



## EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL E IVDN PARA O ALGODÃO IRRIGADO ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE

Ziany Neiva Brandão (Embrapa Algodão / [ziany@cnpa.embrapa.br](mailto:ziany@cnpa.embrapa.br)), Marcus Vinícius Cândido Bezerra, (UFMG - Doutorando), Bergson Guedes Bezerra (UFMG - Doutorando), Valdinei Sofiatti (Embrapa algodão), José Renato Cortez Bezerra (Embrapa Algodão), Bernardo Barbosa da Silva (UFMG)

**RESUMO** - Para se prever adequadamente as necessidades de água em diferentes estádios fenológicos de uma cultura, faz-se necessário uma programação de irrigação com cálculos precisos da evapotranspiração diária. A quantidade de água aplicada depende da demanda climática, do estágio fenológico das plantas e da eficiência do sistema de irrigação. Em experimento com o algodoeiro irrigado por sistema de pivô central, no período de janeiro a julho de 2007, em plantio comercial no estado da Bahia, estimou-se a evapotranspiração e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN). A área experimental constitui-se de quatro pivôs com 90 ha de área, totalizando 360 ha. O balanço de energia e a evapotranspiração foram estimados através de imagens do satélite Landsat-5, em três diferentes estádios fenológicos da cultura. Para a estimativa da evapotranspiração de referência foi calculado o balanço de energia a partir das imagens utilizando-se a metodologia SEBAL, além de dados meteorológicos, que foram obtidos junto à estação climatológica instalada próximo aos pivôs estudados. Foi avaliada a programação de irrigação utilizada na área e seu desempenho no comportamento das plantas usando o IVDN como um indicador da cobertura vegetada e seu teor de umidade. Para um melhor controle da ET foi utilizada a evapotranspiração de referência, -  $ET_0$ , obtida através da equação padrão de Penman-Montheith. Os resultados mostraram que a metodologia usada apresentou-se como uma ferramenta eficaz para a estimativa da evapotranspiração real diária –  $ET_d$  e do índice de vegetação da diferença normalizada, IVDN, podendo auxiliar na otimização e racionalização do uso da água para irrigação do algodoeiro. Também foi possível observar que a demanda hídrica da cultura apresentou valores maiores durante a fase de florescimento, variando entre  $6,4 \text{ mm dia}^{-1}$  a  $6,71 \text{ mm dia}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, evapotranspiração diária, produtividade do algodoeiro, Metodologia SEBAL.

## INTRODUÇÃO

Nas regiões produtoras de algodão no Brasil, normalmente não se encontram condições naturais de precipitação pluviométrica com frequência e distribuição suficientes para atender plenamente às suas necessidades hídricas. Nesse caso, a irrigação como prática agrícola possibilita melhores rendimentos da cultura (BARRETO et al., 2007).

Apenas 2,5% de toda água disponível no mundo é de água doce e que dessa quantidade, cerca de 70% é utilizada na área agrícola. Sem a irrigação, imensas áreas de terra fértil, ocupadas atualmente por lavouras, que representam o sustento das comunidades prósperas, seriam terras áridas e abandonadas (BEZERRA et. al., 2008). Assim, é imprescindível a adoção de tecnologias, juntamente com a prática da irrigação para a obtenção de altas produtividades, e conseqüentemente de lucros, para o desenvolvimento de algumas regiões.

O conhecimento das necessidades hídricas das culturas em diferentes estádios fenológicos é importante para a agricultura irrigada, pois se associada aos demais fatores de produção permite ao produtor a obtenção de altas produtividades. Técnicas eficientes de irrigação permite aos produtores de algodão maximizar seu rendimento e otimizando o uso da água. Assim, o sensoriamento remoto pode atuar tanto como uma ferramenta para estimar o potencial produtivo, como também sendo método de monitoramento das condições de crescimento do algodoeiro (PLANT et al., 2000).

Quanto maior a disponibilidade de água no solo, maior a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética das folhas. De acordo com Grimes e El-Zik (1990), o consumo hídrico do algodoeiro varia em função do cultivar, das práticas culturais adotadas, da disponibilidade de água no solo e da demanda atmosférica, que exhibe diferenças consideráveis para cada região e é expressa pela evapotranspiração da cultura (ET).

É possível estimar 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. 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 heterogêneas, os métodos tradicionais tornam-se limitados e/ou muito caros. Uma alternativa para esta situação 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. Assim muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de: determinar a temperatura da superfície, estimar o albedo superficial, determinar o balanço de radiação e de energia à superfície e de estimar a ET (SILVA et al., 2005; SILVA; 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. (1998), 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, bem como dados complementares de superfície. Para prover melhor controle da ET, é utilizada a evapotranspiração de referência –  $ET_0$ , obtida pela equação padronizada de Penman-Montheith aplicada à cultura da alfafa (ALLEN et al., 1998).

O trabalho tem como objetivo estimar a ET real no algodoeiro irrigado por sistema de pivô central, bem como avaliar as condições de cobertura vegetal do algodoeiro através do IVDN, utilizando a metodologia SEBAL e imagens TM-Landsat 5, em vários estádios fenológicos da cultura.

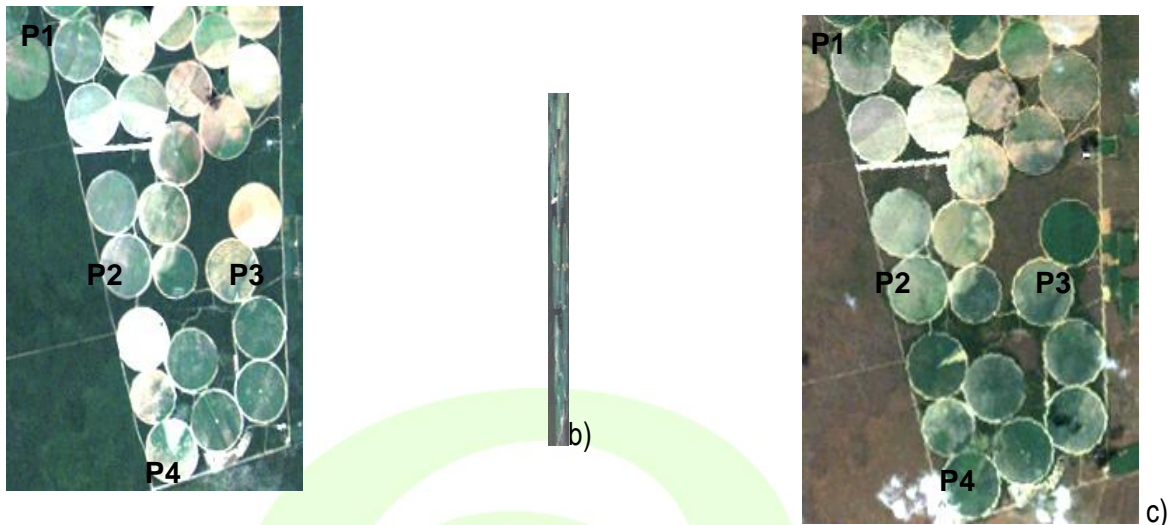
## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreendeu quatro pivôs em plantio comercial da Fazenda Busato, localizada 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 altitude média de 436m.

A Figura 1 apresenta imagens em três diferentes épocas durante o ciclo do algodoeiro em 2007, numa combinação RGB dos canais 3, 2 e 1 do TM-Landsat 5, destacando-se quatro pivôs selecionados para estudo, denominados aqui de P1, P2, P3 e P4.

Foi utilizado o cultivar Delta Penta, 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 eutróficos e a vegetação natural é classificada como Contato Caatinga-Floresta Estacional e Formações Pioneiras com Influência Fluvio-marinha, com os seguintes

registros (médias anuais): temperatura, 25,3°C; precipitação, 831 mm e evapotranspiração potencial de 1.418 mm.



a)

**Figura 1.** Mapas da área de estudo em a) 25/03/2007, b) 26/04/2007 e c) 13/06/2007

A semeadura do algodão ocorreu entre 20 a 24/01/2007, e a colheita no mês de julho de 2007. As imagens de satélite utilizadas foram geradas pelo Mapeador Temático do satélite Landsat 5, órbita 219 e ponto 69, próximo as 10 h, nas seguintes datas: 25/03/2007, 26/04/2007 e 13/06/2007, representando fases fenológicas distintas do algodoeiro, descritas como: (1) fase inicial do desenvolvimento reprodutivo quando pelo menos dois botões florais visíveis, (2) fase do florescimento, onde em pelo menos 70% das plantas já se observam duas flores, e (3) frutificação completa, onde mais de 70% das maçãs estavam cheias.

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

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

onde:  $R_{s\downarrow}$  é a radiação de onda curta incidente,  $\alpha$  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  $\epsilon_0$  é a emissividade da superfície.

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

$$G = \frac{R_n - \lambda E - H}{1 - \beta} \quad (IAF \geq 0,5) \quad ((2))$$

$$G = \frac{R_n - \lambda E - H}{1 - \beta} \quad (IAF < 0,5) \quad ((3))$$

onde: IAF é o Índice de Área Foliar e  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ).

Para o fluxo de calor em corpos d'águas, cujo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – IVDN é inferior a zero, assumiu-se que  $G = 0,3.R_n$ . Sendo o IVDN obtido por:

$$IVDN = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (4)$$

onde:  $\rho_4$  é a refletância da banda 4 e  $\rho_3$  é a refletância da banda 3.

Os valores do fluxo de calor sensível – H ( $W m^{-2}$ ) 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:

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

onde:  $\rho$  é a densidade do ar ( $kg m^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar à pressão constante ( $1004 J kg^{-1} K^{-1}$ ), 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, onde  $H = 0$  e  $(a+bT_s) = 0$  e  $LE = R_n - G$ . Já o pixel quente localiza-se numa área de solo exposto, onde  $LE = 0$ ,  $H = R_n - G$  e  $(a+bT_s) = H.r_{ah}/\rho.c_p$ . 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) (MONIN; OBUKHOV, 1954):

$$L = \frac{g}{\rho u_*^2} \frac{H}{\beta} \quad (6)$$

onde:  $u_*$  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 –  $\psi_m$  e de calor –  $\psi_h$  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 ( $mm h^{-1}$ ), foi utilizada a seguinte equação:

$$ET = \frac{LE}{\rho} \quad (8)$$

onde:  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ).

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

$$ETd = FETr \cdot ET_0d \quad (9)$$

onde: FETr, é a Fração da Evapotranspiração de Referência, ou coeficiente de cultivo, Kc, e a ETd é a ET de 24 horas para o dia da imagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A semeadura dos quatro pivôs foi realizada na terceira semana de janeiro/2007, entre os dias 20 e 24. As colheitas foram realizadas nos dias, 07/08, 22/07, 22/07 e 12/08, com ciclos de 201, 180, 180 e 206 dias para P1, P2, P3 e P4, respectivamente. A primeira imagem estudada foi dia 25/03, quando os quatro pivôs estavam na fase de aparecimento dos botões florais. Nessa fase foi considerado o primeiro IVDN estudado, com pouca cobertura do solo, pois as plantas apresentavam altura média de 59cm.

Os valores instantâneos da temperatura do ar e da velocidade do vento estão apresentados na Tabela 1. Pode ser observado a maior disponibilidade de radiação solar na imagem de 25/03/07 ( $23,7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), levando a um processo evapotranspirativo maior, tanto em intervalo horário ( $0,71 \text{ mm h}^{-1}$ ) quanto em intervalo diário ( $5,38 \text{ mm dia}^{-1}$ ). Os menores valores de ETH e ETd foram obtidos para a imagem de 13/06/07, quais sejam  $0,53 \text{ mm h}^{-1}$  e  $4,47 \text{ mm dia}^{-1}$ , tendo-se obtido para essa data uma disponibilidade de radiação solar de  $18,6 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

**Tabela 1.** Valores instantâneos da temperatura do ar e velocidade do vento, radiação solar diária e evapotranspiração de referência horária e diária

Data Imagem	Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )	Vento ( $\text{m s}^{-1}$ )	Radiação Solar ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )	ET <sub>0h</sub> ( $\text{mm h}^{-1}$ )	ET <sub>0d</sub> ( $\text{mm dia}^{-1}$ )
25/03	29,7	1,20	22,7	0,71	5,38
26/04	29,3	0,89	22,0	0,56	4,78
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 2 observa-se que o IVDN médio dos quatro pivôs selecionados foi de 0,59 para a imagem de 25/03/07, na fase de formação dos botões florais da cultura. O IVDN aumentou de 28 a 32% para os pivôs P1, P2 e P3, e de 56% para o pivô P4, na imagem de 25/03/07, durante a floração da cultura. Nessa fase, a exigência de água aumentou entre 2 e 3  $\text{mm dia}^{-1}$  para atender a demanda das estruturas reprodutivas da planta. Esse valor está em concordância

com valores obtidos por Rosolem (2007), onde foi observado um aumento na exigência de água no algodoeiro, podendo atingir de 4 a cerca de 8 mm por dia, do início ao final do florescimento, acompanhando o desenvolvimento da área foliar. No final da fase de florescimento, as primeiras folhas já se encontram em senescência, visto que a vida média de uma folha é de 65 dias. A máxima fotossíntese da folha ocorre quando o fruto está no início do seu desenvolvimento, e depois ocorre seu natural amarelecimento, o que explica a queda do IVDN na imagem de 13/06/07, após o enchimento de pelo menos 80% das maçãs. Outra ocorrência natural para essa época é a queda de estruturas reprodutivas e folhas, que pode ser acentuado por condições adversas como períodos de seca, temperaturas muito elevadas ou deficiência de nutrientes, embora a queda de até 60% das estruturas ainda seja considerada normal (OOSTERHUIS, 1992). Pode-se observar que o IVDN médio para essa época sofreu um decréscimo de 16 a 25%, com relação a fase de florescimento, ou máximo IVDN, representando assim o início do período de maturação da cultura.

Os valores da evapotranspiração real diária média estimada para cada pivô selecionado são apresentados na Tabela 2. Observa-se que a ETd média para o dia 25/03/07 foi 4,75 mm dia<sup>-1</sup>, com elevação durante o período de florescimento (6,55 mm dia<sup>-1</sup>) e clara redução no início da senescência, passando à média de 3,72 mm dia<sup>-1</sup>.

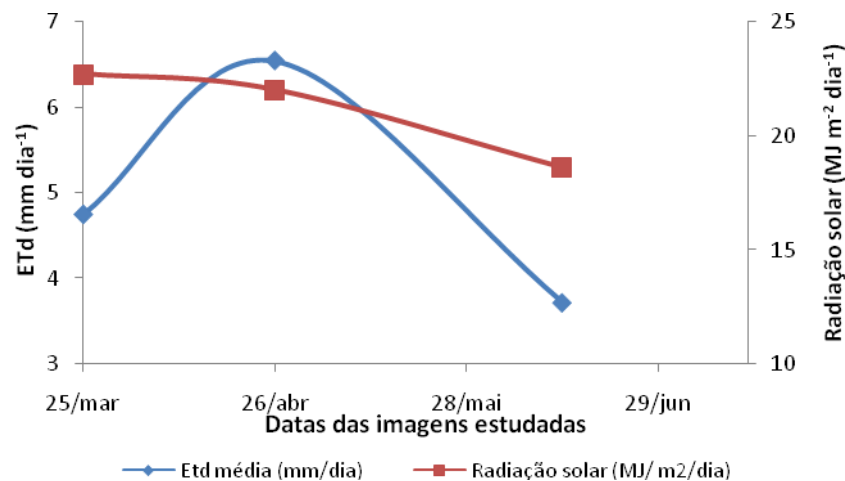
**Tabela 2.** Valores médios do IVDN e ETd estimados para os pivôs selecionados

	IVDN			ETd (mm dia <sup>-1</sup> )		
	25/03	26/04	13/06	25/03	26/04	13/06
P1	0,64	0,82	0,69	5,16	6,52	4,52
P2	0,61	0,78	0,62	5,61	6,71	2,59
P3	0,60	0,79	0,59	3,91	6,40	3,37
P4	0,50	0,78	0,61	4,32	6,55	4,39

Pode-se observar que o estágio fenológico da cultura influenciou mais a demanda de água do que a radiação solar, conforme observado na Figura 2. Embora no período estudado tenha havido a redução da radiação solar, entre março e abril, mês das duas primeiras imagens estudadas, a queda não foi tão intensa, tendo sido obtido os valores de 22,7 e 22,0 (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). Entretanto, como no mês de abril as plantas se encontravam no estágio de florescimento, houve uma elevação da ETd, acompanhando o aumento da área foliar do algodoeiro.

Comparando-se o valor médio da ETd estimada através da imagem do dia 25/03, que foi de 4,75 mm dia<sup>-1</sup>, com o valor calculado através do programa computacional da Fazenda, que usa dados meteorológicos e um valor médio de Kc para o período, 4,31 mm dia<sup>-1</sup>, observa-se uma diferença cerca de 10% superior ao valor da fazenda. Para o dia 26/04, essa diferença é de cerca de 19% para os valores médios. Discrepâncias maiores podem ser observadas quando estudados os pivôs separadamente, já que a Fazenda utiliza um valor uniforme para a ETc, estimando assim o volume de

água a ser aplicada por pivô de maneira uniforme, embora existam distâncias variando de 3 a 9 km entre eles. Na Tabela 3 são apresentados os valores das ETd's estimadas por pivô e da evapotranspiração usada na Fazenda, por data estudada. Pode-se observar que o valor da Fazenda é único para cada dia, o que gera grandes diferenças, para cada pivô estudado.



**Figura 2.** Evolução da ETd estimada, influenciado pelo estágio fenológico do algodoeiro e pela queda da Radiação Solar para as imagens de a) 25/03/2007, b) 26/04/2007 e c) 13/06/2007, do TM Landsat-5, na Fazenda Busato, B.J da Lapa, BA.

Para o dia 26/04, observa-se que, enquanto o valor da ETd para o P4 foi praticamente o mesmo que o valor obtido pela Fazenda, com um erro de apenas 0,2%, os pivôs P1 e P2 apresentaram respectivas diferenças, de 19,7 e 30,2%, com relação a ET calculada pela Fazenda, gerando um erro significativo no cálculo do volume de água necessário para irrigação naquela data. Para o dia 13/06 temos também diferenças significativas, onde os valores estimados para os pivôs P1 e P4, foram superiores a 60%, com relação aos valores da Fazenda (68,7% e 63,8%, respectivamente), enquanto que no P3, essa diferença foi de 25,7% e para o P2 foi de apenas 3,4%.

**Tabela 3.** Comparação entre a evapotranspiração calculada na Fazenda Busato,  $ET_{d_{FB}}$  (mm dia<sup>-1</sup>), com um valor uniforme para toda a Fazenda, e a ETd estimada neste trabalho, calculada para cada pivô, sendo obtida através de imagens Landsat-5 –  $ET_M$  (mm dia<sup>-1</sup>) e a diferença relativa – DR (%) entre as mesmas.

Data		P1	P2	P3	P4
25/mar	$ET_{d_{FB}}$	4,31	4,31	4,31	4,31
	$ET_d$	5,16	5,61	3,91	4,32
	DR	19,7	30,2	9,3	0,2
26/abr	$ET_{d_{FB}}$	5,5	5,5	5,5	5,5
	$ET_d$	6,52	6,71	6,4	6,55
	DR	18,5	22,0	16,4	19,1
13/jun	$ET_{d_{FB}}$	2,68	2,68	2,68	2,68
	$ET_d$	4,52	2,59	3,37	4,39
	DR	68,7	3,4	25,7	63,8

Para o período do florescimento da cultura, correspondente a imagem do dia 26/04/07, os valores estimados da ETd foram semelhantes, variando de 16,4 a 22%. Enquanto que o valor da evapotranspiração da Fazenda Busato foi de 5,5 mm dia<sup>-1</sup>, a ETd média estimada foi superior a 6,5 mm dia<sup>-1</sup>, mostrando assim uma demanda hídrica maior da cultura durante esse período.

Os valores obtidos para a evapotranspiração apresentaram diferenças entre os pivôs estudados, evidenciando a necessidade de um monitoramento e conhecimento de cada área, bem como uma avaliação do estágio fenológico em que a cultura se encontra. Essas diferenças devem fazer parte do planejamento de irrigação das áreas, evitando a irrigação uniforme e otimizando o uso da água.

## CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a metodologia usada apresentou-se como uma ferramenta eficaz para na estimativa da evapotranspiração real diária – ETd e do índice de vegetação da diferença normalizada, IVDN, podendo auxiliar na otimização e racionalização do uso da água para irrigação do algodoeiro.

## CONTRIBUIÇÃO PRÁTICA E CIENTÍFICA DO TRABALHO

Importante ferramenta que ajuda ao produtor a otimizar o uso da água, especialmente para grandes áreas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration** - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and drainage paper 56).

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, 2007.

BARRETO, A. N.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, A. A. G. Cálculo da necessidade hídrica do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência, ETo, e no coeficiente de cultura, kc, para Barreiras, BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6., 2007, Uberlândia. **O algodão como oportunidade de negócios: anais**. Uberlândia: ABRAPA; AMIPA; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007.

BASTIAANSEN, 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 Draining Engineering**, v. 131, n. 1, p. 85- 93, 2005.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLSLAG, A. A. M. A Remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) – formulation. **Journal of Hydrology**, v. 213, p.198-212, 1998.

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

GRIMES, D. W.; EL-ZIK, K. M. **Cotton**. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p. 741-773. (Agronomy Series, 30).

MONIN, A. S.; OBUKHOV, A. M., Osnovnye zakonomernosti turbulentnogo peremesivaniya v prizemnom sloe atmosfery. **Trudy Geofizyka Instytut. AN SSSR**, v. 24, n. 151, p. 163-187. 1954.

PLANT, R. E.; MUNK, D. S.; ROBERTS, B. R.; VARGAS, R. L.; RAINS, D. W.; TRAVIS, R. L.; HUTMACHER, R. B. Relationships between remotely sensed reflectance data and cotton growth and yield. **Transactions of the ASAE**. v. 43, p. 535-546. 2000.

OOSTERHUIS, D. M. **Growth and development of cotton plant**. Fayterville: University of Arkansas, Arkansas Cooperative Extension Service, 1992. 24 p. (MP332-4M-9-92R).

SILVA, B. B.; 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.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 - TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

ROSOLEM C. A. Fenologia e ecofisiologia no manejo do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Ed.) **Algodão no Cerrado do Brasil**. Brasília: ABRAPA, 2007. 918 p.

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