, inclusive através de revisão de literatura, em no máximo 2 páginas. Não devem existir, na Introdução, equações, tabelas, figuras nem texto teórico básico sobre determinado assunto mas, sim, referentes a resultados de pesquisa. O último parágrafo deve apresentar o objetivo da pesquisa.
- i) **Material e Métodos:** deve conter informações imprescindíveis que possibilitem a repetição da pesquisa, por outros pesquisadores.
- j) **Resultados e Discussão:** os resultados obtidos devem ser discutidos e interpretados à luz da literatura. Não apresentar os mesmos resultados em tabelas e figuras.
- k) **Conclusões:** devem ser numeradas e escritas de forma sucinta, isto é, sem comentários nem explicações adicionais, baseando-se apenas nos resultados apresentados. Não devem possuir abreviaturas.
- l) **Agradecimentos (facultativo)**
- m) **Literatura Citada:**
- O artigo submetido deve ter no mínimo 70% de citações de periódicos, sendo pelo menos 40% dos últimos oito anos.
 - Não serão aceitas citações bibliográficas do tipo apud ou citado por, ou seja, as citações deverão ser apenas das referências originais.
 - Citações de artigos no prelo, comunicação pessoal, folder, apostila, monografia, trabalho de conclusão de curso de graduação, relatório técnico e trabalhos em congressos, não são aceitos na elaboração dos artigos. Os trabalhos em congressos serão aceitos apenas quando inexisterem publicações em periódicos sobre o tema em questão.

- Em determinada contextualização, citação de mais de uma referência bibliográfica deve, primeiro, atender a ordem cronológica e, depois, a ordem alfabética dos autores; já em citação de mais de uma referência bibliográfica dos mesmos autores, não se deve repetir seu nome; entretanto, os anos de publicação devem ser separados por vírgula.
- O artigo deverá ter no mínimo 15 e no máximo 30 referências bibliográficas. Para a contribuição na modalidade de revisão de literatura não existe limite máximo de referências bibliográficas.

Para os artigos escritos em Inglês, título, resumo e palavras-chave deverão, também, constar em Português e, para os artigos em Espanhol, em Inglês vindo, em ambos os casos, primeiro no idioma principal.

Os artigos subdivididos em partes I, II etc, devem ser submetidos juntos, pois serão encaminhados aos mesmos consultores.

A contribuição na forma de Revisão de Literatura deverá ter a seguinte composição sequencial: título, Resumo, Palavras-chave, Título em inglês, Abstract, Key words, Introdução, Itens sobre temas da revisão, Conclusões, Literatura Citada.

Edição do texto

- a) Word do Microsoft Office 2010: O artigo deverá ser editado apenas nesta versão do Word
- b) Texto: fonte Times New Roman, tamanho 12. Não deverão existir no texto palavras em negrito nem em itálico, exceto para o título, itens e subitens, que deverão ser em negrito, e os nomes científicos de espécies vegetais e animais, que deverão ser em itálico. Em equações, tabelas e figuras não deverão existir itálico nem negrito. As equações deverão ser escritas no aplicativo MS Equation. Evitar parágrafos muito longos devendo, preferencialmente, ter no máximo 60 palavras.
- c) Espaçamento: duplo entre o título, nome(s) do(s) autor(es), resumo e abstract; simples entre item e subitem e no texto, espaço 1,5.
- d) Parágrafo: 0,5 cm.
- e) Página: Papel A4, orientação retrato, margens superior e inferior de 2,54 cm e esquerda e direita de 3,00 cm, no máximo de 15 páginas, incluindo-se tabelas e figuras. As páginas e as linhas deverão ser numeradas; a numeração das linhas deverá ser contínua, isto é, dando continuidade de uma página para outra.
- f) Todos os itens em letras maiúsculas, em negrito e centralizados, exceto Resumo, Abstract, Palavras-chave e Key words, que deverão ser alinhados à esquerda e apenas a primeira letra maiúscula. Os subitens deverão ser alinhados à esquerda, em negrito e somente a primeira letra maiúscula.
- g) As grandezas devem ser expressas no SI (Sistema Internacional) e a terminologia científica deve seguir as convenções internacionais de cada área em questão.
- h) Tabelas e Figuras (gráficos, mapas, imagens, fotografias, desenhos)
 - As tabelas e figuras devem ser autoexplicativas e apresentarem largura de 9 ou 18 cm, com texto em fonte Times New Roman, tamanho 9, e ser inseridas logo abaixo do parágrafo no qual foram citadas a primeira vez. Exemplos de citações no texto: Figura 1; Tabela 1. Tabelas e figuras que possuem praticamente o mesmo título deverão ser agrupadas em uma única tabela ou figura criando-se, no entanto, um indicador de diferenciação. A letra indicadora de cada subfigura em uma figura agrupada deve ser maiúscula e com um ponto (exemplo: A.), posicionada ao lado esquerdo superior da figura. As figuras agrupadas devem ser citadas no texto, da seguinte forma: Figura 1A; Figura 1B; Figura 1C. As tabelas e figuras com 18 cm de largura ultrapassarão as margens esquerda e direita de 3 cm, sem nenhum problema.

- As tabelas não devem ter tracejado vertical e o mínimo de tracejado horizontal. Nas colunas os valores numéricos deverão ser alinhados pelo último algarismo. Exemplo do título, o qual deve ficar acima da tabela: Tabela 1. Estações do INMET selecionadas (sem ponto no final). Em tabelas que apresentam a comparação de médias, segundo análise estatística, deverá haver um espaço entre o valor numérico (média) e a letra. As unidades deverão estar entre parêntesis.
- As figuras não devem ter bordadura e suas curvas (no caso de gráficos) deverão ter espessura de 0,5 pt, podendo ser coloridas mas possuindo, sempre, marcadores de legenda diversos, porque legendas baseadas apenas em cores quando xerocadas desaparecerão. Exemplo do título, o qual deve ficar abaixo da figura: Figura 1. Perda acumulada de solo em função do tempo de aplicação da chuva simulada (sem ponto no final). Para não se tornar redundante, as figuras não devem ter dados constantes em tabelas. Se o título e a numeração dos eixos x e/ou y forem iguais em figuras agrupadas, deixar só um título centralizado e a numeração em apenas um eixo. Gráficos, diagramas (curvas em geral) devem vir em imagem vetorial. Quando se tratar de figuras bitmap (mapa de bit), a resolução mínima deve ser de 300 bpi. Os autores deverão primar pela qualidade de resolução das figuras, tendo em vista a boa compreensão sobre elas. As unidades nos eixos das figuras devem estar entre parêntesis mas sem ser separadas do título por vírgula.

Exemplos de citações no texto

- a) Quando a citação possuir apenas um autor: Zonta (2010) ou (Zonta, 2010).
- b) Quando a citação possuir dois autores: Mielniczuk & Tornquist (2010) ou (Mielniczuk & Tornquist, 2010).
- c) Quando a citação possuir mais de dois autores: Pezzopane et al. (2010) ou (Pezzopane et al., 2010).

Quando a autoria do trabalho for uma instituição/empresa, a citação deverá ser de sua sigla, em letras maiúsculas. Exemplo: EMBRAPA (2010).

Lista da Literatura Citada

As bibliografias citadas no texto deverão ser dispostas na lista em ordem alfabética, pelo último sobrenome do primeiro autor e em ordem cronológica crescente e conter os nomes de todos os autores. A seguir, são apresentados exemplos de formatação:

a) Livros

Paz, V. P. S.; Oliveira, A.; Perreira, F. A.; Gheyi, H. R. Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semiáridas. 1.ed. Cruz das Armas: UFRB, 2009. 344p.

b) Capítulo de livros

Antuniassi, U. R.; Baio, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: Vargas, L.; Roman, E. S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Cap.5, p.173-212.

c) Revistas

Silva, V. G. de F.; Andrade, A. P. de; Fernandes, P. D.; Silva, I. de F. da; Azevedo, C. A. V.; Araujo, J. S. Productive characteristics and water use efficiency in cotton plants under different irrigation strategies. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.451-457, 2010.

d) Dissertações e teses

Paixão, F. J. R. da. Doses de nitrogênio e conteúdo de água do solo no cultivo da mamoneira, variedade BRS Energia. Campina Grande: UFCG, 2010. 76p. Tese Doutorado

e) Trabalhos apresentados em congressos (Anais, Resumos, Proceedings, Disquetes, CD Roms)

Centeno, C. R. M.; Azevedo, C. A. V.; Santos, D. B. dos; Lira, V. M. de; Lima, V. L. A. de. Coeficiente de cultivo da mamona BRS energia irrigada com diferentes níveis de água salina. In: Congresso Latino-Americano e do Caribe de Engenharia Agrícola, 9, e Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 39, 2010, Vitória. Anais... Jaboticabal: SBEA, 2010. CD Rom.

No caso de CD Rom o título da publicação continuará sendo Anais, Resumos ou Proceedings mas o número de páginas será substituído pelas palavras CD Rom. Para as revistas disponibilizadas na internet não colocar nenhuma informação de endereço da página, conforme o exemplo acima (item c).

Outras informações sobre normatização de artigos

- a) Não colocar ponto no final das palavras-chave, key words e títulos de tabelas e figuras.
- b) Na descrição dos parâmetros e variáveis de uma equação deverá haver um traço separando o símbolo de sua descrição. A numeração de uma equação deverá estar entre parêntesis e alinhada à direita: exemplo: (1). As equações deverão ser citadas no texto, conforme os seguintes exemplos: Eq. 1; Eqs. 3 e 4.
- c) Todas as letras de uma sigla devem ser maiúsculas; já o nome por extenso de uma instituição deve ter maiúsculo apenas a primeira letra de cada palavra.
- d) Nos exemplos seguintes de citações no texto de valores numéricos, o formato correto é o que se encontra no lado direito da igualdade:
 10 horas = 10 h; 32 minutos = 32 min; 5 litros = 5 L; 45 mililitros = 45 mL; $1/s = L s^{-1}$; $27^{\circ}C = 27^{\circ}C$; $0,14 m^3/min/m = 0,14 m^3min^{-1} m^{-1}$; 100 g de peso/ave = 100 g de peso por ave; 2 toneladas = 2 t; 2 mm/dia = 2 mm d⁻¹; $2 \times 3 = 2 \times 3$ (deve ser separado); $45,2 - 61,5 = 45,2 - 61,5$ (deve ser junto).
- e) A % é a única unidade que deve estar junto ao número (45%). Quando no texto existirem valores numéricos seguidos, que possuem a mesma unidade, colocar a unidade somente no último valor. Exemplos: 20 m e 40 m = 20 e 40 m; 56,1%, 82,5% e 90,2% = 56,1, 82,5 e 90,2%.
- e) Quando pertinente, deixar os valores numéricos no texto, tabelas e figuras com no máximo duas casas decimais.
- f) Os títulos das bibliografias listadas devem ter apenas a primeira letra da primeira palavra maiúscula, com exceção de nomes próprios. O título de eventos deverá ter apenas a 1ª letra de cada palavra maiúscula.