

ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTURAS IRRIGADAS ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO¹

Folhes, M.T.²; Soares, J.V.³; Rennó, C.D.⁴

RESUMO: É apresentada uma metodologia de utilização de sensoriamento remoto para a detecção da evapotranspiração real das culturas (ET_c) de um perímetro de irrigação inserido na região do semi-árido brasileiro. Neste trabalho, utilizou-se o modelo *Mapping Evapotranspiration at High Resolution and with Internalized Calibration* (METRIC) que emprega o método residual da equação do balanço de energia para derivar um mapa de ET_c , com auxílio de dados espectrais contidos nas imagens do sensor Thematic Mapper a bordo do satélite Landsat-5 e de parâmetros atmosféricos disponíveis em uma estação meteorológica. As médias zonais dos valores estimados de ET_c referentes a 10 talhões de culturas irrigadas de banana (*Musa spp.*), milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max (L.) Merrill*), foram comparados com a estimativa da evapotranspiração de referência calculada pelo método FAO-Penman-Monteith. Os resultados preliminares da modelagem da ET_c das culturas anuais mostram-se satisfatórios, ao passo que para as culturas semi-perenes observou-se resultados subestimados.

PALAVRAS-CHAVES: evapotranspiração, balanço de energia, sensoriamento remoto.

EVALUATION OF IRRIGATED CROP EVAPOTRANSPIRATION VIA REMOTE SENSING

SUMMARY: This paper presents a methodology to estimate crop evapotranspiration (ET_c) in irrigated agricultural areas through the use of remote sensing in the Brazilian semi-arid region. Mapping Evapotranspiration at High Resolution and with Internalized Calibration (METRIC) has been applied for mapping ET_c as a residual of the surface energy balance, which requires information on spectral radiance for each band of the Thematic Mapper radiometer on board the Landsat-5 satellite, and some weather data. Average raster ET_c values for 10 banana (*Musa spp.*), corn (*Zea mays*) e soybeans (*Glycine max (L.) Merrill*) irrigated plots were extracted and compared to the reference ET estimated according to FAO-Penman-

¹ Extraído de tese de doutorado em Sensoriamento Remoto em andamento

² Bolsista da CAPES, INPE, DSR, Av. dos Astronautas, 1758, CEP 12227-010, São José dos Campos, SP. Fone: 12-3945-6732. e-mail: folhes@ltid.inpe.br

³ Pesquisador, Doutor, Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR), INPE.

⁴ Pesquisador, Doutor, Divisão de Processamento de Imagens (DPI), INPE

Monteith method. The modeled ET_c preliminary results for annual crops were satisfactory, therefore the analysis showed subestimation in ET_c for semi-perennial fruits.

KEYWORDS: evapotranspiration, energy balance, remote sensing.

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a evapotranspiração (ET) de culturas agrícolas tem sido calculada a partir de medidas de variáveis meteorológicas realizadas em estações meteorológicas. A medida dessas variáveis realiza-se de modo pontual, ou seja, nos lugares onde se situam as estações meteorológicas. Sendo assim, se o objetivo é obter uma avaliação da variação regional da ET, aumenta-se a incerteza da estimativa ao utilizar métodos de interpolação dos parâmetros micro-meteorológicos na área de interesse.

A fim de evitar o uso de variáveis meteorológicas com baixa representatividade regional, diversos algoritmos foram desenvolvidos para estimar a ET com base na utilização de técnicas de sensoriamento remoto (SR). Uma revisão dos modelos usados para estimar a ET a partir do SR pode ser encontrada em KUSTAS e NORMAN (1996) e em BASTIAANSEN et al. (2000). Entre os mais recentes, o modelo *Mapping Evapotranspiration at High Resolution and with Internalized Calibration* (METRIC), uma variação do modelo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL), vem sendo aplicado com sucesso na tentativa de descrever a variação espacial da ET com base em funções semi-empíricas.

O modelo METRIC, desenvolvido por ALLEN et al. (2005) e TASUMI et al (2005), utiliza o método residual da equação do balanço de energia para estimar a evapotranspiração real das culturas (ET_c) com auxílio de dados espectrais contidos nas imagens de satélite e de poucos elementos meteorológicos disponíveis em estações meteorológicas. Pode ser empregado em sistemas agrícolas ou naturais e não requer dados complementares sobre uso/cobertura da terra ou tipo de cultivo. Como o modelo é aplicado pixel a pixel, a resolução espacial do mapa de ET_c é determinada diretamente pelas resoluções espaciais das imagens de SR utilizadas no processo.

A proposta do presente trabalho trata da estimativa da ET_c em escala regional, em um perímetro de irrigação localizado no semi-árido brasileiro. O objetivo é proceder a uma análise preliminar dos resultados da modelagem da ET_c estimados pelo modelo METRIC em um perímetro de irrigação inserido na região do semi-árido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é o Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi (DIJA), situado na sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe, mais precisamente no município de Limoeiro do Norte, entre as coordenadas 05° 07' e 05° 14' de latitude Sul e 37° 56' e 38° 02' de longitude Oeste. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BswH, semi-árido quente, marcado pela existência de dois períodos: um seco e longo, e outro úmido, curto e irregular.

Neste trabalho, foram utilizadas imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat-5, referentes à órbita 216 ponto 64, nas seguintes datas de passagem: 15 de julho, 31 de julho e 01 de setembro de 2003. Para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0) pelo método combinado FAO-Penman-Monteith, foram utilizados dados obtidos de uma estação meteorológica instalada no DIJA. O trabalho contou ainda com dados de consumo de água na irrigação obtidas de tomadas equipadas com hidrômetros. Um arquivo vetorial digital da planta do projeto de irrigação e um mapa de uso/cobertura da terra auxiliaram na determinação dos tipos de cultivo na área.

Inicialmente, foi estruturado um banco de dados geográficos no aplicativo SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas) (CÂMARA et al., 1996). Em seguida, procedeu-se ao mapeamento do volume de água evapotranspirada dos talhões agrícolas nos dias correspondentes a passagem do satélite. O mapeamento da ET foi obtido a partir da aplicação do modelo METRIC que, por sua vez, utiliza o método residual da equação do balanço de energia para estimar o fluxo de calor latente instantâneo (λET_{ci}), com auxílio das medidas espectrais dos canais do visível, infravermelho próximo, médio e termal, contidos nas imagens orbitais, e dos parâmetros de velocidade do vento e de temperatura do ar, provenientes de estações meteorológicas:

$$\lambda ET_{ci} = R_n - H - G \quad (1)$$

em que, λET_{ci} é o fluxo de calor latente instantâneo (em $W.m^{-2}$), sendo ET_{ci} a evapotranspiração real e instantânea das culturas (em $mm.s^{-1}$) e λ o calor latente de vaporização (em $J.Kg^{-1}$); R_n é o saldo de radiação instantânea na superfície (em $W.m^{-2}$); H é o fluxo de calor sensível instantâneo (em $W.m^{-2}$); e G é o fluxo de calor no solo instantâneo (em $W.m^{-2}$).

Basicamente, R_n é estimado a partir das medidas de reflectância e temperatura de superfície, parâmetros gerados através do processamento das imagens TM. O termo G é empiricamente calculado com base na estimativa de R_n , da temperatura da superfície e do índice de vegetação por diferença normalizada, obtido da operação algébrica das reflectâncias dos canais do vermelho e do infravermelho próximo. Por último, H é caracterizado por meio

da estimativa dos parâmetros de temperatura da superfície, rugosidade da vegetação e velocidade do vento. Através de uma solução, designada por “calibração interna”, primeiramente a diferença entre a temperatura da superfície e a do ar (dT) é calculado para pixels “extremos” identificados na imagem após atribuí-los valores para H . Os pixels extremos devem representar locais secos (pixel “seco”), supondo-se que neles $\lambda ET=0$ ou $H=Rn-G$, e locais úmidos (pixel “úmido”), supondo-se que neles $H\approx 0$. Tais suposições permitem fornecer pares de valores para H e estabelecer relações deste com dT . Um detalhamento das etapas do algoritmo pode ser encontrado em ALLEN et al. (2003) e TASUMI et al (2005).

Uma vez mapeado a ET_c instantânea, o passo seguinte foi extrapolar a estimativa para valores acumulados nas 24 horas dos dias correspondentes à aquisição das imagens. Este procedimento é dividido em duas etapas:

a) Cômputo da ET real e horária das culturas (ET_{ch}), em mm.h^{-1} , conforme a equação:

$$ET_{ch} = 3600 \times \lambda ET_{ci} / \lambda \quad (2)$$

em que, 3600 representa o número de segundos em um período de uma hora; λET_{ci} é o fluxo de calor latente instantâneo (em W.m^2); e λ é o calor latente de vaporização (em J.Kg^{-1}).

b) Cômputo da ET real e diária das culturas (ET_{c24}), em mm.d^{-1} , segundo a equação:

$$ET_{c24} = F \times ET_{o24} \quad (3)$$

em que, ET_{o24} é a soma das estimativas horárias de ET_o referente ao dia do imageamento (em mm.d^{-1}); F é a razão entre a ET_{ch} e a ET_o horária (ET_{oh}) (adimensional). O modelo supõe que o valor de F correspondente à hora da aquisição da imagem é similar ao valor médio das 24 horas do dia referente à data da imagem, ou seja, F é relativamente constante ao longo do dia.

Resolvida a integração da ET_c no tempo, restou proceder a média da ET_c no espaço de alguns talhões agrícolas pré-selecionados e comparar os valores com as estimativas de ET_o e com o consumo da água na irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1, são apresentadas as médias zonais de ET_{c24} de alguns talhões agrícolas do perímetro, nas três datas de aquisição das imagens. O aumento gradativo da relação ET_{c24}/ET_{o24} , observada para as culturas de milho (*Zea mays*) cultivar AG 1051 e soja (*Glycine max (L.) Merrill*) cultivar Tracajá, nos três dias analisados, está associado ao incremento do crescimento das culturas, de forma que a maior taxa evaporativa ocorreu no dia 244 do ano de

2003, coincidindo com a fase de enchimento dos grãos da soja e com o estágio de embonecamento do milho.

Observa-se também, ainda na Tabela 1, que a ET_{c24} de todos os lotes plantados com banana (*Musa spp.*) cultivar Pacovan é inferior à demanda evaporativa determinada pelo método FAO-Penman-Monteith (ET_{o24}), apesar da lâmina de irrigação ser suficiente para manter a umidade do solo na zona radicular próxima a capacidade de campo. Um aspecto importante a se considerar é que todos os talhões de banana selecionados são formados por plantas adultas em seu segundo ou terceiro ciclo de produção. O intervalo de valores de ET_{c24}/ET_{o24} encontrado nos talhões de banana pesquisados, de 0,66 a 0,86, revela uma significativa redução da ET potencial, apesar da cultura não experimentar estresse hídrico.

Tabela 1 – ET_{c24} , ET_{o24} e lâmina de irrigação média nos três dias de aquisição das imagens

Lote/Quadra ou Lote/Pivô	Cultura	Área (ha)	ET_{c24} mm/dia			ET_{o24} mm/dia			Irrigação mm/dia		
			DDA	DDA	DDA	DDA	DDA	DDA	DDA	DDA	DDA
			196	212	244	196	212	244	196	212	244
L01/Q2	Pacovan	16	3,8	4,0	4,5	5,3	4,9	5,9	7,3	7,3	6,9
L16/Q2	Pacovan	16	4,1	4,0	4,8	5,3	4,9	5,9	10	10	6,0
L32/Q3	Pacovan	4	3,8	4,0	5,1	5,3	4,9	5,9	7,1	7,1	6,3
L35/Q3	Pacovan	4	3,5	3,5	4,3	5,3	4,9	5,9	6,3	6,3	5,3
L18/Q4	Pacovan	8	3,7	3,7	4,2	5,3	4,9	5,9	9,1	9,1	6,8
L21/Q4	Pacovan	8	3,8	3,6	4,4	5,3	4,9	5,9	7,0	7,0	7,7
L03/P1.3	Soja	12,5	3,0	4,2	5,9	5,3	4,9	5,9	-	-	-
L02/P1.3	Soja	12,5	3,1	4,5	6,1	5,3	4,9	5,9	-	-	-
L04/P4.2	Milho	12,5	3,5	4,6	6,5	5,3	4,9	5,9	-	-	-
L01/P1.3	Milho	12,5	2,7	3,7	6,3	5,3	4,9	5,9	-	-	-

A explicação para a subestimativa da ET_{c24} da cultura da banana pode estar associada a alguns fatores. É provável, por exemplo, que tenha ocorrido incorreções durante a operação do modelo METRIC, como na estimativa da resistência aerodinâmica ao transporte de momento entre a vegetação e um nível acima dela, calculada em função do perfil vertical da velocidade do vento. No caso de plantas isoladas ou em renque, a aplicação desta estimativa fica prejudicada visto que é difícil caracterizar o comprimento da rugosidade, pela dificuldade em estabelecer a espessura da camada limite interna nesta situação. Superfícies descontínuas (pomares) estão sempre mais expostas ao vento que uma vegetação contínua (culturas anuais). O coeficiente de rugosidade é usado no cálculo da transferência de calor sensível para a atmosfera (H) e, conseqüentemente, no cálculo de ET. À medida que aumenta a rugosidade da vegetação, aumenta a estimativa de H e diminui a estimativa de ET.

Outra hipótese levantada diz respeito à não correção do termo radiativo na equação de Penman-Monteith visto que culturas com cobertura descontínua, como ocorre num bananal,

interagem diferentemente com a radiação. Nos trabalhos que objetivam estimar a ET de plantas isoladas ou em renque, faz-se necessário o cômputo da energia radiante absorvida pela folhagem de uma planta e sua expressão por unidade de área foliar (R_{nf}) e não comumente por unidade de terreno (R_n). Resultados experimentais obtidos em pomares de macieiras indicam que $R_{nf} \approx 0,5R_n$ (BUTLER, 1976).

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, apesar de indicarem a necessidade de estudos mais aprofundados, apresentam uma ferramenta que se mostra promissora para estudos que envolvam o manejo da irrigação e o gerenciamento dos recursos hídricos em escala regional, do ponto de vista tanto de pesquisa básica quanto aplicada.

O próximo passo da pesquisa será a busca de uma melhor estimativa e parametrização do modelo com base nos resultados extraídos de um experimento agrometeorológico que está sendo conduzido no referido perímetro de irrigação.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; MORSE, A; TREZZA, R. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 19, p.251-268, 2005.
- BASTIAANSEN, W.G.M.; MOLDEN, D.J.; MAKIN, I.W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. **Agricultural Water Management**, v.46, n.2, p.137-155, 2000.
- BUTLER, D.R. Estimation of the transpiration rate in an apple orchard from net radiation and vapour pressure deficit measurements. **Agricultural Meteorology**, v.16, p.277-289, 1976.
- CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **Computers and Graphics**, v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- KUSTAS, W.P.; NORMAN, L.M. Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces. **Hidrological Sciences Journal**, v.41, n.4, p.495-516, 1996.
- TASUMI, M.; TREZZA, R.; ALLEN, R.G.; WRIGHT, J,L. Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 19, p.355–376, 2005.