

## DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO SOB DIFERENTES MANEJOS DO SOLO POR SENSORIAMENTO REMOTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Jhon Lennon Bezerra da Silva<sup>1</sup>, Frederico Abraão Costa Lins<sup>1</sup>, Alan César Bezerra<sup>1</sup>, Geber Barbosa de Albuquerque Moura<sup>2</sup>, Pabrcio Marcos Oliveira Lopes<sup>2</sup>, Ênio Farias de França e Silva<sup>3</sup>

**RESUMO:** Deve-se existir interesse pleno em monitorar os recursos hídricos das regiões semiáridas do Brasil. O conhecimento do padrão de comportamento dos componentes do ciclo hidrológico como a evapotranspiração é essencial para a gestão do uso sustentável da água. Objetivou-se monitorar e estimar-se a evapotranspiração real diária ( $ET_{r\ 24h}$ ) nos diferentes manejos do solo por meio de modelagem espaço-temporal de imagens de satélite utilizando sensoriamento remoto no município de Iguatu, Ceará. Foram utilizados dados meteorológicos de superfície, para correções e calibrações das imagens de satélite. Mapas temáticos de  $ET_{r\ 24h}$  foram desenvolvidos pelo *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL) e avaliados quanto a sua variabilidade. Os mapas de  $ET_{r\ 24h}$  apresentaram um padrão de distribuição espaço-temporal de média variabilidade (CV entre 17,0 e 49,0%), destacando alta heterogeneidade. Áreas de solo exposto e pouca cobertura vegetal favoreceram a diminuição da  $ET_{r\ 24h}$  (0,00 a 2,39 mm dia<sup>-1</sup>). Áreas irrigadas e vegetação de Caatinga densa apresentaram maior  $ET_{r\ 24h}$  (2,96 a 4,29 mm dia<sup>-1</sup>). O monitoramento espaço-temporal da evapotranspiração por sensoriamento remoto permite auxiliar na gestão do manejo sustentável dos sistemas agrícolas.

**PALAVRAS-CHAVE:** recursos hídricos, manejo de irrigação, geoprocessamento.

## SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION OF EVAPOTRANSPIRATION UNDER DIFFERENT SOIL MANAGEMENT BY REMOTE SENSING IN BRAZILIAN SEMIARID

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, PE. Depto. de Engenharia Agrícola. Av. D. Manoel de Medeiros, SN; Dois Irmãos, Recife, PE; CEP: 52171-900. E-mail: jhonlennoigt@hotmail.com; frederico.lins@ufrpe.br; joezandre@hotmail.com; cezaralan.a@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Doutor, Depto. de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, PE. E-mail: geber.moura@ufrpe.br; pabrcio.lopes@ufrpe.br

<sup>3</sup> Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife, PE. E-mail: enio.fsilva@ufrpe.br

\* O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e também o apoio do CNPq.

**ABSTRACT:** There should be full interest in monitoring the water resources of semiarid regions of Brazil. The knowledge component behavior pattern of the hydrological cycle as the evapotranspiration is essential for the management of sustainable water use. The objective of this study was to monitor and estimate the daily actual evapotranspiration ( $ET_{r\ 24h}$ ) in the different soil management by means of spatial-temporal modeling of satellite images using remote sensing in the municipality of Iguatu, Ceará. Surface meteorological data were used, for corrections and calibrations of satellite images. The thematic maps of  $ET_{r\ 24h}$  were developed by Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL) and evaluated for their variability. The  $ET_{r\ 24h}$  maps presented a spatial-temporal distribution pattern of mean variability (CV between 17.0 and 49.0%), highlighting high heterogeneity. Areas of exposed soil and low vegetation cover favored the decrease of  $ET_{r\ 24h}$ , with values of 0.00 to 2.39 mm d<sup>-1</sup>. Irrigated areas and dense Caatinga vegetation presented higher  $ET_{r\ 24h}$ , with values of 2.96 to 4.29 mm d<sup>-1</sup>. The spatial-temporal monitoring of evapotranspiration by remote sensing allows auxiliary in the management of sustainable management of agricultural systems.

**KEYWORDS:** water resources, irrigation management, geoprocessing.

## INTRODUÇÃO

As regiões do semiárido brasileiro sofrem constantemente com a baixa pluviosidade e escassez de reservas de água devido aos prolongados períodos de seca, especialmente no estado do Ceará, que tradicionalmente desenvolve agricultura de subsistência. Desde o ano de 2012, os eventos de seca se introduziram no semiárido brasileiro, bem como sobre regiões do Ceará afetando gradativamente os reservatórios, que passaram a ter baixa condição hídrica, comprometendo diretamente os usos múltiplos das localidades desde o abastecimento humano até perdas nos sistemas agrícolas (Gutiérrez et al., 2014; Marengo et al., 2018).

Dessa maneira, deve-se existir maior interesse em monitorar os recursos hídricos das regiões semiáridas, onde o conhecimento da distribuição espaço-temporal dos componentes do ciclo hidrológico é essencial, como por exemplo a evapotranspiração, importante para as atividades dos setores agrícolas e nos estudos de climatologia, meteorologia e hidrologia. A determinação da evapotranspiração é uma medida de gerenciamento eficiente para o uso adequado da água, uma vez que permitirá avaliar o dimensionamento correto dos projetos de

irrigação, garantindo o manejo sustentável dos sistemas agrícolas e dos recursos hídricos do semiárido (Tang et al., 2013; Salama et al., 2015).

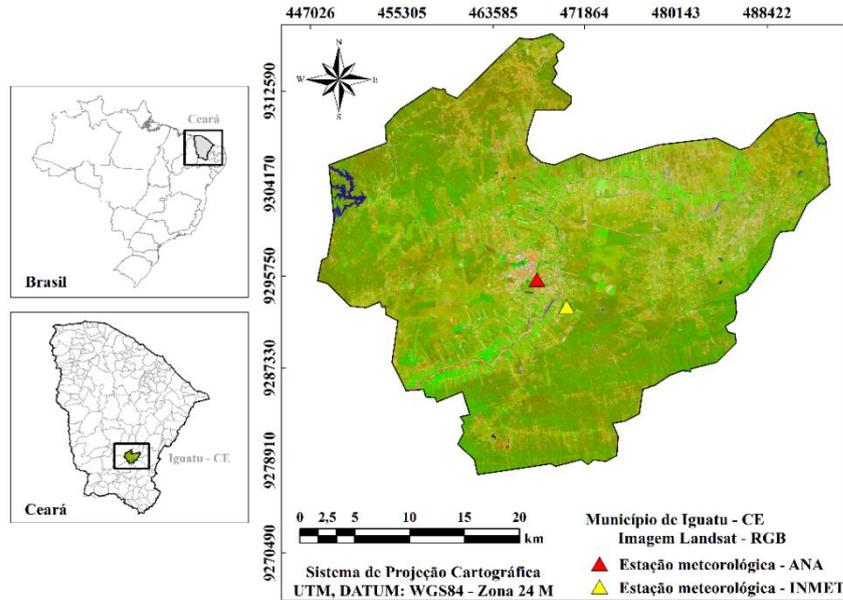
O geoprocessamento na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e imagens de satélite vem dando suporte no monitoramento das mudanças climáticas, demanda hídrica e no padrão de resposta do uso e ocupação do solo das regiões semiáridas. A modelagem espaço-temporal por sensoriamento remoto visa suprir necessidades como a ausência de dados ambientais em larga escala e, principalmente, a obtenção da evapotranspiração sobre os diversos manejos do solo. O processamento de imagens com aplicação do algoritmo baseado no balanço de energia da superfície terrestre (SEBAL) permite obter mapas temáticos dos componentes do balanço de energia realizando análises no espaço e no tempo de maneira prática e eficiente a um baixo custo operacional, necessitando junto as imagens, apenas da complementação de dados meteorológicos de superfície (Bastiaanssen, 2000).

Neste contexto, objetivou-se monitorar e estimar-se a evapotranspiração real diária nos diferentes manejos do solo por meio de modelagem espaço-temporal a partir do uso do geoprocessamento na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto utilizando imagens de satélites em região do semiárido brasileiro, entre os anos de 2008 e 2015.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de aplicação da presente pesquisa foi o município de Iguatu, que se encontra inserido na Mesorregião Centro-Sul do estado do Ceará, Região Nordeste do Brasil, mais especificamente no semiárido brasileiro, estando localizado entre os paralelos de  $06^{\circ} 13' 8,25''$  S (UTM: 9312590 m) e  $06^{\circ} 35' 58,49''$  S (UTM: 9270490 m), e entre os meridianos de  $39^{\circ} 6' 16,77''$  W (UTM: 488422 m)  $39^{\circ} 28' 45,16''$  W (UTM: 447026 m), altitude de 217,8 m, a oeste do meridiano de Greenwich. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta um clima quente e semiárido, do tipo BSw'h', com temperatura média anual do ar de 26 a 28 °C e precipitação média anual de 817,91 mm, conforme série histórica de dados climatológicos de 30 anos (1989 a 2018) registrado pela estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) de código: 00639044 ( $06^{\circ} 22' 27,4''$  S; UTM: 9295412 m, e  $39^{\circ} 17' 35,9''$  W; UTM: 467563 m) (Alvares et al., 2013; IPECE, 2017).

Na Figura 1 está ilustrado o município de Iguatu a partir de uma imagem de satélite do Landsat-8, sensor OLI (*Operational Land Imager*) com resolução espacial de 30 m, falsa cor infravermelho com as bandas multiespectrais 7; 5 e 3, datada em 13/06/2018. Estão ilustradas no mapa as estações meteorológicas responsáveis pelos dados meteorológicos de superfície.



**Figura 1.** Mapa espacial de localização da área de estudo, município de Iguatu, Ceará, Brasil.

Foram coletados dados meteorológicos de superfície, como destacado na Tabela 1 a temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C), umidade relativa do ar (UR, %), pressão atmosférica do ar ( $P_o$ , kPa), velocidade do vento a 10 metros de altura ( $u_{10m}$ ,  $m s^{-1}$ ) e radiação solar global, média diária ( $R_s$  24h,  $W m^{-2}$ ) registrados na estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na área de estudo ( $6^{\circ} 23' 47'' S$ ; UTM: 9292970 m, e  $39^{\circ} 16' 8'' W$ ; UTM: 470264 m, altitude de 233 m).

**Tabela 1.** Dados de meteorológicos de superfície registrados durante à passagem dos satélites

Data	$T_{ar}$ (°C)	UR (%)	$P_o$ (kPa)	$u_{10m}$ ( $m s^{-1}$ )	$R_s$ 24h ( $W m^{-2}$ )
21/09/2008	30,2	35,0	98,99	4,0	308,11
20/06/2009	26,8	62,0	98,98	5,3	222,44
29/08/2011	29,8	37,0	99,08	4,3	286,40
03/09/2013	30,3	40,0	98,92	3,3	182,52
22/09/2014	31,9	44,0	98,85	1,9	176,07
24/08/2015	30,3	36,0	98,90	4,2	181,04

Na Tabela 2 destaca-se o acumulado das precipitações pluviométricas dos 20 dias e do trimestre anterior ao imageamento dos satélites e o total anual precipitado na região de estudo.

**Tabela 2.** Precipitação acumulada anterior à passagem dos satélites

Data de imageamento	Precipitação pluviométrica acumulada (mm)		
	20 dias anterior	Trimestre anterior	Total anual
21/09/2008	0,0	30,2	1392,8
20/06/2009	14,2	516,2	1079,2
29/08/2011	9,8	125,5	1335,6
03/09/2013	6,4	149,0	649,8
22/09/2014	8,2	58,8	867,2
24/08/2015	0,0	34,0	526,2

O estudo foi realizado na estação seca da região através de seis imagens multiespectrais dos satélites Landsat-5, sensor TM (*Thematic Mapper*) e Landsat-8, sensor OLI/TIRS (*Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor*), adquiridas através da agência espacial da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) na plataforma da USGS (*United States Geological Survey*). A Tabela 3 destaca parâmetros de entrada, essenciais no processamento digital das imagens, como datas e horários das passagens dos satélites; quadrado da razão entre as distâncias média e instantânea entre a Terra e o Sol ( $d_r$ ) em dado dia do ano imageado; ângulo zenital solar ( $\theta$ ); transmissividade atmosférica ( $\tau_{sw}$ ) e emissividade atmosférica instantânea do ar ( $\epsilon_a$ ).

**Tabela 3.** Parâmetros de entrada do processamento digital das imagens de satélite nos instantes do imageamento da área de estudo

Satélite	Data	Horário	$d_r$	$\theta$	$\tau_{sw}$	$\epsilon_a$
Landsat-5 TM	21/09/2008	09h32min	0,99	0,86	0,75	0,76
	20/06/2009	09h36min	0,97	0,74	0,72	0,77
	29/08/2011	09h36min	0,98	0,83	0,74	0,76
Landsat-8 OLI/TIRS	03/09/2013	09h49min	0,98	0,87	0,75	0,76
	22/09/2014	09h47min	0,99	0,89	0,74	0,76
	24/08/2015	09h47min	0,98	0,84	0,75	0,76

O processamento das imagens foi efetivado pelo algoritmo do balanço de energia da superfície terrestre (*Surface Energy Balance Algorithms for Land – SEBAL*). No SEBAL foi desenvolvido um procedimento numérico iterativo através das bandas multiespectrais, utilizando um sistema de modelagem espaço-temporal na caracterização de mapas temáticos da superfície terrestre (Bastiaanssen, 2000). Os níveis de cinza das bandas foram convertidos em radiância espectral e refletância monocromática através de coeficientes de calibração disponibilizados pela NASA/USGS e aplicados neste estudo conforme Chander et al. (2009).

A determinação do balanço de radiação e energia permitiu originar a evapotranspiração real diária, através de parâmetros biofísicos como, saldo de radiação, fluxos de calor no solo, sensível e latente. Vale destacar o fluxo de calor sensível ( $H$ ,  $W m^{-2}$ ), processo cerne do SEBAL, portanto requer atenção, uma vez que algumas hipóteses são estabelecidas. A estimativa de  $H$  baseia-se na velocidade do vento e temperatura da superfície através da calibração interna da diferença de temperatura entre dois níveis de altura próximos à superfície (cobertura vegetal e nível de referência na atmosfera). Sendo necessário o conhecimento dos pixels "âncoras" (pixel frio e quente). O "pixel frio" foi escolhido sobre a superfície da água, ou seja, o fluxo de calor sensível igual a zero ( $H = 0 W m^{-2}$ ), portanto, há uma situação neutra na correção de estabilidade para o transporte de calor e na diferença de temperatura, igual a zero. O "pixel quente" foi

escolhido em área com pouca vegetação e baixo teor de umidade, assumindo que o fluxo de calor latente no pixel quente é zero ( $LE = 0 \text{ W m}^{-2}$ ). As variáveis meteorológicas empregadas no H foram a velocidade do vento (a um determinado nível de altura) e altura média da vegetação (m), determinado conforme a Equação 1 (Bastiaanssen, 2000).

$$H = \rho \times c_p \frac{(a + b \times T_s)}{r_{ah}} \quad (1)$$

em que,  $\rho$  é a massa específica do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ );  $c_p$  é o calor específico do ar, com pressão constante ( $1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ); “a” e “b” são constantes de calibração da diferença de temperatura entre duas alturas e  $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor sensível ( $\text{s m}^{-1}$ ).

Com base na fração evaporativa instantânea ( $FE_{inst}$ ) foi determinada a evapotranspiração real diária. A  $FE_{inst}$  é aproximadamente igual a fração evaporativa diária ( $FE_{24h}$ ) conforme Equação 2 (Bastiaanssen, 2000).

$$FE_{inst} = \left( \frac{LE}{R_n - G} \right) \Rightarrow FE_{24h} = \frac{LE_{24h}}{R_{n\ 24h}} \quad (2)$$

A partir da equação da  $FE_{inst}$ , admitiu-se que  $G_{24h} = 0$ . Com isso, o fluxo de calor latente diário ( $LE_{24h}$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) foi determinado conforme a Equação 3.

$$LE_{24h} = FE_{inst} \times R_{n\ 24h} \quad (3)$$

em que,  $LE$  é o fluxo de calor latente ( $\text{W m}^{-2}$ );  $R_n$  saldo de radiação ( $\text{W m}^{-2}$ );  $G$  fluxo de calor no solo ( $\text{W m}^{-2}$ ), de modo que,  $LE$ ,  $R_n$  e  $G$  são medidos instantaneamente.  $R_{n\ 24h}$  é o saldo de radiação diário à superfície ( $\text{W m}^{-2}$ ), encontrado conforme Bastiaanssen (2000).

A evapotranspiração real diária ( $ET_{r\ 24h}$ ,  $\text{mm dia}^{-1}$ ) foi estimada pelo SEBAL através da conversão do  $LE_{24h}$  em  $ET_{r\ 24h}$  de acordo com a Equação 4.

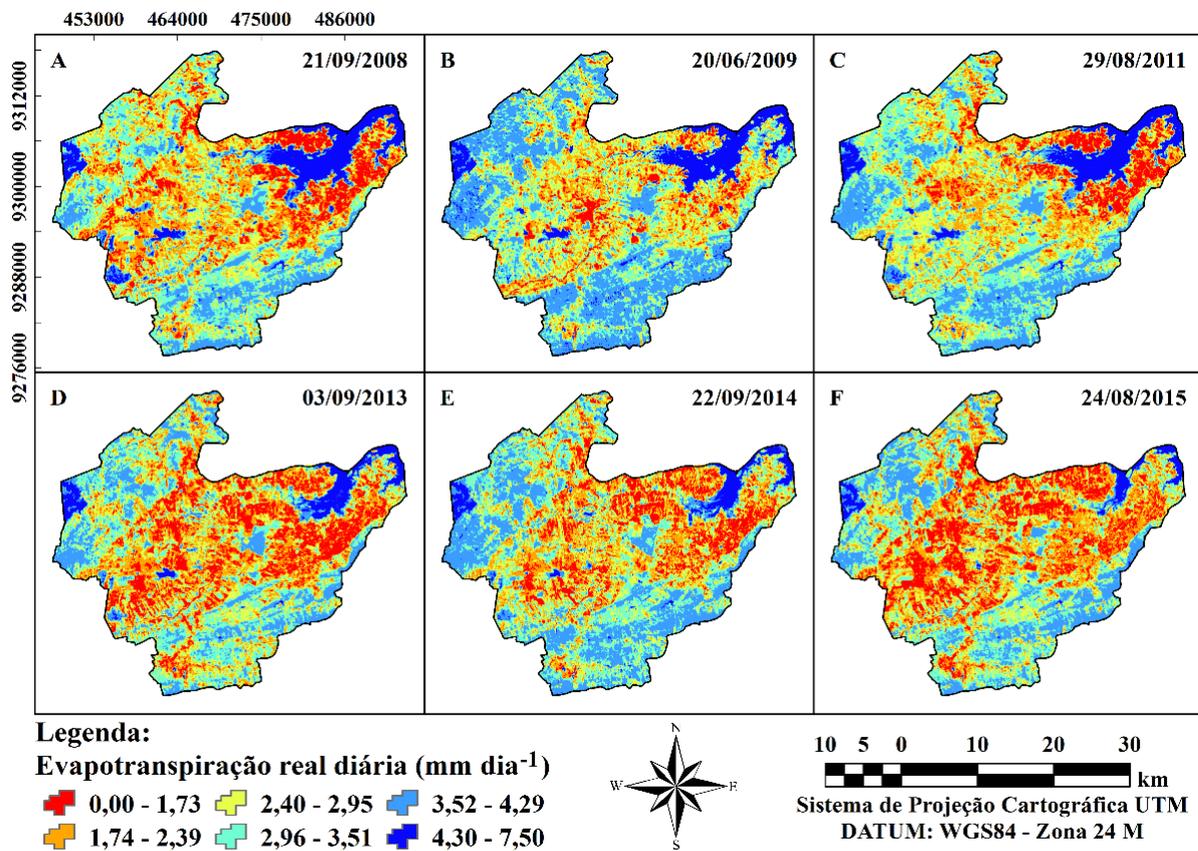
$$ET_{r\ 24h} = \frac{86400 \times LE_{24}}{2450000} \quad (4)$$

em que, os valores 86400 e 2450000 correspondem a transformação do  $LE$  em  $\text{mm dia}^{-1}$ .

Os resultados foram avaliados pela estatística descritiva, por medidas de tendência central (média, moda, mediana) e dispersão (mínimo, máximo, desvio padrão - DP e coeficiente de variação - CV). Os mapas temáticos da evapotranspiração foram avaliados quanto a variabilidade espaço-temporal conforme valores do CV (%), como proposto por Warrick & Nielsen (1980), sendo de baixa variabilidade:  $CV < 12\%$ ; média variabilidade:  $12 < CV < 60\%$  e alta variabilidade:  $CV > 60\%$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantificação e o monitoramento espaço-temporal da evapotranspiração real diária no desenvolvimento de mapas temáticos da superfície terrestre originou padrões de respostas importantes a partir da análise estatística dos resultados nos diferentes manejos do solo da região semiárida do Brasil, entre o período de 2008 e 2015. Na Figura 2 está ilustrada a distribuição espaço-temporal da evapotranspiração real diária ( $ET_{r\ 24h}$ ) para o município de Iguatu-CE, região semiárida, com valores variando de 0,00 a 7,50  $\text{mm dia}^{-1}$ . Os mapas temáticos da  $ET_{r\ 24h}$  indicaram-se de média variabilidade, com CV entre 17,0 e 49,0% (Tabela 4). A região apresenta alta heterogeneidade, destacando distintos usos do solo como, áreas agrícolas, corpos hídricos, vegetação natural de Caatinga, área urbana e solo exposto.



**Figura 2.** Distribuição espaço-temporal da evapotranspiração real diária na região semiárida nos dias de imageamento: 21/09/2008 (A); 20/06/2009 (B); 29/08/2011 (C); 03/09/2013 (D); 22/09/2014 (E) e 24/08/2015 (F).

Os menores valores de  $ET_{r\ 24h}$  foram observados em áreas de solo exposto e pouca cobertura vegetal, como também na zona urbana da região (pixels em tons vermelhos e alaranjados) estando entre os respectivos valores de 0,00 a 1,73  $\text{mm dia}^{-1}$ ; 1,74 a 2,39  $\text{mm dia}^{-1}$  (Figura 2). A tendência de diminuição é justificada pelo desmatamento das florestas de Caatinga densa e aumento de

áreas impermeáveis (atividade antrópica) e também pelo déficit hídrico acentuado (baixa umidade do solo) devido os eventos de seca severa na região semiárida.

As áreas irrigadas movidas pelas ações e atividades antrópicas e áreas de vegetação nativa (pixels azuis claros) obtiveram elevados valores de  $ET_{r\ 24h}$ , variando entre 2,96 e 4,29  $\text{mm dia}^{-1}$  (Figura 2). As áreas irrigadas, por sua vez, também obtiveram maior quantidade de energia disponível na forma calor latente, nesse caso sendo particionada pela evaporação do solo e transpiração das plantas. Tang et al. (2013) salientaram que a quantificação da distribuição da evapotranspiração em diferentes escalas temporais e espaciais é fundamental nos estudos relacionados a meteorologia, hidrologia, mudança climática global e a maioria dos principais campos científicos relacionados à água. Salama et al. (2015) enfatizam que a estimativa da evapotranspiração real é fundamental na gestão e planejamento dos recursos hídricos, sendo parte importante do gerenciamento da água na agricultura, nos estudos locais e regionais de balanço hídrico. Zhang et al. (2016) destacam a alta capacidade do sensoriamento remoto através dos avanços adicionais sobre a evapotranspiração no monitoramento da disponibilidade de água e as respostas dos ecossistemas relacionadas tanto diante das mudanças climáticas, como também, nos impactos motivados pelas atividades antropogênicas.

Os mapas temáticos dos dias 21/09/2008 (Figura 2A), 20/06/2009 (Figura 2B) e 29/08/2011 (Figura 2C) são destacados pela alta disponibilidade hídrica em relação aos demais, foram anos com boa quadra chuvosa (respectivos valores de 1392,8; 1079,2 e 1335,6  $\text{mm ano}^{-1}$ , Tabela 2), o que favoreceu a maior retirada de água conforme pode-se observar nos valores máximos e médios (Tabela 4), influenciados pelas altas temperaturas observadas na região.

O dia 20/06/2009 (Figura 2B), especialmente, apresentou a partir das áreas agrícolas irrigadas uma maior evapotranspiração, seguido pelas áreas bem vegetadas com floresta de Caatinga, por reterem mais água pelo aumento da umidade do solo, motivados pelas chuvas do trimestre anterior e precipitação antecedente ao seu imageamento (Tabela 2). Lins et al. (2017) ressaltaram que a evapotranspiração real diária está diretamente relacionada com capacidade da vegetação em absorver a umidade do solo por meio das raízes e perdê-la para a atmosfera, especialmente via superfície foliar, ainda frisaram que ao se trata de regiões semiáridas, tal processo torna-se mais evidente com a aproximação do período chuvoso e principalmente diante da própria incidência de chuvas.

A Tabela 4 apresenta os valores estatísticos da evapotranspiração real diária, apesar de todas as datas em análise serem do período seco para região, observa-se que os valores médios decrescem relativamente nos dias: 03/09/2013, 22/09/2014 e 24/08/2015. Foram anos com baixos volumes de chuvas, com totais anuais de 649,8; 867,2 e 526,2  $\text{mm}$  (Tabela 2),

respectivamente. Os eventos de seca afligiram o semiárido a partir do ano de 2012, uma vez que se justifica a baixa cobertura vegetal e o aumento das áreas de solo exposto na região, o que consequentemente favoreceu a redução da  $ET_{r\ 24h}$ .

**Tabela 4.** Parâmetros estatísticos da evapotranspiração real diária da região semiárida

Satélite	Data de imageamento	Evapotranspiração real diária – $ET_{r\ 24h}$ (mm dia <sup>-1</sup> )						
		Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Moda	DP	CV (%)
Landsat-5 TM	21/09/2008	0,00	7,50	3,69	3,62	0,58	1,35	36,0
	20/06/2009	0,00	5,26	3,11	3,23	1,60	0,87	28,0
	29/08/2011	0,00	7,11	3,81	3,76	4,04	1,25	17,0
Landsat-8 OLI/TIRS	03/09/2013	0,00	4,58	1,77	1,82	2,36	0,87	49,0
	22/09/2014	0,00	4,29	2,28	2,36	2,78	0,61	27,0
	24/08/2015	0,00	4,50	1,62	1,73	2,39	0,77	47,0

Os corpos hídricos (pixels azuis escuros) apresentaram altos valores de  $ET_{r\ 24h}$ , com faixas mais elevadas nos reservatórios Trussu (4,30 mm dia<sup>-1</sup>) e Orós (7,50 mm dia<sup>-1</sup>), todavia cabe ressaltar que nesse caso, a quantidade de energia disponível é destinada na forma de calor latente de evaporação, sendo para as superfícies líquidas o processo predominante da evaporação (Figura 2). Bastiaanssen (2000) detectou sobre corpos hídricos valor semelhante de evapotranspiração, de 7,2 mm dia<sup>-1</sup>. As chuvas dos 20 dias e trimestre anterior ao imageamento (Tabela 2) serviram para compreensão do particionamento do balanço de energia e das taxas de evapotranspiração ao longo do tempo. Sendo as épocas de maior disponibilidade hídrica na superfície e maiores valores precipitados associadas a maior quantidade de energia disponível na forma de calor latente, por conseguinte apresentaram altas taxas de evapotranspiração, reduzindo assim, o fluxo de calor sensível. Entretanto, a ausência da precipitação e baixa condição hídrica do ambiente para alguns dias, tiveram efeito contrário, com baixas taxas evapotranspirativas, sendo a maior quantidade de energia disponível na forma de calor sensível.

## CONCLUSÕES

A quantificação e o monitoramento espaço-temporal da evapotranspiração real diária por sensoriamento remoto permite auxiliar na agricultura, na gestão do manejo adequado dos sistemas agrícolas, excepcionalmente nos períodos de seca, quando a escassez de água é predominante e necessita garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos no semiárido.

A evapotranspiração real evidenciou sensibilidade à presença e/ou ausência de chuva e aos componentes do balanço de energia da superfície e constatou redução da cobertura vegetal

ao longo do tempo, causado principalmente pelo déficit hídrico agravado pelas secas prolongadas da região semiárida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.

GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal de 2017**. pdf., IPECE, 2017. 18 p.

LINS, F. A. C.; SANTOS ARAÚJO, D. C.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Irriga**, v. 1, p. 64-75, 2017.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1973-1985, 2018.

SALAMA, M. A.; YOUSEF, K. M.; MOSTAFA, A. Z. Simple equation for estimating actual evapotranspiration using heat units for wheat in arid regions. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 3, p. 418-427, 2015.

TANG, R.; LI, Z. L.; CHEN, K. S.; JIA, Y.; LI, C.; SUN, X. Spatial-scale effect on the SEBAL model for evapotranspiration estimation using remote sensing data. **Agricultural and forest meteorology**, v. 174, p. 28-42, 2013.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL D, ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press. 1980. 350 p.

ZHANG, K.; KIMBALL, J. S.; RUNNING, S. W. A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. **Water**, v. 3, v. 834-853, 2016.