

Determinação do coeficiente de cultivo e da evapotranspiração real do algodão irrigado utilizando imagens de satélite

Marcus Vinícius Cândido Bezerra¹
Ziany Neiva Brandão^{1,2}
Bergson Guedes Bezerra¹
Valéria Peixoto Borges¹
Bernardo Barbosa da Silva¹

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/ Deptº de Meteorologia
Rua Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó CEP 58.109-900 – Campina Grande - PB, Brasil,
markusvynycyus@yahoo.com.br; bergson_bezerra@yahoo.com.br; valpborges@gmail.com
bernardo@dca.ufcg.edu.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA/CNPA
Caixa Postal 171 - 58107-720 – Campina Grande - PB, Brasil,
ziany@cnpa.embrapa.br

Abstract. An appropriate irrigation scheduling has to provide the needs of water in different plant development stages. The amount of water applied depends on the climate demand, the phenological phase of plants and the efficiency of the irrigation system. Many studies have been carried out to estimate the climate demand through the actual evapotranspiration, ET, considering the plant phenological phase, using its culture coefficient, Kc. Some of these studies estimate the ET of irrigated crops on a regional basis using the SEBAL methodology and satellite images. In this work were estimated the normalized difference vegetation index (NDVI), Kc and the daily actual ET for an irrigated cotton cultivation using center pivot system on the Busato's farm, located on Bom Jesus da Lapa town, Bahia state. It was evaluated the irrigation schedule used and its performance in vegetation behavior using the NDVI as an indicator of drought. To provide better control of ET, is used the reference evapotranspiration - ETr, obtained by the standard equation of Penman-Montheith. The results showed that the methodology applied establish an effective tool to estimate the NDVI, Kc and ETd. These results can help in a rational and optimal water use in agriculture.

Palavras-chave: remote sensing, actual evapotranspiration, Sensoriamento Remoto, SEBAL, TM–Landsat 5, Evapotranspiração Real

1. Introdução

Apenas 2,5% de toda água disponível no mundo é de água doce e dessa quantidade, cerca de 70% é utilizada na área agrícola. Considerando esse fato, podemos supor que no futuro haverá uma redução da disponibilidade de água para a produção agrícola devido ao acréscimo na demanda dos setores industriais e domésticos, além da elevação da demanda devido ao aumento da população mundial, o que leva a uma crescente necessidade pela produção de alimentos com conseqüente elevação da demanda na agricultura.

Atentando a essa problemática e ao fato de que a evapotranspiração da superfície da terra – ET transfere grande volume de água do solo e da vegetação para a atmosfera, há a necessidade de prognosticar o rendimento das culturas irrigadas, gerando informações valiosas para o planejamento e gerenciamento das atividades agrícolas.

É possível determinar a ET utilizando métodos como o balanço de energia baseado na razão de Bowen, método das correlações turbulentas e lisímetro de pesagem. De acordo com Bastiaanssen et al. (2005) o método da razão de Bowen depende da precisão dos sensores para medir pequenas variações na umidade do ar. Já o método das correlações turbulentas envolve medidas de fluxos de calor e vapor que comprometem o fechamento do balanço de energia. E as medidas lisimétricas dependem da precisão da instalação dos lisímetros e do fato da vegetação circundante não localizar-se num terreno inclinado. Tais métodos são bastante precisos, porém suas medidas e/ou estimativas são válidas para pequenas áreas homogêneas.

Para se estimar a ET em escala regional sobre áreas parcialmente homogêneas ou heterogêneas, os métodos tradicionais tornam-se limitados. Uma alternativa para isso é a utilização de técnicas de sensoriamento remoto – SR, que envolvem o uso de um conjunto de equações destinadas a converter as medidas radiométricas originadas de sensores a bordo de satélites ou de aeronaves, em medidas de fluxo de energia.

Tais técnicas têm provocado grandes mudanças no processo de gerenciamento dos recursos hídricos, pois são capazes de proporcionar a variabilidade espacial e temporal da ET, mesmo sob regiões bastante heterogêneas, favorecendo o uso racional e otimizado da água, levando assim ao desenvolvimento de inúmeros trabalhos, com o objetivo de: determinar a temperatura da superfície (Souza e Silva, 2006), estimar o albedo superficial (Silva et al., 2005a), determinar o balanço de radiação e de energia à superfície (Silva et al., 2005b; Silva e Bezerra, 2006) e de estimar a ET (Bezerra, 2006).

Ao mesmo tempo, têm sido desenvolvidos algoritmos destinados a determinar esses elementos através dessas técnicas, com destaque para o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), desenvolvidos por Bastiaanssen et al. (1998a), que baseia-se na conversão de medições radiométricas de sensores a bordo de satélites em ET real como resíduo do balanço de energia à superfície. Na aplicação desse algoritmo faz-se necessário o uso de imagens de satélite que ofereçam informações no espectro eletromagnético visível, infravermelho próximo e termal, e dados complementares de superfície. Para prover melhor controle da ET, é utilizada a evapotranspiração de referência – ETr, obtida pela equação padronizada de Penman-Montheith aplicada a cultura da alfafa (Allen et al., 1998).

Diante do exposto o presente trabalho tem como objetivo estimar a ET real no algodoeiro irrigado por sistema de pivô central. A área de estudo foi em cultivo comercial na fazenda Busato, localizada no município de Bom Jesus da Lapa–BA, onde foram analisadas fases fenológicas distintas, utilizando a metodologia SEBAL e imagens TM–Landsat 5.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo localiza-se a 35 km a oeste da sede do município de Bom Jesus da Lapa–BA, cujas coordenadas são 13°15'18'' S, 43°25'05'' W e 436 m, compreendendo a Fazenda Busato, apresentada na Figura 1 numa combinação RGB dos canais 3, 2 e 1 do TM–Landsat 5, destacando-se cinco pivôs selecionados para estudo (P1, P2, P3, P4 e P5).

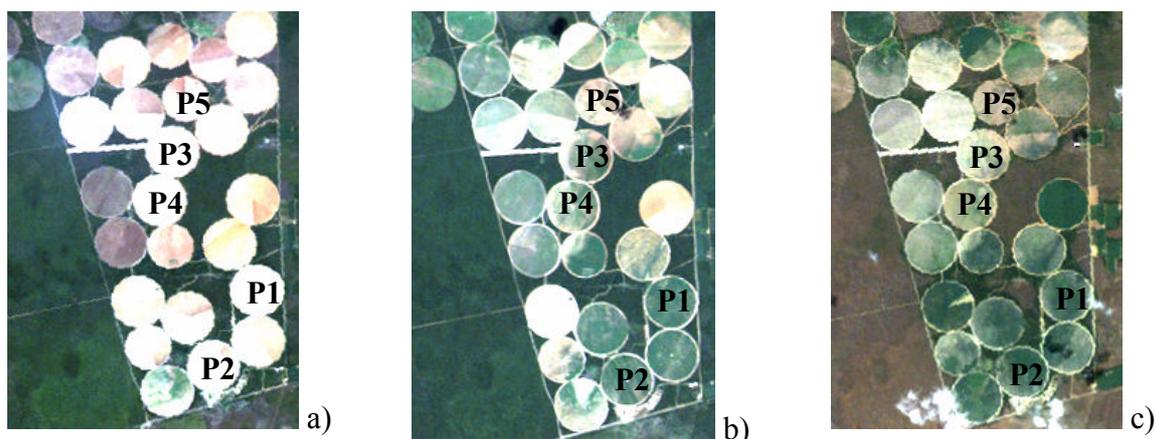


Figura 1. Mapas da área de estudo em a) 20/01/2007, b) 25/03/2007 e c) 13/06/2007

A Fazenda Busato possui 2.500 ha de algodão irrigado por pivô central, cultivar Delta Opal, de ciclo longo com cerca de 180 dias. O clima da região é classificado como semiárido e subúmido a seco, com estação chuvosa no período de primavera-verão. Os solos predominantes são Latossolos e Cambissolos e a vegetação natural é classificada como

Contato Caatinga-Floresta Estacional e Formações Pioneiras com Influência Fluvio-marinha. As médias anuais de temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial são, respectivamente, 25,3°C, 831 mm e 1418 mm.

O plantio do algodão ocorreu de 08/01/2007 a 06/03/2007. A colheita foi iniciada no mês de junho de 2007, estendendo-se até o mês de agosto.

As imagens de satélite utilizadas foram geradas pelo Mapeador Temático do satélite Landsat 5, órbita 219 e ponto 69 em torno das 10 h, nas seguintes datas: 20/01/2007, 25/03/2007 e 28/05/2007, representando fases fenológicas distintas do algodoeiro.

Na etapa inicial de processamento, foi obtido o saldo de radiação – R_n (Wm^{-2}) pela equação do balanço de radiação à superfície:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que: $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente, α é o albedo da superfície, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela superfície e ε_o é a emissividade da superfície.

Na etapa seguinte foi obtido o fluxo de calor no solo – G (Wm^{-2}), segundo Tasumi (2003):

$$G = [0,05 + 0,18 \exp(-0,521 \cdot IAF)]R_n \quad (IAF \geq 0,5) \quad (2)$$

$$G = [(1,80 Ts/R_n) + 0,084]R_n \quad (IAF < 0,5) \quad (3)$$

em que: IAF é o Índice de Área Foliar e T_s é a temperatura da superfície (°C). Para o fluxo de calor em corpos d'água, cujo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – IVDN é inferior a zero, assumiu-se que $G = 0,3 \cdot R_n$. Sendo o IVDN obtido por:

$$IVDN = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3) \quad (4)$$

em que: ρ_4 é a refletância da banda 4 e ρ_3 é a refletância da banda 3.

Os valores do fluxo de calor sensível – H (Wm^{-2}) foram estimados com base na velocidade do vento e na diferença de temperatura – $(a+bT_s)$ próxima à superfície entre os níveis de 0,1 m e 2,0 m, por:

$$H = \rho c_p (a + bT_s) / r_{ah} \quad (5)$$

em que: ρ é a densidade do ar (kgm^{-3}), c_p é o calor específico do ar à pressão constante ($1004 Jkg^{-1}K^{-1}$), a e b são constantes de calibração da diferença de temperatura, T_s é a temperatura da superfície (K) e r_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor sensível (sm^{-1}).

A determinação dos coeficientes “a” e “b” requer a definição de dois pixels de referência (pixels âncoras) que representem condições extremas de temperatura e umidade, denominados, pixels quente e frio. O pixel frio localiza-se num pivô central, em que $H = 0$ e que $(a+bT_s) = 0$ e $LE = R_n - G$. Já o pixel quente localiza-se numa área de solo exposto, em que $LE = 0$, $H = R_n - G$ e $(a+bT_s) = H \cdot r_{ah} / \rho \cdot c_p$. Tais valores iniciais de H servem, apenas, como parâmetros de entrada do processo iterativo em que é considerada a condição de estabilidade de cada pixel pela teoria da similaridade de Monin-Obukhov – L (m):

$$L = -\rho c_p u_*^3 T_s / kgH \quad (6)$$

em que: u_* é a velocidade de fricção (ms^{-1}), T_s é a temperatura da superfície (K), g é o módulo do campo gravitacional terrestre ($9,81 ms^{-2}$) e H é o fluxo de calor sensível, obtido inicialmente considerando a condição de neutralidade. Os valores de L definem as condições de estabilidade: para $L < 0$ (atmosfera instável); para $L > 0$ (atmosfera estável); e para $L = 0$ (atmosfera neutra). Dependendo das condições atmosféricas, os valores das correções de estabilidade para o transporte de momentum – ψ_m e de calor – ψ_h deverão ser considerados.

Por sua vez, o fluxo de calor latente instantâneo – LE (Wm^{-2}) foi obtida como sendo:

$$LE = R_n - G - H \quad (7)$$

Para converter LE em ET real horária ($mm \cdot h^{-1}$), foi utilizada a seguinte equação:

$$ETh = 3600 \cdot LE / [(2,501 - 0,00236 \cdot Ts) \cdot 10^6] \quad (8)$$

em que: Ts é a temperatura da superfície (°C).

A Fração da Evapotranspiração de Referência – FETr, definida como sendo a razão entre a ETh e a ETr horária para cada pixel, obtida a partir dos dados meteorológicos, assemelha-se ao coeficiente de cultivo – Kc, utilizado para extrapolar os valores de ET real horária para diária:

$$FETr = Kc = ETh/ETr \quad (9)$$

Para se obter a ET real diária – ETd (mm.dia⁻¹), assumiu-se que a FETr é constante para o período de 24 horas. Dessa forma, tem que:

$$ETd = FETr \cdot ETrd \quad (10)$$

em que: ETrd é a ETr de 24 horas para o dia da imagem.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão apresentadas as datas de plantio e colheita para cada pivô selecionado para estudo. Nos cinco pivôs foi realizado o plantio do algodão de doze a oito dias antes da data da primeira imagem estudada e as colheitas foram realizadas do mês de julho a agosto de 2007. Ainda é possível obter, através das informações da Tabela 1, que o ciclo médio da cultura para os pivôs selecionados foi de 191 dias.

Tabela 1. Data de plantio e colheita, e ciclo da cultura do algodão para os pivôs selecionados

Pivô	Data de plantio	Data de colheita	Ciclo da cultura (dias)
P1	08/01	28/07	201
P2	09/01	07/08	210
P3	11/01	10/07	180
P4	11/01	16/07	189
P5	12/01	06/07	175

Os valores instantâneos da temperatura do ar e da velocidade do vento estão apresentados na Tabela 2 onde se observa que a temperatura do ar foi mais elevada no dia 20/01/07 (32,2 °C) e a velocidade do vento mais elevada em 25/03/07 (1,20 m.s⁻¹). Pode ser observado a maior disponibilidade de radiação solar na imagem de 20/01/07 (27,9 MJ.m⁻².dia⁻¹), acarretando num processo evapotranspirativo maior, tanto em intervalo horário (0,72 mm.h⁻¹) quanto em intervalo diário (6,41 mm.dia⁻¹). Os menores valores de ETh e ETd foram obtidos para a imagem de 13/06/07, quais sejam 0,53 mm.h⁻¹ e 4,47 mm.dia⁻¹, tendo-se obtido para essa data uma disponibilidade de radiação solar de 18,6 MJ.m⁻².dia⁻¹.

Tabela 2. Valores instantâneos da temperatura do ar e velocidade do vento, radiação solar diária e evapotranspiração de referência horária e diária

Data	Temperatura do ar (°C)	Vento (m.s ⁻¹)	Radiação Solar (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	ETrh (mm.h ⁻¹)	ETrd (mm.dia ⁻¹)
20/01	32,2	0,89	27,9	0,72	6,41
25/03	29,3	1,20	22,7	0,70	5,38
13/06	27,2	1,11	18,6	0,53	4,47

O IVDN é um indicador da quantidade e condição da vegetação verde, portanto seu valor representa o vigor da cultura. Na Tabela 3 observa-se que o IVDN médio dos cinco pivôs selecionados foi de 0,16 para a imagem de 20/01/07, no período de emergência da cultura. O IVDN cresceu cerca de 75% para os pivôs P1, P2, P3 e P4, e de 69% para o pivô P5, na imagem de 25/03/07, durante o início da frutificação da cultura. Na imagem de 13/06/07, pode-se observar que o IVDN médio para os pivôs P1 e P2 pouco variou em comparação aos valores obtidos na imagem anterior. Já os pivôs P3, P4 e P5 apresentaram decréscimo no IVDN de cerca de 32%, representando o período de maturação da cultura.

Os valores do coeficiente de cultivo – Kc estão apresentados na Tabela 3, onde se observa que o Kc médio para os pivôs P1, P3 e P5 na imagem de 20/01/07 é inferior a 0,20, cerca de 57% inferior ao valor do Kc (0,47) utilizado pela administração da fazenda Busato. Já os pivôs P2 e P4 apresentaram Kc médio de 0,61 e 0,35, respectivamente. Tais valores apresentam-se cerca de 30% superior ao Kc usual para P2 e cerca de 26% inferior para P4. Para a imagem de 25/03/07 obteve-se Kc médio superior a 1,10 para P1, P2 e P3, enquanto que para P4 e P5 o Kc médio foi de 0,95. Tais valores médios de Kc estão dentro da faixa do Kc utilizado pela administração da fazenda no período de floração e desenvolvimento, que é de 0,8 e 1,15, respectivamente. Por sua vez, o Kc médio para P1, P2 e P3 em 13/06/07 variou de 0,42 a 0,49, inferior ao Kc usual no período de maturação (0,60), enquanto que P3 e P4 apresentaram Kc médio praticamente igual ao Kc usual, 0,61 e 0,63, respectivamente.

Os valores da evapotranspiração real diária média estimada para cada pivô selecionado são apresentados na Tabela 3 para as três imagens estudadas. Observa-se que a ETd para o dia 20/01/07 foi inferior a 0,90 mm.dia⁻¹ para os pivôs P1 e P3, porém para os demais pivôs a ETd média variou de 1,22 mm.dia⁻¹ a 3,91 mm.dia⁻¹. Comparando-se tais valores médios da ETd estimado com o valor calculado através do produto do Kc utilizado pela administração da fazenda pela ETrd, aqui denominada de evapotranspiração da cultura – ETc, se obtém o valor de 3,01 mm.dia⁻¹, representando cerca de 70% superior ao valor estimado para os pivôs P1 e P3, de 60% e 25% superior a ETd de P4 e P5, respectivamente.

Para o período do início da frutificação da cultura, correspondente a imagem do dia 25/03/07 foi obtida a ETd média superior a 6,0 mm.dia⁻¹ para P1, P2 e P3, enquanto que para os demais pivôs esse valor foi ligeiramente superior a 5,0 mm.dia⁻¹. Enquanto que o valor da ETc foi de 5,25 mm.dia⁻¹, representando cerca de 5% superior aos valores da ETd estimadas para os pivôs P4 e P5, e cerca de 13% inferior aos valores da ETd estimados para os pivôs P1, P2 e P3. Por sua vez, na imagem de 13/06/07 observa-se que para todos os pivôs selecionados a ETd média variou de 2,0 a 3,0 mm.dia⁻¹. Valores estes muito próximos da ETc para esta data, que foi de 2,70 mm.dia⁻¹. Tais análises concordam com o fato de que a maior demanda hídrica da cultura encontra-se no período de floração e desenvolvimento.

Tabela 3. Valores médios do IVDN, Kc e ETd estimados para os pivôs selecionados

	IVDN			Kc			ETd (mm.dia ⁻¹)		
	20/01	25/03	13/06	20/01	25/03	13/06	20/01	25/03	13/06
P1	0,17	0,69	0,71	0,13	1,18	0,45	0,83	6,35	2,01
P2	0,18	0,64	0,71	0,61	1,15	0,42	3,91	6,19	1,88
P3	0,16	0,60	0,40	0,12	1,17	0,49	0,77	6,29	2,19
P4	0,16	0,64	0,43	0,35	0,95	0,61	2,24	5,11	2,73
P5	0,15	0,49	0,35	0,19	0,95	0,63	1,22	5,11	2,82

4. Conclusão

Diante dos resultados apresentados pode-se concluir que a metodologia aplicada compõe uma ferramenta eficaz na estimativa do coeficiente de cultivo – Kc, do IVDN e na estimativa da evapotranspiração real diária – E_{Td}. Os resultados mostram grande concordância na estimativa do Kc quando comparado ao Kc utilizado pela administração da fazenda Busato, principalmente no período de floração e desenvolvimento da cultura do algodão. Também foi possível observar que a demanda hídrica da cultura apresentou maiores valores no período de floração e desenvolvimento, variando entre 5,0 mm.dia⁻¹ e 6,4 mm.dia⁻¹.

Referências Bibliográficas

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome-Italy, 1998.

Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v. 133, n. 395, p.380-394, 2007a.

Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R.. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v. 133, n. 395, p.395-406, 2007b.

Bastiaanssen, W. G. M.; Noordman, E. J. M. Pelgrum, H.; Davids, G.; Thoreson, B. P. & Allen, R. G. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 131, n. 1, p. 85- 93, 2005.

Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M; Feddes, R.A.; Holtslag, A.A.M. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, p.198-212, 1998a.

Bezerra, B.G, Balanço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL, 127f, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2006.

Silva, B. B. da.; Bezerra, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. v. 14, n. 2, p.174-186, 2006.

Silva, B. B. da.; Lopes, G. M.; Azevedo P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13, n. 2,p. 11-21, 2005a.

Silva, B. B. da.; Lopes, G. M.; Azevedo P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 20, n. 2, p. 243 – 252, 2005b.

Souza, J. D. e Silva, B. B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM – Landsat 5. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.23, n. 4, p.349-358, 2005.

Tasumi, M. Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. University of Idaho (USA). 355 p., 2003.