

## **REGIONALIZAÇÃO DE VARIÁVEIS HÍDRICAS POR SENSORIAMENTO REMOTO EM DIFERENTES AGRO-ECOSSISTEMAS**

A. H. de C. Teixeira<sup>1</sup>, L. H. Bassoi<sup>2</sup>, H. L. Lopes<sup>3</sup>, F. B. T. Hernandez<sup>4</sup>, R. R. D. Ramos<sup>5</sup>

**RESUMO:** Variáveis hídricas básicas foram analisadas por sensoriamento remoto em agro-ecossistemas mistos no Submédio da bacia do rio São Francisco, objetivando o fornecimento de subsídios ao gerenciamento hídrico em larga escala. Diversos estágios fenológicos das videiras com contínuo suprimento de água e elevado teor de matéria orgânica nos parreirais foram as causas dos menores valores da resistência da superfície aos fluxos hídricos, maiores valores de umidade do solo e elevadas taxas de evapotranspiração, em relação aos pomares de manga, onde o solo arenoso promoveu altas taxas de drenagem profunda para o lençol freático. As ferramentas usadas provaram ser eficientes na quantificação de variáveis hídricas em escala regional envolvendo diferentes tipos de vegetação.

**PALAVRAS-CHAVE:** resistência da superfície; umidade do solo; evapotranspiração

## **REGIONALIZATION OF WATER VARIABLES BY REMOTE SENSING IN DIFFERENT AGRO-ECOSYSTEMS**

**SUMMARY:** Water variables were analyzed by remote sensing in mixed agro-ecosystems in the Low-Middle São Francisco river basin, aiming to subsidize the water management. Several crop stages of vineyards, with continuous water supply and high amount of soil organic matter were the reasons of lower surface resistance to water fluxes, higher soil

---

<sup>1</sup> Pesquisador Ph.D., Embrapa Semiárido, CP 23, CEP 56302-970, Petrolina, PE. Fone: (87) 3862171. e-mail: heribert@cpatsa.embrapa.br

<sup>2</sup> Pesquisador Doutor, Departamento de Física do Solo, Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

<sup>3</sup> Prof, M.Sc., Departamento de Geoprocessamento, UNIVASF, 56300-000, Petrolina-PE

<sup>4</sup> Prof. Doutor, Departamento de Hidráulica e Irrigação, UNESP, Ilha Solteira, SP.

<sup>5</sup> Aluno de graduação, Departamento de Engenharia Agrícola, UNIVASF, 56300-000, Petrolina-PE

moisture and lower evapotranspiration rates than for the mango orchards, where the sandy soil caused high drainage rates to the water table. The tools tested were proved to be efficient for quantifying water variables at the large scale involving different types of vegetation.

**KEYWORDS:** surface resistance; soil moisture; evapotranspiration

## **INTRODUÇÃO**

A vegetação predominante nas condições semiáridas da bacia do Submédio do rio São Francisco é a “Caatinga”, a qual está sendo substituída por fruteiras irrigadas. A produção de videiras e mangueiras sob irrigação vem causando mudanças nos balanços de energia e de água com relação às condições naturais, com o consumo hídrico destas culturas excedendo aquele da vegetação natural, o que provoca redução do fluxo do rio à jusante. A magnitude deste efeito pode ser analisada por sensoriamento remoto. O uso de imagens de alta resolução foi comprovado em parreirais e fruteiras, no monitoramento de variáveis hídricas (NAOR, 2006; MOLLER et al., 2007), sendo algumas aplicações do sensoriamento remoto para ecossistemas mistos também realizadas (TEIXEIRA, 2009). O objetivo deste estudo foi usar imagens Landsat em conjunto com dados agrometeorológicos, na obtenção de variáveis hídricas em parreirais e mangueirais intercalados com vegetação natural. A quantificação destas variáveis é útil para subsídio aos critérios de expansão das áreas irrigadas na região do Submédio do rio São Francisco com mudança de uso da terra.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área de produção comercial de mangas é localizada na fazenda Fruitifort, no município de Petrolina-PE. Uma estação agrometeorológica automática (09°22'22.99" S; 40°33'40.47" W) foi usada nas vizinhanças dos pomares. A área de produção de uvas analisada, é localizada na fazenda Vale das Uvas, no mesmo município, onde outra estação fez parte do estudo (09°18'50.93" S; 40°22'22.98"W). Ambas as culturas irrigadas são intercaladas por vegetação natural denominada “Caatinga”. Os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto foram provenientes de mapas temáticos do Landsat 5 dos dias 15 de novembro de 2005, 30 de julho de 2006 e 22 de janeiro de 2007. A Tabela 1 resume os passos para a modelagem dos parâmetros hídricos em larga escala.

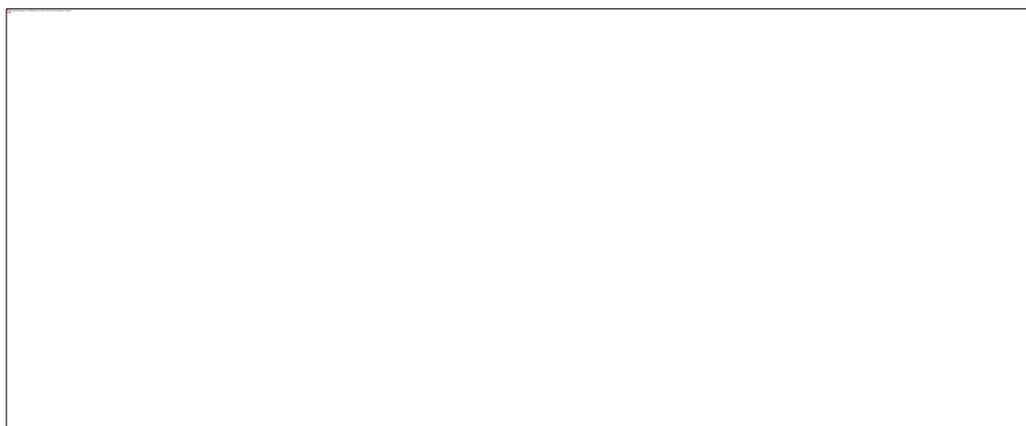
**Tabela 1.** Resumo da modelagem dos parâmetros envolvidos nas trocas de energia e água entre as superfícies e a atmosfera

| Parâmetro          | Equação   | a       | b      | R <sup>2</sup> |
|--------------------|---|---------|--------|----------------|
| r <sub>s</sub>     | $r_s = \exp[a(T_0/\alpha_0)(1 - \text{NDVI}) + b]$    | 0,04    | 2,72   | 0,93           |
| ET/ET <sub>0</sub> | $ET/ET_0 = \exp\{a + b[T_0/(\alpha_0 \text{NDVI})]\}$ | 1,90    | -0,008 | 0,91           |
| θ <sub>40</sub>    | $\theta_{40} = ar_s + b$                              | -0,0005 | 0,36   | 0,95           |
| θ <sub>60</sub>    | $\theta_{60} = ar_s + b$                              | -0,0005 | 0,37   | 0,70           |

Seguindo os passos representados pela Tabela 1, equações de regressão simples foram aplicadas para correções atmosféricas na obtenção do albedo ( $\alpha_0$ ) e temperatura da superfície ( $T_0$ ) de acordo com (TEIXEIRA, 2009). As imagens de NDVI,  $\alpha_0$  e  $T_0$  foram os parâmetros de entrada para a modelagem da resistência da superfície aos fluxos hídricos ( $r_s$ ) e da evapotranspiração atual (ET). No caso da estimativa da ET, a evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi obtida das estações agrometeorológicas e usada na modelagem (TEIXEIRA, 2010). Para a umidade do solo nas profundidades efetivas de 60 cm ( $\theta_{60}$ ) para os pomares de mangueira e 40 cm ( $\theta_{40}$ ) para os parreirais, modelos específicos foram elaborados com dados descritos em TEIXEIRA (2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

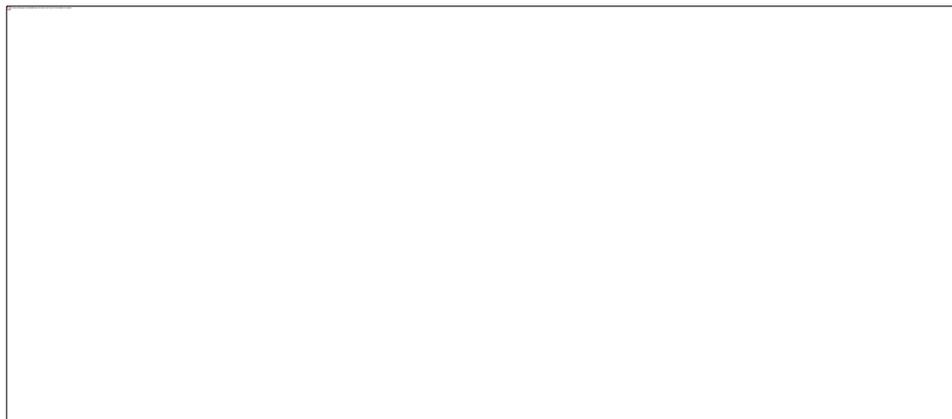
A Figura 1 apresenta os valores de  $r_s$  para os agro-ecossistemas mistos de pomares de manga, parreirais e Caatinga.



**Figura 1.** Resistência da superfície aos fluxos hídricos ( $r_s$ ) para os agro-ecossistemas mistos de mangueiras, videiras e Caatinga, em Petrolina-PE: (a) e (b) 16 de novembro de 2005; (c) e (d) 30 de julho de 2006; e (e) e (f) 22 de janeiro de 2007.

Para o período mais seco e quente (Figuras 1a e 1b), os valores dos pixels de  $r_s$  para as culturas irrigadas são bem destacados em verde sobre os valores amarronzados da Caatinga.

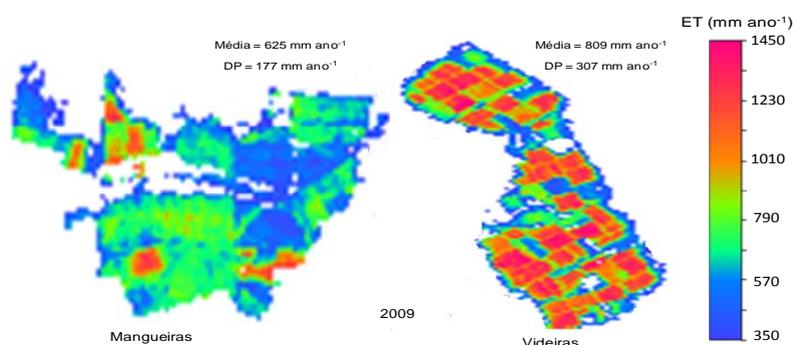
Os valores de  $r_s$  de  $800 \text{ s m}^{-1}$  para este dia permitiram a separação das culturas irrigadas da vegetação natural. As áreas com mangueiras para este período (Figura 1a) apresentam médias de  $332 \text{ s m}^{-1}$ , enquanto que os valores para videiras (Figura 1b) são em torno de  $236 \text{ s m}^{-1}$  e os da Caatinga com média de  $2674 \text{ s m}^{-1}$ . Logo após o período chuvoso (Figuras 1c e 1d), o valor médio para os pomares de manga cai para  $214 \text{ s m}^{-1}$  (Figura 1c) e os parreirais apresentam pouca variação com relação ao período anterior (Figura 1d), em torno de  $221 \text{ s m}^{-1}$ , enquanto que para Caatinga há também uma diminuição na média para  $1332 \text{ s m}^{-1}$ . Durante o período chuvoso (Figuras 1e e 1f), a similaridade para todo tipo de vegetação é evidente. Os pomares de mangueira apresentam um valor médio de  $466 \text{ s m}^{-1}$ , enquanto que para videiras este se torna  $302 \text{ s m}^{-1}$ . O valor médio de  $r_s$  para a Caatinga neste dia foi de  $409 \text{ s m}^{-1}$ , menor do que aquele para o pomar de mangas. Separando-se as culturas irrigadas da caatinga, a Figura 3 apresenta a variação espacial de  $\theta_{60}$  e  $\theta_{40}$  nas fazendas Fruitfort e Vale das Uvas obtidos em função de  $r_s$ .



**Figura 2.** Umidade do solo em mangueiras e videiras nas profundidades efetivas de 60 cm ( $\theta_{60}$ ) e 40 cm ( $\theta_{40}$ ) em Petrolina-PE: (a) e (b) 16 de novembro de 2005; (c) e (d) 30 de julho de 2006; e (e) e (f) 22 de janeiro de 2007.

No período mais seco do ano (Figuras 2a e 2b), as médias são de  $0,14$  e  $0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para as culturas da mangueira e videira, respectivamente. Os menores valores em pomares de manga são devido ao fato de que várias parcelas estão na fase de colheita, enquanto outras estão começando um novo ciclo produtivo. Os valores mais elevados nos parreirais são explicados pela maioria das plantas estarem na transição da frutificação para a colheita. Logo após o período chuvoso (Figuras 2c e 2d), as mangueiras estão geralmente na fase de crescimento dos frutos, quando uma maior quantidade de água aplicada eleva o valor médio médio de  $\theta_{60}$  para  $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Embora neste período do ano algumas videiras sejam podadas para a brotação das gemas no início de um novo ciclo produtivo, os produtores geralmente aplicam

grandes quantidades de água, elevando  $\theta_{40}$  para valores similares aos de  $\theta_{60}$  mangueiras. Dentro do período chuvoso (Figuras 2e e 2f), em geral os produtores diminuem a irrigação fazendo os valores permanecerem em torno de  $0,10$  a  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Além de uma maior diferenciação dos estágios fenológicos das videiras com relação às mangueiras, outro importante aspecto para os mais baixos valores de  $\theta_{60}$  da fazenda Fruitfort se devem ao solo arenoso o qual drena grandes quantidades de água para o lençol freático, enquanto que no caso dos parreirais da fazenda Vale das uvas a elevada quantidade de matéria orgânica aumenta a capacidade de retenção de umidade do solo (TEIXEIRA, 2009). A média das imagens de  $ET/ET_0$  obtidas pela equação apresentada na Tabela 1 envolvendo as diferentes condições do ano foi multiplicada pelos valores anuais de  $ET_0$  de 2009 para a obtenção da  $ET$  em nível de fazenda (Figura 2).



**Figura 3.** Evapotranspiração atual em mangueiras e videiras nas fazendas comerciais Fruitfort e Vale das Uvas, respectivamente, no município de Petrolina-PE, no ano de 2009.

A faixa de valores para  $ET$  em mangueiras foi entre  $400$  e  $1250 \text{ mm ano}^{-1}$ , enquanto para as videiras esta variou de  $400$  a  $1400 \text{ mm ano}^{-1}$ . A razão dos valores anuais mais elevados para parreirais são os contínuos ciclos produtivos com elevadas taxas diárias, embora maiores valores de desvio padrão (DV) são verificados, devido à coexistência de diferentes estágios da cultura ao longo do ano. Considerando também as áreas envolvendo Caatinga da Figura 1, as taxas evapotranspiratórias para este tipo de vegetação apresentam-se em média  $245 \text{ mm ano}^{-1}$  para 2009. As diferenças nos valores médios de  $379$  e  $564 \text{ mm ano}^{-1}$  em 2009, com relação às mangueiras e videiras, respectivamente, representam a evapotranspiração incremental, o consumo adicional de água resultante pela substituição da vegetação natural pelas fruteiras irrigadas.

## CONCLUSÕES

Imagens Landsat em conjunto com dados agrometeorológicos foram usadas para a obtenção de variáveis hídricas em nível de fazendas comerciais de mangas e uvas, intercaladas com vegetação natural nas condições semiáridas da bacia Submédio do rio São Francisco. Este estudo proporciona um melhor entendimento dos processos de troca entre a vegetação e a atmosfera, subsidiando o gerenciamento hídrico em larga escala da região. As variáveis modeladas foram a resistência da superfície aos fluxos hídricos, a evapotranspiração atual e a umidade do solo na profundidade efetiva da zona das raízes das mangueiras e dos parreirais. A separação das culturas irrigadas da Caatinga foi possível através de uma classificação simplificada com uso de funções lógicas nos valores da resistência da superfície. Maiores valores de umidade do solo foram evidenciados para a cultura da videira que para mangueiras. O solo arenoso da fazenda produtora de mangas foi outro fator para valores mais baixos, causando elevadas taxas de drenagem profunda para o lençol freático, enquanto que na fazenda de uvas, o elevado teor de matéria orgânica aumenta a capacidade de retenção de água no solo. Considerando os agro-ecossistemas mistos, ocorreram diferenças nas taxas evapotranspiratórias entre as culturas irrigadas e a caatinga, com maiores diferenças com relação aos parreirais que para os pomares de manga. Estas diferenças representam o consumo hídrico adicional pela substituição da vegetação natural por culturas irrigadas, sendo a evapotranspiração incremental dos parreirais 50% a mais que para mangueiras, devido a vários estágios da primeira cultura aliados ao contínuo suprimento de água durante o ano.

## **REFERÊNCIAS**

MOLLER, M.; ALCHANATIS, V.; COHEN, Y.; MERON, M.; TSIPRIS, J.; NAOR, A.; OSTROVSKY, V.; SPRINTSIN, M.; COHEN, S. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, v.58, p.827-838, 2007.

NAOR, A. Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. *Horticultural Reviews*, v.32, p.111-166, 2006.

TEIXEIRA, A. H. de C. Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2009, 226p.

TEIXEIRA, A.H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. *Remote Sensing*, v.2, p.1287-1319, 2010.