

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR EM SUPERFÍCIE A PARTIR DE MODELO DE ELEVAÇÃO DIGITAL PARA ÁREAS DE PLANTIO DE ARROZ NO RIO GRANDE DO SUL

KLEBER R. P. ATAÍDE¹, WAGNER DE A. BEZERRA¹, IVANETE L. MAIA¹, MARIA G. R. OLIVEIRA²

¹ Meteorologista, Seção de Produtos de Imagens de Satélites, INMET-SEDE, Brasília-DF,
Fone: (61) 3343-2167, sepis.df@inmet.gov.br

² Geógrafa, Chefe da Seção de Produtos de Imagens de Satélites, INMET-SEDE, Brasília-DF

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 –
Aracaju - SE

RESUMO: A energia proveniente do Sol é a componente mais importante no desenvolvimento dos processos físicos que influenciam as condições de tempo e clima na Terra, logo, é fundamental para a estimativa do balanço de energia na superfície, previsão do tempo e aplicação na agricultura. O objetivo deste trabalho é utilizar uma metodologia semelhante a proposta por Bisht *et al.* (2005) para estimar a radiação solar global em superfície e sua distribuição temporal sobre grandes áreas em dias de céu claro. O estudo foi aplicado às áreas de plantio de arroz no estado do Rio Grande do Sul apresentando resultados satisfatórios uma vez que se utilizaram Modelos de Elevação Digital gerados por interpretação das imagens de satélite e equações matemáticas. A radiação solar global foi superestimada para a maioria dos horários do dia, mas apresentou em média uma precisão percentual absoluta de 91,5%. Quanto ao ciclo diurno da radiação global, os valores obtidos para os coeficientes de determinação (R^2) foram em média 0,98.

PALAVRAS-CHAVE: Radiação de onda curta, landsat, cultivo de arroz.

ABSTRACT: The Sun energy is the most important component in the development of the physical processes that influence the conditions of weather and climate in the Earth, therefore, it is fundamental for the estimate of the balance of energy in the surface, weather forecast and application in the agriculture. The objective of this work is to use a methodology proposed by Bisht *et al.* (2005) to estimate the global solar radiation in and the temporal distribution on great areas in days of clear sky. The study was applied to the to the areas of plantation of rice in the state of the Rio Grande Do Sul presenting resulted satisfactory a time that if had used Models of Digital Rise generated by interpretation of the images of satellite and mathematical equations. Global the solar radiation was overestimated for the majority of the schedules of the day, but it on average presented absolute a percentile precision of 91,5%. How much to the diurne cycle of the global radiation, the values gotten for the determination coefficients (R^2) had been on average 0,98.

KEYWORDS: Radiation of short wave, landsat, culture of rice.

INTRODUÇÃO: A energia proveniente do Sol é a componente mais importante no desenvolvimento dos processos físicos que influenciam as condições de tempo e clima na Terra, onde o saldo de radiação em superfície é um dado indispensável à estimativa da evapotranspiração e ainda é responsável pelo aquecimento do solo e do ar. A quantidade de radiação solar requerida pela cultura do arroz está associada ao estágio de crescimento da planta. Na fase reprodutiva, a radiação solar apresenta-se como um elemento climático de função essencial. Por outro lado, caso ocorra diminuição da radiação solar no estágio

vegetativo, os efeitos negativos no arroz serão mínimos. Já na fase inicial de crescimento, a cultura de arroz não será inibida pela diminuição da energia solar, exceto sob condições de excessiva nebulosidade e baixos valores de temperatura do ar. À medida que a cultura do arroz desenvolve e produz mais folhas, cria-se um microclima entre as plantas, resultando em um sombreamento. Por isso, para reduzir o efeito negativo proveniente deste fato, são necessários altos níveis de radiação solar. Obviamente, o tipo de planta e as práticas agrícolas têm influência direta na formação deste ambiente. É sabido que o incremento de matéria seca ocorre principalmente na forma de grãos, após o florescimento, dependendo também da quantidade de fotossíntese, a qual está associada à quantidade de radiação solar recebida e/ou absorvida pela cultura neste período. Para definir a época mais apropriada para o plantio, é preciso, portanto, levar em conta o período em que a cultura vai estar exposta ao máximo índice de radiação solar durante o estágio reprodutivo, ou seja, deve-se planejar a semeadura para que a época de floração coincida com os dias mais longos, quando normalmente a taxa de energia solar é bem maior. É fundamental para a estimativa do balanço de energia na superfície, previsão do tempo e aplicação na agricultura. O objetivo deste trabalho é utilizar uma metodologia proposta por Bisht *et al.* (2005) para estimar, não somente a radiação global em superfície no instante da passagem do satélite, mas também a distribuição temporal e espacial sobre grandes áreas heterogêneas em dias de céu claro.

METODOLOGIA: No Brasil, o arroz de terras altas é uma das culturas mais influenciada pelas condições climáticas. Em geral, quando as exigências da cultura são satisfeitas, obtêm-se bons níveis de produtividade. A duração do dia, definida como o intervalo entre o nascer e o pôr do sol, é conhecida como fotoperíodo. A resposta da planta ao fotoperíodo é denominada fotoperiodismo. Como o arroz de terras altas é uma planta de dias curtos, com dez horas de fotoperíodo, o seu ciclo é diminuído, antecipando a floração. O fotoperíodo ótimo é considerado o comprimento do dia no qual a duração da emergência até a floração é mínima. Entretanto, quando isso não ocorre, pode-se esperar frustrações de safras, que serão proporcionais à duração e à intensidade das condições meteorológicas adversas. Essa cultura é submetida a condições climáticas bastante distintas, pelo fato de ser semeada em praticamente todos os Estados brasileiros, em latitudes que variam de 5° Norte até 33° Sul. A radiação solar de onda curta que atinge a superfície da terra, também conhecida como radiação global, é formada por dois componentes: a radiação direta - fração da radiação global e a radiação difusa. A proporção da radiação difusa em relação à global é máxima nos instantes próximos ao nascer e ao pôr do sol e nos dias completamente nublados, quando toda a radiação global é difusa. Sombreamento durante a fase vegetativa do arroz tem pouca influência sobre o rendimento de grãos e os seus componentes. A produtividade é fortemente influenciada, contudo, quando o sombreamento ocorre durante as fases reprodutivas e de maturação, reduzindo, respectivamente, o número de espiguetas e a porcentagem de grãos obtida.

O estudo foi aplicado às áreas de plantio de arroz no Rio Grande do Sul, utilizando mapas de elevação digital com resolução espacial de 90 metros obtidos do Landsat e fornecidos pela EMBRAPA/CNPM através do site <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/rs/rs.htm> (Miranda, 2007) e os resultados foram validados com dados observados em 9 estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET localizadas nos municípios que produzem cerca de 90% da produção de arroz do estado do Rio Grande do Sul (Quadro 1) apresentando resultados satisfatórios uma vez que se utilizaram somente produtos gerados por interpretação das imagens de satélite, equações matemáticas e software de tratamento de Imagens (ENVI 4.3).

Quadro 1 – Localização das estações meteorológicas automáticas.

Estações	Latitude	Longitude
Jaguarão	-32,566	-53,376

Rio Grande	-32,035	-52,099
Rio Pardo	-29,99	-52,378
Santa Maria	-29,684	-53,807
Santana do Livramento	-30,891	-55,533
Urugaiana	-29,755	-57,088
Alegrete	-29,783	-55,792
Bagé	-31,331	-54,107
Camaquã	-30,851	-51,812

O sensoriamento remoto por satélites é uma das ferramentas mais promissoras para estimativas de vários parâmetros à superfície, tais como temperatura da superfície, albedo, saldo de radiação, evapotranspiração entre outros (Diak e Gautier, 1983; Jacobs *et al.*, 2000; Ma *et al.*, 2002), porém ainda necessitam de observações feitas em superfície para incremento nos modelos, por exemplo, o modelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) criado por Bastiaansen *et al.* (1998). A radiação de onda curta incidente $R_{s\downarrow}$ ($W.m^2$) é o fluxo de radiação solar direta e difusa que atinge a superfície terrestre, que para condição de céu claro é dada pela seguinte $R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot dr \cdot \tau_{sw}$, S é a constante solar ($1.367 W.m^2$), Z é o ângulo zenital solar, dr é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica (Bastiaansen, 1995; Morse et al., 2000; Allen et al., 2002), conforme Bisht *et al.*, 2005. O ângulo zenital solar foi obtido a partir da equação $Z = 2\pi (Dj - 1)/365$, onde Dj é o dia juliano do ano, $dr = (1/ds^2)$, onde ds é a distância Terra-sol no dia específico, dada por $ds = 1 + 0,0167 \sin [2\pi(Dj - 93,5)/365]$. A transmissividade atmosférica para condições de céu claro, pode ser computada pela equação $\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times DEM$, onde DEM é o Modelo de Elevação Digital obtido do landsat. O estudo foi aplicado para o período de maior desenvolvimento vegetativo da cultura de arroz, conforme o calendário agrícola fornecido pela CONAB/SUINF/GEASA, o qual informa que esse período é durante a 1ª quinzena de janeiro. O Tempo de duração do dia, representado por T_d , é calculado de acordo com a fórmula a seguir:

$T_d = 2/15 \arccos(-\tan \phi \times \tan \delta)$, onde T_d = Tempo de Duração, ϕ = latitude do local (para o hemisfério sul o valor é negativo) e δ = é a declinação da Terra calculada pela fórmula a seguir:

$\delta = 23.45 \times \sin(360/365 (284 + n))$, onde n é o dia seqüencial do ano (1º de janeiro é 1, 1º de fevereiro é 32, ... 31 de dezembro é 365 ou 366 em anos bissextos), nesse estudo foi considerado o oitavo dia do ano, visto que se utilizaram médias de radiação solar global dos primeiros 16 dias do ano para validação dos resultados. Para correção do efeito de refração adiantaram-se cinquenta minutos na hora do nascer do sol e somaram-se também 50 minutos na hora do ocaso do sol.

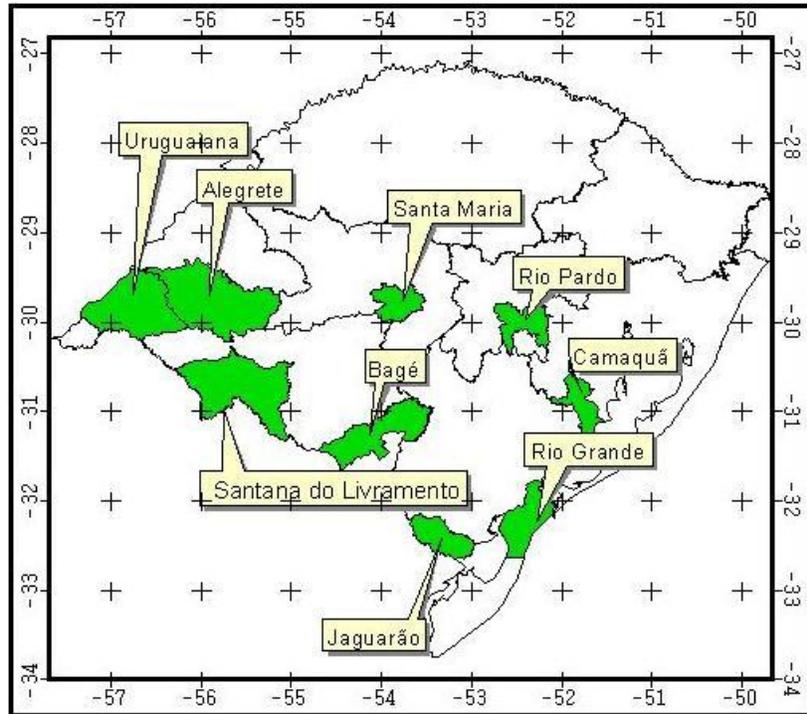


Figura 1 – Localização das estações

Mapas de Rs_{\downarrow} durante todo período diurno têm mais aplicações que uma medida instantânea, especialmente para modelos que tentam calcular a evapotranspiração (Jiang e Islam, 2001; Nishida *et al.*, 2003; Norman *et al.*, 2003). Usando uma aproximação similar com a metodologia de Lagourade e Brunet (1983), Bisht *et al.*, 2005, criou um modelo senoidal para estimar o ciclo diurno do saldo de radiação e Ataíde *et al.*, 2006 aplicou esta técnica para a radiação solar global e saldo de radiação solar em superfície para vários lugares no estado do Ceará a partir de dados dos produtos MODIS para dias de céu claro, os quais utilizaram as seguintes equações:

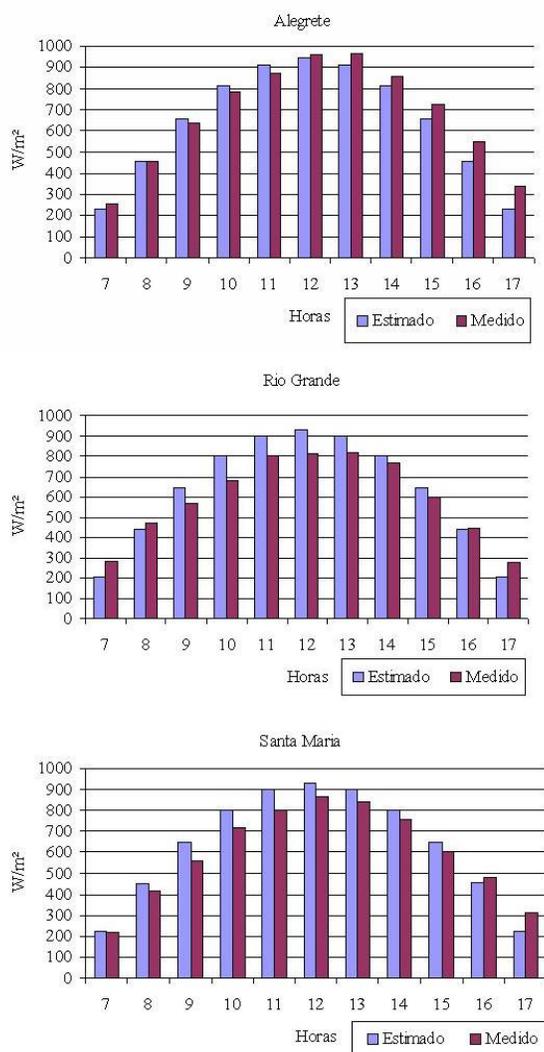
$$Rs_{\downarrow}(t) = Rs_{\downarrow \max} \sin \left[\left(\frac{t - t_{\text{nasc}}}{t_{\text{pôr}} - t_{\text{nasc}}} \right) \pi \right] \quad Rs_{\downarrow \max} = \frac{Rs_{\downarrow}}{\sin \left[\left(\frac{t_{\text{passagem}} - t_{\text{nasc}}}{t_{\text{pôr}} - t_{\text{nasc}}} \right) \pi \right]}$$

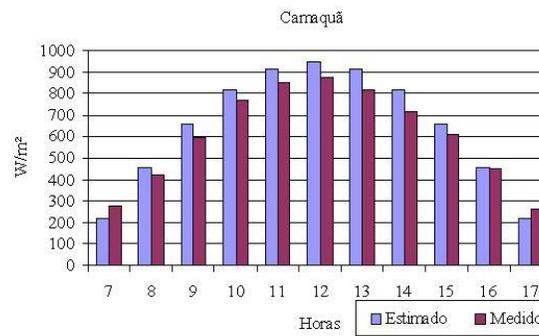
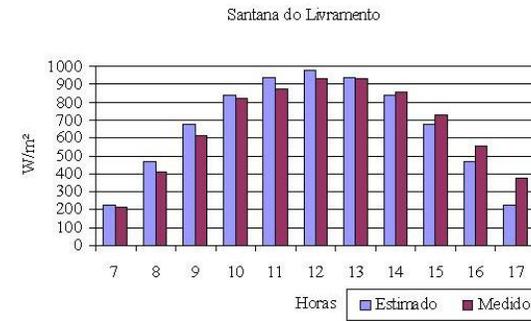
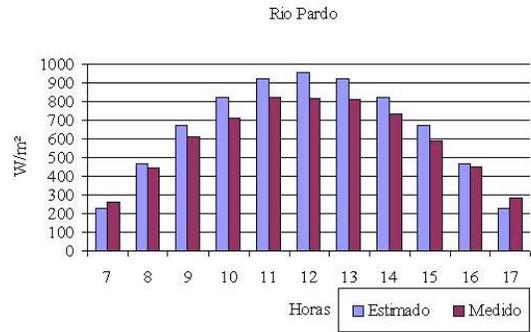
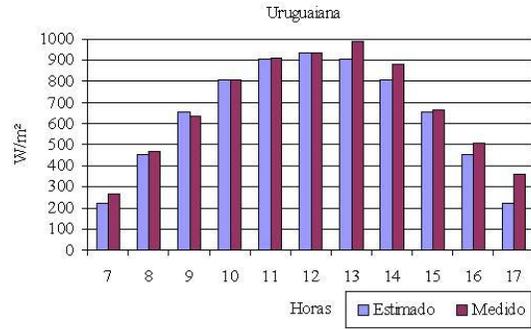
em que $Rs_{\downarrow \max}$ é o valor máximo de Rs_{\downarrow} durante o dia, e t_{nasc} e $t_{\text{pôr}}$ local no qual o Rs_{\downarrow} se torna positivo e negativo, respectivamente, t_{passagem} é a hora de passagem do satélite, visto que aplicaram esse modelo para as horas das passagens dos satélites Terra e Aqua durante o dia, que são às 10:30h e 14:30h. Nesse estudo, uma nova equação foi aplicada, baseada na equação citada anteriormente, a qual se refere ao $Rs_{\downarrow \max}$, a qual foi modificada substituindo-se a variável hora da passagem do satélite pelo valor constante de 12h, momento em que o ângulo de elevação solar atinge seu valor máximo e começa retornar para valores menores, a equação foi modificada para a seguinte forma.

$$Rs_{\downarrow \max} = \frac{Rs_{\downarrow}}{\sin \left[\left(\frac{12h - t_{\text{nasc}}}{t_{\text{pôr}} - t_{\text{nasc}}} \right) \pi \right]}$$

Para validação dos resultados, compararam-se com as médias horárias de Rs_{\downarrow} medida nas estações do estudo no período de 1 a 16 de janeiro de 2007 para que fossem reduzidas as variações devido a nebulosidade, visto que o modelo é exclusivamente para dias de céu claro.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Os valores de radiação global instantânea, obtidos por Bisht *et al.*, 2005 apresentaram valores superiores aos observados à superfície, situação semelhante à de Niemelä *et al.*, 2001, que usaram esquema de Zilman, 1972. Ao utilizar a equação proposta por Bisht *et al.*, 2005 os resultados obtidos superestimaram $R_{s\downarrow}$ para a maioria dos horários, porém, estimaram com aproximação média de 89 %. Os resultados obtidos pela equação modificada apresentaram resultados também superestimados, porém com aproximação média de 91,5%, melhor entre os horários de 7h e 17h, provavelmente devido à resolução temporal de coleta de dados, feita a cada hora, onde os gráficos obtidos podem ser visualizados na Figura 2.





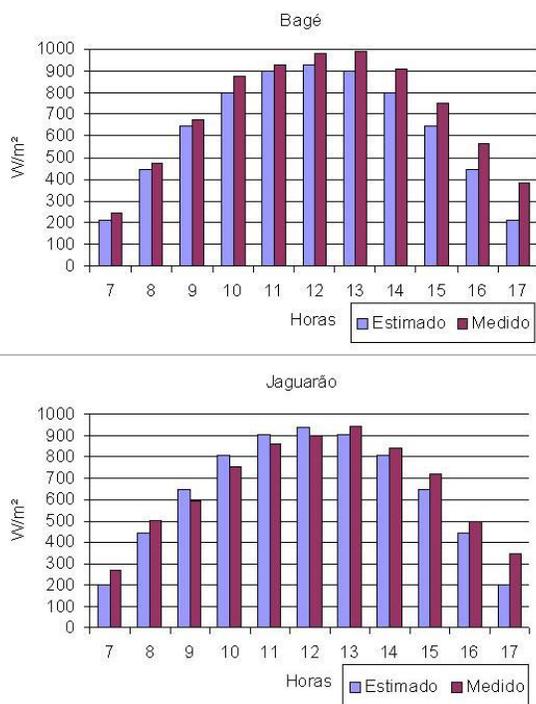


Figura 2 – Gráfico de $R_{s\downarrow}$ medido e estimado.

Tabela 1 - Porcentagem absoluta de aproximação da estimativa de $R_{s\downarrow}$

Estações \ Horas	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Rio Grande	68,7	98,8	83,7	80,7	84,7	82,5	86,5	91,4	88,5	95,9	71
Santa Maria	94,0	86,3	81,7	84,7	84,7	88,0	88,9	90,0	87,7	98,7	66
Uruguaiana	86,1	98,3	92,5	95,0	95,9	95,2	96,3	96,8	97,1	95,0	47
Alegrete	92,7	94,4	91,8	91,3	90,8	96,7	99,4	99,9	95,7	85,7	59
Rio Pardo	92,6	91,4	87,0	81,8	84,5	81,2	83,4	84,4	83,1	92,0	82
Santana Livramento	91,5	83,1	86,3	93,0	87,6	90,8	93,8	97,1	97,7	88,3	41
Camaquã	80,3	88,8	86,3	89,8	88,5	88,0	85,0	83,4	88,7	93,7	85
Bagé	88,3	97,9	99,6	96,0	98,3	100,0	95,3	92,3	89,5	79,1	27
Jaguarão	73,7	91,9	87,6	88,7	90,2	90,3	98,6	98,9	94,4	93,0	37

CONCLUSÃO: Foi possível demonstrar que a metodologia aplicada apresentou resultados satisfatórios para os ciclos diurnos da radiação solar global para as áreas de plantio de arroz no Rio Grande do Sul, onde foi possível utilizar somente produtos de imagem satélites como o Modelo de Elevação Digital e equações matemáticas. Portanto, a pesquisa demonstrou ser capaz de se tornar operacional, pois os produtos são úteis e viáveis para aplicação em áreas de produção agrícola que precisam de tais informações. A grande vantagem do método empregado é a sua simplicidade para obter valores para as outras horas do período diurno e também sua aplicabilidade para estimativas em grandes áreas heterogêneas, visto que para todas estações apresentou resultados satisfatórios. O estudo apresentado é de grande

importância para as regiões de plantio, nas quais, a água é um fator limitante para produção agrícola, onde a sua evaporação e a evapotranspiração está diretamente relacionada à energia disponível em superfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ATAIDE, K. R. P, CAVALCANTE, E. P., SILVA, B. B, DETERMINAÇÃO DO SALDO DE RADIAÇÃO E RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL ATRAVÉS DE PRODUTOS MODIS TERRA E AQUA, UFCG, DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, 2006,
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M., A REMOTE SENSING SURFACE ENERGY BALANCE ALGORITHM FOR LAND (SEBAL) 1. VALIDATION. **JOURNAL OF HYDROLOGY**, P.213-229, 1998.
- BISHT, G.; VENTURINI, V.; ISLAM, S., JIANG, LE, ESTIMATION OF THE NET RADIATION USING MODIS (MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER) DATA FOR CLEAR SKY DAYS, **REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT**, V.97, P.52-67, 2005.
- DIAK, G. R.; GAUTIER, C. IMPROVEMENTS TO A SIMPLE PHYSICAL MODEL FOR ESTIMATING INSOLATION FROM GOES DATA. **JOURNAL OF CLIMATE AND APPLIED METEOROLOGY**, V.22, 505-508, 1983.
- JACOBS, J. M.; MYERS, D. A.; ANDERSON, M. C.; DIAK, G. R. GOES SURFACE INSOLATION TO ESTIMATE WETLANDS EVAPOTRANSPIRATION. **JOURNAL OF HYDROLOGY**, V.266, P.53-65, 2000.
- LAGOUARDE, J. P.; E BRUNET, Y. A SIMPLE MODEL FOR ESTIMATING THE DAILY UPWARD LONGWAVE SURFACE RADIATION FLUX FROM NOAA-AVHRR DATA. **INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING**, V.14, N.5, P.907-925, 1983.
- JIANG, L.; ISLAM, S. ESTIMATION OF SURFACE EVAPORATION MAP OVER SOUTHERN GREAT PLAINS USING REMOTE SENSING DATA. **WATER RESOURCES RESEARCH**, V.37, N.2, P.329-340, 2001.
- MIRANDA, E. E. DE; (COORD.). BRASIL EM RELEVO. CAMPINAS: EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, 2005. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.RELEVOBR.CNPM.EMBRAPA.BR](http://www.relevo.br/cnpm/embrapa.br)>. ACESSO EM: 3 ABR. 2007.
- MA, Y.; SU, Z.; LI, Z.; KOIKE, T.; MENENTI, M. DETERMINATION OF REGIONAL NET RADIATION AND SOIL HEAT FLUX OVER A HETEROGENEOUS LANDSCAPE OF THE TIBETAN PLATEAU. **HYDROLOGICAL PROCESSES**, V.16, P.2963-2971, 2002.
- NIEMELÄ, S.; RAISANEN, P.; SAVIJARVI, H. COMPARISON OF SURFACE RADIATIVE FLUX PARAMETERIZATIONS: PART II. SHORTWAVE RADIATION, **ATMOSPHERIC RESEARCH**, V.58, P.141-154, 2001.
- NISHIDA, K., NEMANI, R. R., RUNNING, S. W., & GLASSY, J. M., AN OPERATIONAL REMOTE SENSING ALGORITHM OF LAND EVAPORATION. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, 108(D9), P. 42-70, 2003.
- NORMAN, J. M.; ANDERSON, M. C.; KUSTAS, W. P.; FRENCH, A. N.; MECIKALSKI, J.; TORN, R., ET AL.; REMOTE SENSING OF SURFACE ENERGY FLUXES AT 101-M PIXEL RESOLUTIONS. **WATER RESOURCES RESEARCH**, V.39, N.8, P.12-21, 2003.
- ZILLMAN, J. W. A STUDY OF SOME ASPECTS OF THE RADIATION AND HEAT BUDGETS OF THE SOUTHERN HEMISPHERE OCEANS, METEOROLOGY STUDY 26, BUR. OF METEOROLOGY CANBERRA, AUSTRALIA DEPT. OF THE INTER, 1972.