

Avaliação preliminar do modelo SEBAL para a estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração em áreas irrigadas no noroeste paulista

Fernando Braz Tangerino Hernandez ¹

Christopher Neale ²

Saleh Taghvaeian ³

Antônio Heriberto de Castro Teixeira ⁴

¹ Universidade Estadual Paulista - UNESP
Caixa Postal 34 - 15385-000 - Ilha Solteira - SP, Brasil
fbhtang@agr.feis.unesp.br

² Utah State University
Department of Civil and Environmental Engineering, Irrigation Eng. Division
4110 Old Main Hill, Logan, UT 84322, United States of America
christopher.neale@usu.edu

³ Utah State University
Department of Civil and Environmental Engineering, Irrigation Eng. Division
4110 Old Main Hill, Logan, UT 84322, United States of America
s.t@aggiemail.edu

⁴ Embrapa Semi árido
BR 428, Km 152, Zona Rural, Caixa Postal 23, CEP 56300-970, Petrolina-PE
heriberto@cpatsa.embrapa.br

Abstract. This paper describes the methodology used for estimating actual evapotranspiration of 20 center pivots using two different methods namely the traditional reference evapotranspiration and crop coefficient method and the remote sensing based energy balance model called SEBAL. The methods were applied to a Landsat Thematic Mapper 5 image acquired over the northwest portion of the State of Sao Paulo, Brazil in July, 2010. The corn, bean and sugar cane crops are grown under center pivot sprinkler irrigation. Reference evapotranspiration was obtained from automated weather stations close to the study site. The results show that for the corn pivots at full effective cover, the SEBAL method resulted in actual evapotranspiration values similar to the estimated through the traditional crop coefficient method. However for some corn pivots the traditional method underestimated the evapotranspiration due to the assumptions made with the crop coefficient. This study shows that remote sensing can be a useful tool for monitoring and establishing realistic crop coefficients in new agro-climatic regions. Future research with additional images during the growing season will be used to establish the necessary adjustments to the traditional crop coefficients.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, energy balance, sensoriamento remoto, processamento de imagens

1. Introdução

Os resultados da ação do homem sobre os recursos hídricos eram vistos sob a estrita ótica de escala local. Atualmente, estes recursos podem ser analisados na escala de bacias hidrográficas, nas quais o planejamento de ocupação é uma necessidade em sociedades com usos crescentes de água, tendendo a comprometer o meio ambiente pelo efeito conjunto de mudanças de uso da terra e alterações climáticas. A demanda hídrica já excede o suprimento em muitas partes do mundo, o crescimento da população aliado aos efeitos das mudanças climáticas, uma maior escassez de água é esperada (Gousbesville, 2008). Paralelamente à esta escassez está a contínua poluição dos rios nos países em desenvolvimento.

Para a exploração dos recursos hídricos de uma forma sustentável e garantia da disponibilidade de água para os grupos competitivos, o gerenciamento hídrico deve reconhecer os diversos habitantes da bacia hidrográfica e os fluxos hídricos em termos de produção e consumos líquidos (Cai et al., 2002). Os aumentos dos conflitos são esperados na medida em que a população se expande, a economia cresce, e a competição pelos limitados recursos hídricos intensificam. Diálogos entre os diferentes usuários da água de uma bacia hidrográfica são cruciais para os critérios de alocação e o sucesso destes depende do conhecimento básico e da confiança nos dados hidrológicos disponíveis, como o uso da terra; o consumo da água e a produção de cada um dos diferentes ecossistemas da região.

Vários tipos de uso da água podem ser encontrados juntamente com esses aumentos de populações e a necessidade de produção de alimentos e a região noroeste do Estado de São Paulo se caracteriza pelo clima de inverno seco e ameno e verão quente e úmido, apresentando as maiores taxas evapotranspiratórias do Estado e sujeita a veranicos que podem limitar as produtividades devido às deficiências hídricas prolongadas por até oito meses durante o ano (Hernandez et al., 1995 e Santos et al., 2010). Hernandez et al. (2003) concluíram que são altas as probabilidades de ocorrência dos veranicos críticos para as culturas agrícolas, sendo o desenvolvimento da agricultura na região sem o uso da irrigação uma atividade de alto risco, devido a frequência e intensidade do período de estiagem. Assim, sistemas de irrigação constituem a garantia do suprimento hídrico e tem sido utilizado em diferentes culturas, desde pequenos produtores de uvas até as grandes áreas irrigadas por pivô central, onde milho, feijão, soja, pastagem e cana de açúcar se beneficiam desta tecnologia.

A situação atual das culturas comerciais revela que a água vem sendo usada produtivamente, proporcionando desenvolvimento sócio-econômico à região, porém a falta de controle da água aplicada e erosão excessiva proveniente da agricultura mal manejada podem adversamente afetar a disponibilidade e qualidade da água, podendo em algumas microbacias inviabilizar a expansão da agricultura irrigada. Com a perda da qualidade em conjunto com a possível escassez provocada por alterações climáticas, todos os usuários (urbanos, industriais, agricultores e ecológicos) estarão competindo pelo suficiente abastecimento de água fresca. Assim, estudos em caráter regional são necessários para subsidiarem ações no presente, que garantam o suprimento hídrico no futuro.

O sensoriamento remoto conjuntamente com dados agrometeorológicos e sistema geográfico de informação podem melhorar o manejo da água para irrigação, bem como dos recursos hídricos de uma maneira geral, podendo-se fazer um acompanhamento do impacto causado pelas atividades da agricultura irrigada intensiva sob as condições ambientais.

A evapotranspiração (ET) é um dos mais importantes fatores mediadores do clima e do tempo, tanto em escala global quanto local, consistindo na ligação entre energia, clima e hidrologia e se estima que 60 a 80% do volume de água precipitado retornam à atmosfera, por meio da evapotranspiração, conferindo-lhe o status de agente regulador fundamental das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas, bem como das mais diversas atividades humanas, como por exemplo a agricultura (Braun, et al., 2001)

Dentre os modelos para obtenção da ET em escala regional com a utilização de imagens de satélites destaca-se o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), que envolve a variabilidade espacial da maioria das variáveis agrometeorológicas, podendo ser aplicado em vários ecossistemas (Teixeira et al., 2009b). Esse método, escolhido para o presente estudo, requer dados de radiações espectrais nas faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal.

Assim, este estudo utiliza SEBAL para a primeira avaliação no noroeste paulista do uso do sensoriamento remoto na estimativa da evapotranspiração, e, para tanto, foi utilizada uma área irrigada por pivô central que executa um programa de aplicação racional da água.

2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi realizado na região noroeste paulista tendo como centro da área de interesse as coordenadas $20^{\circ} 41' 40''$ S e $50^{\circ} 59' 02''$ O, onde estão presentes 20 pivôs centrais representando uma área cultivada de 2111 hectares irrigados.

Foram utilizadas imagens TM - Landsat 5 da órbita 222 e ponto 74, adquirida sob condição de céu claro no dia 12 de julho de 2010, 80 dias após a última chuva na região e o Modelo Digital do Terreno teve como base os dados numéricos de relevo do Brasil, obtidos pela nave espacial americana durante a missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) compilada por Miranda (2005). A imagem TM foi calibrada usando o método COST (Chavez, 1996) de correção atmosférica com base em objetos escuros presente na imagem.

A evapotranspiração de referência foi estimada pela equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) a partir de sensores instalados na estação agrometeorológica operada pela UNESP Ilha Solteira ($20^{\circ} 25' 23,5''$ S e $51^{\circ} 21' 12,6''$ W, altitude de 335 metros em relação ao nível do mar). As variáveis climáticas foram armazenadas em *datalogger* Campbell CR 23X com tempo de varredura de 10 segundos a partir dos sensores Campbell 03001 (velocidade e direção do vento), Campbell HFT-3 (fluxo de calor do solo), Campbell LICOR200SZ (piranômetro), Campbell Q-7.1 (radiação líquida), Campbell CS700-L (precipitação) e Campbell HMP45C (temperatura e umidade relativa do ar).

Um balanço hídrico na zona da raiz dos cultivos em cada pivô foi praticado pelo irrigante usando o método proposto no Manual FAO 56 (Allen et al., 1998) com os coeficientes de cultura propostos nesse manual para milho (Figura 1) e feijão e a evapotranspiração de referência estimada como descrita acima. Os dados das irrigações de cada pivô, incluindo lâmina aplicada também foram incorporados no cálculo.

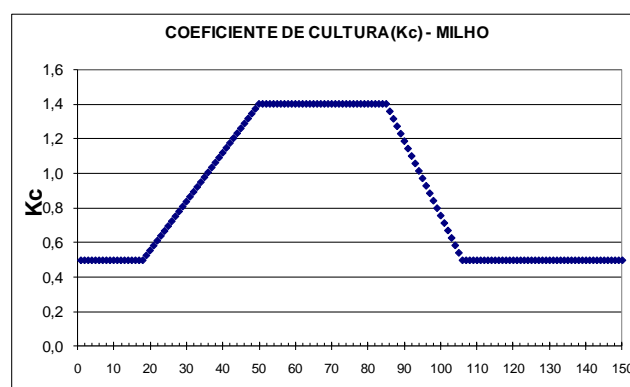


Figura 1. Coeficientes de cultura (K_c) utilizado para o manejo da irrigação do milho.

A evapotranspiração dos cultivos em cada pivô também foi estimada usando a imagem de satélite, o modelo de balanço de energia “Surface Energy Balance Algorithm for Land” SEBAL (Bastiaansen et al., 1998) e a versão do modelo utilizada foi a descrita por Allen et al. (2002). Este modelo é baseado na forma simplificada da equação do balanço de energia da superfície e SEBAL estima a radiação líquida (R_n) subtraindo a radiação de ondas longas e curtas emitida e refletidas pela superfície da radiação global incidente na superfície na mesma parte do espectro. Para estimar o fluxo de calor (G) no solo, inicialmente a razão de G/R_n é calculada empiricamente para cada pixel usando o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) como parâmetro detector da biomassa na superfície e então esta razão é multiplicada pela R_n de cada pixel. Finalmente o fluxo de calor sensível (H) é estimado a partir de dois pixels âncoras selecionados, conhecidos como pixel “frio” e pixel “quente” que são usados para obter uma relação entre a temperatura da superfície e a temperatura do ar (DT). Estes pixels representam as condições limites na imagem, onde o pixel “frio” representa uma superfície com vegetação adequadamente irrigada, e o pixel “quente”, uma superfície seca,

com solo nú. A seleção adequada depende da experiência do operador e a sua escolha pode afetar a acurácia da estimativa da evapotranspiração. Os parâmetros de resistência aerodinâmica são obtidas por aproximação pelo método de Monin-Obhukov e ajustados de acordo com as condições de estabilidade atmosférica.

Depois de ter estimado três dos quatro componentes da equação de balanço de energia da superfície, o quarto componente, o fluxo de calor latente (LE) pode ser estimado como o resíduo da equação ($LE = R_n - G - H$). LE é então convertido para evapotranspiração real (ET_a) pela divisão pelo calor latente de vaporização. A evapotranspiração real (ET_r) obtida pelo SEBAL é um valor instantâneo representando as condições no horário da passada do satélite e essa evapotranspiração necessita ser convertida para valores de longos períodos e a mesma metodologia (a razão da ET_a sobre a ET_r instantânea) foi utilizada para obter a ET_a diária, usando a ET_r diária.

O SAVI - Soil Adjusted Vegetation Index (Huete, 1994) foi estimado para cada pivô usando a seguinte fórmula aplicada a imagem Landsat calibrada:

$$SAVI = (IRP - VER) * (1+L) / (IRP + VER + L)$$

onde, IRP e VER são as reflectâncias nas bandas infravermelha (TM4) e vermelha (TM3) respectivamente, e L é um parâmetro de ajuste do solo geralmente com o valor de 0,5. O SAVI foi utilizado para estimar o coeficiente de cultura basal em base à reflectância (K_{cbrf}) para o milho e feijão em metodologia descrita por Neale e Bausch (1989), Bausch (1993) e Jayanthi et al. (2001). O SAVI também é um indicador de biomassa e índice de área foliar do cultivo.

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 contém uma parte da imagem Landsat TM5 com os 20 pivôs do estudo em falsa cor nas bandas TM4, TM3 e TM2, localizados margem direita do reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos no Rio Tietê. O milho estava em cobertura máxima (pivôs com a cor vermelha) e nos campos com feijão recém plantado (pivôs 3 e 5), observa-se solo nú. As áreas com cana-de-açúcar (pivôs 17 a 20) estavam em cobertura parcial.

O modelo SEBAL foi aplicado à imagem TM obtendo-se os coeficientes de cultura observados na Figura 3. Os resultados da evapotranspiração diária atual (ET_a) estimada para cada pivô com o modelo SEBAL estão apresentados na Figura 4 e comparados com os valores de planilha de balanço hídrico (método tradicional e praticado pelo irrigante) na Tabela 1.

Em geral os resultados do SEBAL se comparam bem aos do método tradicional, com este apresentando valores ligeiramente maiores no período de máxima exigência representada pela utilização do $K_c = 1,4$.

Os resultados na Tabela 1 também indicam que o coeficiente de cultura usado para a estimativa de ET_a do milho pelo método tradicional não está representando corretamente as condições em campo. Os coeficientes utilizados para manejo da irrigação nos pivôs 10 a 16 já estão na sua fase decrescente resultando em estimativas bem abaixo dos valores estimado pelo modelo SEBAL. Os valores do SAVI e o K_{cbrf} calculados comprovam que a cobertura proporcionada pelas folhas das plantas de milho nesses pivôs estavam em cobertura máxima e somente o pivô 10 estava no início de sua fase decrescente, significando que a curva de K_c do milho que representa o intervalo em cada estágio fenológico deverá ser ajustada para uso no cálculo tradicional no futuro, usando ajustes para o clima local recomendados pelo Manual FAO 56 e um prolongamento do período de máxima evapotranspiração.

Para ajustes e caracterização do crescimento das plantas de milho e a evolução do K_c e K_{cbrf} durante todo o período esta mesma metodologia deverá ser aplicada em outras imagens Landsat TM obtidas durante o período de crescimento do milho, caracterizando o consumo de água pelas plantas.

REFLECTANCIA DA SUPERFICIE DOS CULTIVOS EM 12 DE JULHO DE 2010
A PARTIR DA IMAGEM LANDSAT TM 5 NO NOROESTE PAULISTA

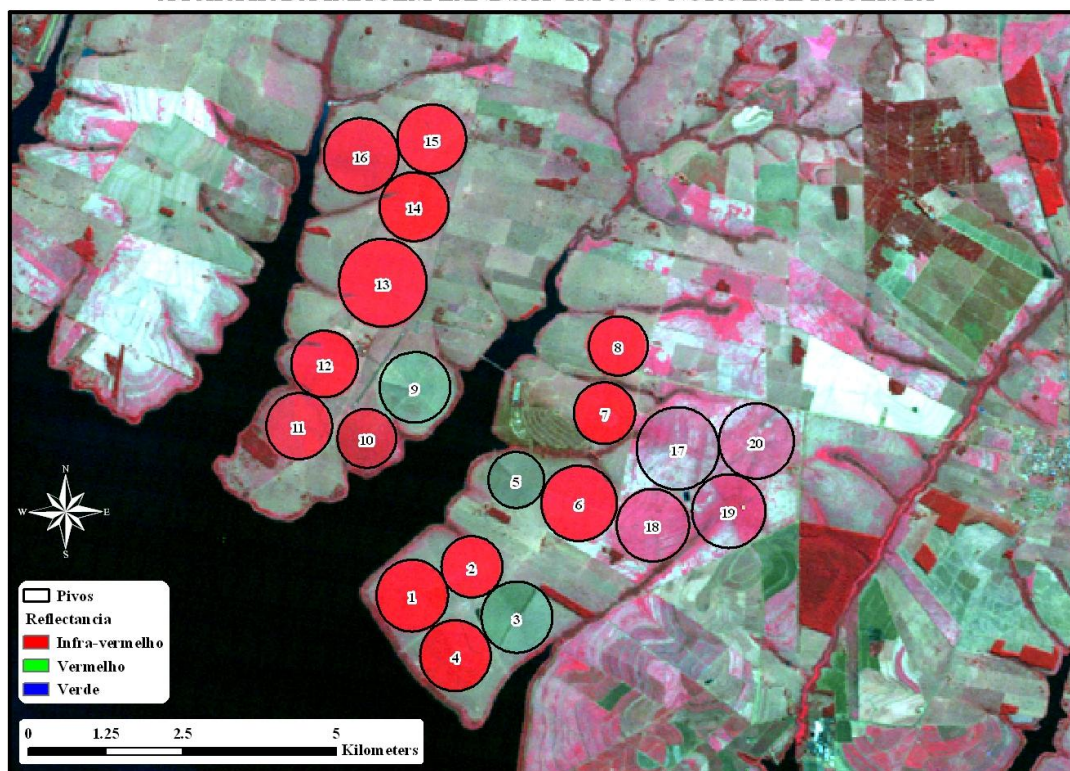


Figura 2. Reflectância da área de estudo.

COEFICIENTE DE CULTURA EM 12 DE JULHO DE 2010
A PARTIR DO MODELO SEBAL UTILIZANDO IMAGEM LANDSAT TM 5

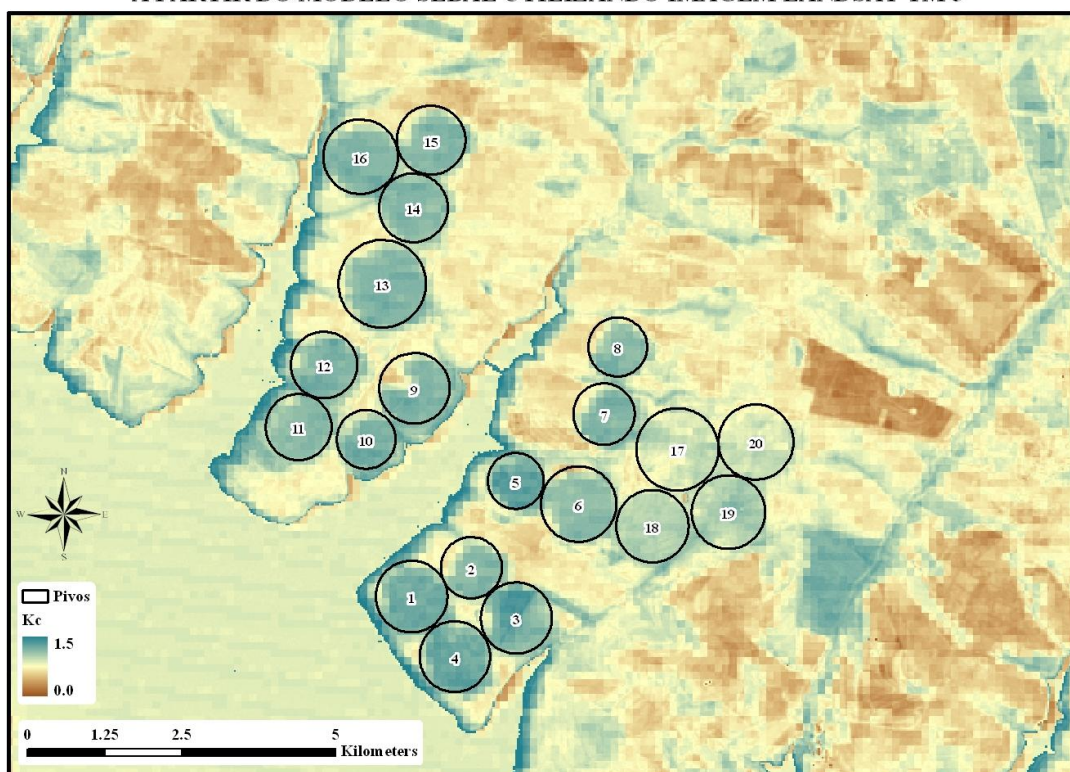


Figura 3. Coeficientes de cultura (Kc) obtidos a partir da imagem TM.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DIÁRIA EM 12 DE JULHO DE 2010
A PARTIR DO MODELO SEBAL UTILIZANDO IMAGEM LANDSAT TM 5

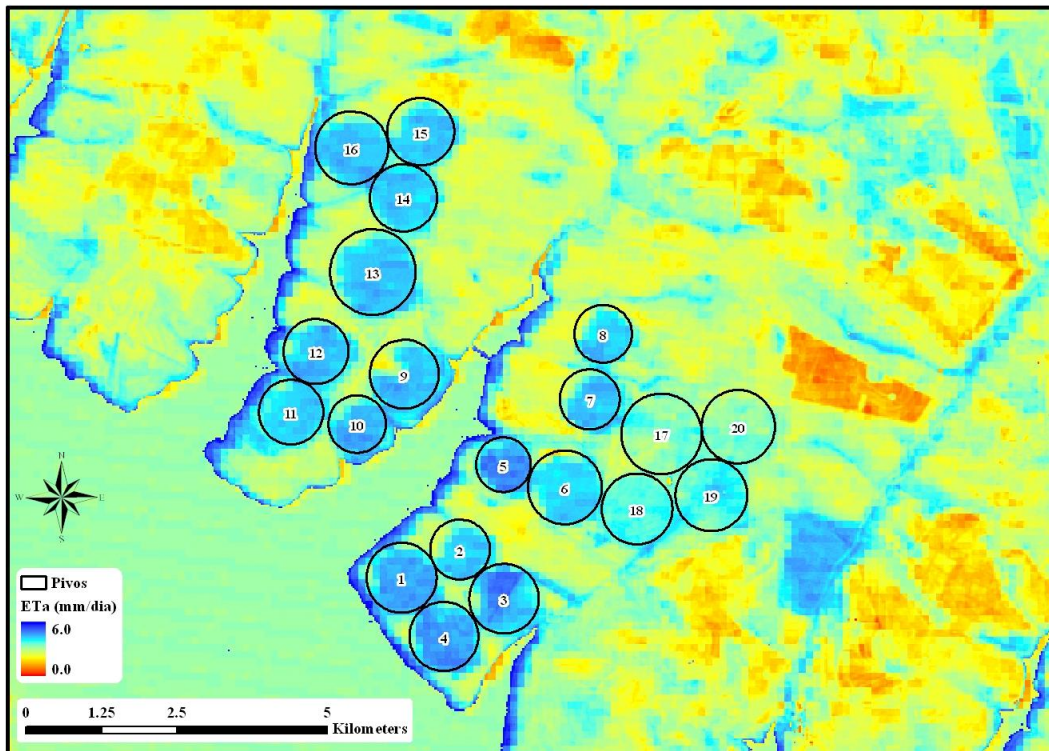


Figura 4. Evapotranspiração diária atual (ET_a) obtidas a partir da imagem TM.

Jackson et al. (1977) foram pioneiros na determinação da ET por sensoriamento remoto, com o uso da termometria infravermelha na estimativa do consumo hídrico do trigo e Bastiaanssen et al. (2008) confirmam que é mais fácil determinar a ET baseada na termometria infravermelha, do que na trabalhosa tarefa de classificação de culturas, que exige muita informação de campo. No Brasil Teixeira et al. (2009a) calibraram e validaram as equações empíricas do modelo SEBAL para as condições semi-áridas do Submédio São Francisco e algumas aplicações preliminares foram realizadas nos municípios de Petrolina e Lagoa Grande do Estado de Pernambuco (Teixeira et al., 2009b).

Em relação à estimativa da ET_a (Figura 4), os valores baixos de desvio padrão encontrados entre os *pixels* (Tabela 1) são indicativos de um suprimento uniforme de água pelos pivôs centrais, condição básica de um bom projeto de irrigação e do adequado manejo da aplicação da água e, ainda, o conhecimento da evapotranspiração em escala local, *on farm*, é indispensável para se obter elevados índices de produtividade da água, representando também maiores possibilidades de lucros e ainda Teixeira (2009) alerta que especial atenção deve ser dada na determinação do consumo hídrico das plantas em larga escala sob as condições de contínuas mudanças de uso da terra e climáticas e que os resultados são importantes para geração de critérios racionais de irrigação, alocação de água, economia hídrica e sustentabilidade.

O adequado suprimento de água às plantas depende da combinação de estimativas corretas da evapotranspiração de referência (ET_o) e o uso de K_c adequados. No entanto, a instalação e a operação de estações agrometeorológicas para a estimativa da ET_o demandam recursos econômicos e humanos nem sempre disponíveis. Conseqüentemente, a rede de postos de monitoramento desse fenômeno é esparsa, impedindo que a distribuição espacial da evapotranspiração seja adequadamente conhecida. O sensoriamento remoto e o modelo SEBAL podem contribuir para a adequada calibração de coeficientes de cultura, enquanto que

a instalação de uma rede de estações agrometeorológicas permite a determinação de microclimas regionais e estimativas de ET_0 mais próximas das áreas irrigadas.

Tabela 1. Parâmetros utilizados na estimativa da ET_a e obtidos pelo modelo SEBAL.

PI-VÔ	AREA ha	CULTURA	DAP Dias	UT. SEBAL		UT. SEBAL		DIFE-RENÇA mm/dia	DP ET_a SEBAL mm/dia	SAVI (COST, L = 0,1)		
				Kc		ET_a (mm/dia)				MÉDIA	DP	K_{cbrf}
1	109	milho	78	1,4	1,2	4,9	4,7	0,2	0,13	0,76	0,02	1,15
2	75	milho	86	1,4	1,1	4,8	4,3	0,5	0,26	0,76	0,01	1,15
3	109	feijão	5	0,4	1,3	1,4	4,8	-3,4	0,35	0,08	0,03	0,14
4	109	milho	83	1,4	1,3	4,9	4,8	0,1	0,18	0,74	0,03	1,15
5	69	feijão	13	0,5	1,3	1,8	4,9	-3,1	0,21	0,14	0,02	0,24
6	120	milho	76	1,4	1,1	4,9	4,3	0,6	0,12	0,76	0,02	1,15
7	75	milho	88	1,3	1,2	4,5	4,4	0,0	0,25	0,75	0,02	1,15
8	75	milho	89	1,2	1,1	4,3	4,3	0,0	0,21	0,75	0,02	1,15
9	120	repouso	-	0,3	1,1	1,1	4,1	-3,1	0,69	0,12	0,02	0,15
10	75	milho	116	0,5	1,2	1,8	4,6	-2,8	0,20	0,64	0,02	1,12
11	95	milho	121	0,5	1,1	1,8	4,3	-2,6	0,13	0,66	0,03	1,15
12	95	milho	95	1,0	1,2	3,4	4,5	-1,1	0,18	0,72	0,03	1,15
13	162	milho	102	0,7	1,2	2,4	4,4	-2,1	0,16	0,73	0,02	1,15
14	100	milho	91	1,1	1,2	4,0	4,4	-0,4	0,14	0,76	0,03	1,15
15	100	milho	106	0,5	1,2	1,8	4,4	-2,6	0,21	0,71	0,02	1,15
16	117	milho	117	0,5	1,2	1,8	4,5	-2,7	0,12	0,69	0,02	1,15
17	145	cana	-	-	0,9	-	3,4		0,32	0,38	0,09	0,66
18	120	cana	-	-	1,0	-	3,8		0,12	0,54	0,04	0,93
19	120	cana	-	-	1,0	-	4,0		0,26	0,53	0,10	0,91
20	120	cana	-	-	0,9	-	3,4		0,21	0,45	0,06	0,78
MD	106	-	-	0,9	1,1	3,1	4,3	-1,4	0,22	0,58	0,03	0,94

* DAP: Dias após o plantio; UT.: Utilizado; Kc: Coef. de cultura; DP: Desvio-padrão; MD: Média

4. Conclusões

O Kc usado no método tradicional não é representativo das condições de crescimento em campo e deve ser ajustado. Por outro lado, nossos trabalhos devem ser realizados, utilizando todas as imagens disponíveis para caracterizar o coeficiente de cultivo das culturas e em especial do milho irrigado na região e o consumo de água pelas culturas em escala regional.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeira da UNESP - Universidade Estadual Paulista para o deslocamento de Fernando Braz Tangerino Hernandez à Utah State University - Remote Sensing Service Lab e à FAPESP (Projeto 09/52467-4, Modelagem da produtividade da água em bacias hidrográficas com mudanças de uso da terra). Christopher Neale e Saleh Taghvaeian receberam suporte financeiro do Remote Sensing Service Laboratory bem como do Utah Agricultural Experiment Station.

Referências Bibliográficas

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, 1998. 297p.

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R.; Waters, R.; Bastiaansen, W. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) - Advanced training and Users Manual. Kimberly: Idaho Implementation, 2002. 98 p.

Bastiaansen, W.G.M.; Menenti, M.; Feddes, R.A.; Holtslag, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998.

Bausch, W.C. Soil background effects on reflectance-based crop coefficients for corn. **Remote Sensing of Environment**, v.46, n.2, p.213-222, 1993.

Bezerra, B.G; Silva, B.B.; Ferreira, N.J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - LANDSAT 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, p.305-317, 2008.

Braun, P.; Maurer, B.; Muller, G.; Gross, P.; Heinemann, G.; Simmer, C. An integrated approach for the determination of regional evapotranspiration using mesoscale modelling, remote sensing and boundary layer measurements. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.76, p.83-105, 2001.

Cai, X.; Mckinney, C.; Lasdon, S. A framework for sustainable analysis in water resources management and application to the Syr Darya Basin. **Water Resources Research**, v.38, n.6, p.21-24, 2002.

Chavez, P.S.Jr. Image-based atmospheric corrections - Revisited and Improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.62, n.9, p.1025-1036, 1996.

Goubesville, P. Challenges for integrated water resources management. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 33, p.284-289, 2008.

Hernandez, F.B.T.; Lemos Filho, M.A.F., Buzetti, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira, FEIS/UNESP, 1995. 45p. (Série Irrigação, 1).

Hernandez, F.B.T.; Souza, S.A.V. De; Zocoler, J.L.; Frizzone, J.A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.1, p.21-30, 2003.

Jacson, R.D.; Reginato, R.J.; Idso, S.B. Wheat canopy temperatures; a practical tool for evaluating water requirements. **Water Resources Research**, v.13, p.651-656, 1977.

Jayanthi, H.; Neale, C.M.U.; Wright, J.L. Seasonal evapotranspiration estimation using canopy reflectance - A case study involving Pink Beans. In: International Symposium on Remote Sensing and Hydrology, 2000, Santa Fe. **Proceedings...** Editors: Manfred Owe, Kaye Brubaker, Jerry Richtie & Albert Rango. Santa Fe: IAHS Publication, no. 267, Artigos, p.302-305. ISBN 1-901502-46-5, 2001

Miranda, E.E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 nov. 2010.

Moran, M.S.; Jackson, R.D.; Slater, P.N.; Teillet, P.M. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. **Remote Sensing of Environment**, v.41, n.2-3 ,p.169-184, 1992.

Neale, C.M.U., Bausch, W., Heermann, D. Development of reflectance based crop coefficients for corn. **Transactions of ASAE**, v.32, n.6, p.1891-1899, 1989.

Santos, G.O.; Hernandez, F.B.T., Rossetti, J.C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.3, p.142-149, 2010.

Teixeira, A.H. de C.; Bastiaansen, W.G.M.; Ahmad, M-Ud-D, Bos, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.462-476, 2009a.

Teixeira, A.H. de C.; Bastiaansen, W.G.M.; Ahmad, M-Ud-D, Bos, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.477-490, 2009b.