

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 13 (2)

Februaru 2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/1322020804>

Article link

<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=804&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



Eficiência do sensoriamento remoto aplicado ao manejo e monitoramento da agricultura irrigada - Uma revisão bibliográfica

Efficiency of remote sensing applied to the management and monitoring of irrigated agriculture - a bibliographic review

L. J. Silva, J. C. Oliveira, R. C. Santos, J. A. Rocha Filho, L. C. A. Oliveira, O. M. Yamashita

Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta

Author for correspondence: lara.alvesoliveira31@gmail.com

Resumo. Em decorrência das mudanças climáticas e o rápido crescimento da agricultura irrigada, se faz necessário o manejo inteligente dos recursos hídricos nas áreas agrícolas. Mesmo sendo o setor que menos desperdiça água, a agricultura faz uso entre 69% e 87% da água doce mundial, é fundamental o mapeamento da evapotranspiração e do coeficiente de culturas nos dias atuais, por meio de sensoriamento remoto, auxiliando no manejo dos recursos hídricos para estimar a quantidade de água utilizada por cada cultura, tomando seu uso inteligente e sem desperdícios. O presente trabalho consistiu no levantamento bibliográfico sobre as aplicações do sensoriamento remoto e sua eficiência no monitoramento e mapeamento das variáveis evapotranspiração e coeficientes de cultura, importantes para o manejo da irrigação. Foi observado que a utilização de informações espectrais de sensores térmicos de média e alta resolução espacial, podem fornecer resultados consistentes para a estimativa da evapotranspiração, uma vez que as imagens de satélite têm informações específicas para cada pixel.

Palavras-chave: mudanças climáticas, déficit hídrico, evapotranspiração.

Abstract. Because of climate change and the rapid growth of irrigated agriculture, intelligent management of water resources in agricultural areas is necessary. Even though it is the sector that least wastes water, agriculture uses between 69% and 87% of the world's fresh water, it is fundamental to map evapotranspiration and the coefficient of cultures in the present day, through remote sensing, helping in the management of resources to estimate the amount of water used by each crop, making its use intelligent and without waste. The present work consisted in the bibliographical survey on the applications of remote sensing and its efficiency in the monitoring and mapping of the variables evapotranspiration and crop coefficients, important for irrigation management. It was observed that the use of spectral information from thermal sensors of medium and high spatial resolution can provide consistent results for the estimation of evapotranspiration, since the satellite images have specific information for each pixel.

Keywords: climate change, water deficit, evapotranspiration.

Introdução

O acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera atingiu níveis sem precedentes nos últimos 800 mil anos (Lüthi et al., 2008). Após a Revolução Industrial de 1750, a concentração média global de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera aumentou 40%, o metano aumentou 150% e o óxido

nitroso, 20% (IPCC, 2014). Em 1958, a concentração média de CO₂ estava na faixa de 316 ppm nos dias atuais, de 403,3 ppm e as previsões indicam que para o ano 2100 deve alcançar 650 ppm (WMO, 2017).

As mudanças climáticas resultantes do acúmulo exagerado desses gases podem causar

sérias consequências para o planeta (IPCC, 2014). No setor agrícola, as alterações no clima podem influenciar na produtividade e manejo das culturas, pois são altamente dependentes de fatores climáticos (Rosenzweig; Iglesias, 1994). A combinação da falta de chuva, altas temperaturas, elevadas taxas de evaporação e forte competição pelos recursos hídricos, pode levar o setor agrícola a uma potencial crise, criando-se uma necessidade de deslocamento para áreas nas quais seja possível desenvolver a agricultura irrigada (Marengo et al., 2011).

Anualmente, a agricultura é responsável por 69% do uso e 87% do consumo de toda a água doce mundial, embora seja o setor que oferece melhor proveito do uso eficiente da água, melhorando a produtividade e reduzindo a fome (Unesco; Wwap, 2015). Em função do rápido crescimento da agricultura irrigada, se faz necessário a implementação de políticas públicas que objetivem o uso inteligente dos recursos hídricos (Droogers et al., 2010). No entanto, esta é uma tarefa complexa, pois são necessárias informações precisas do consumo e reservas de água para que, de uma maneira eficaz, se possa gerenciar o manejo dos cultivos, requerendo o desenvolvimento de ferramentas capazes de avaliar o volume de água realmente utilizado na agricultura irrigada (Marengo et al., 2011).

Neste sentido, mapear a evapotranspiração e os coeficientes de cultura, utilizando imagens de sensores orbitais, vêm sendo uma prática comum que permite apoiar o manejo da irrigação e estimar o consumo de água pelas culturas (Allen et al., 2005; Anderson et al., 2012). A estimativa do consumo de água por meio do sensoriamento remoto tem a vantagem de ser aplicável a extensas áreas e ser implementado em um curto espaço de tempo (FAO, 2012).

No entanto, algumas implicações devem ser questionadas, como por exemplo, o fato de que a evapotranspiração varia no tempo e no espaço dependendo da cultura agrícola, do manejo empregado, das características físicas e químicas do solo e das condições meteorológicas (Allen et al., 1998). Vale destacar que os satélites que apresentam alta resolução temporal (1-2 dias), possuem baixa resolução espacial (250x250 m) generalizando informações pontuais (Defries et al., 1995; Fisher, 1997; Wu et al., 2002), e os satélites que apresentam alta resolução espacial, apresentam baixa resolução temporal para imageamento (cerca de 16 dias) (Ippoliti-Ramilo et al., 1999), gerando incertezas na disponibilidade das imagens, podendo prejudicar o cálculo da evapotranspiração através da cobertura de nuvens (Jhorar et al., 2002).

Com base nos apontamentos destacados anteriormente, este trabalho tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre as aplicações do sensoriamento remoto e sua eficiência no monitoramento e mapeamento das

variáveis evapotranspiração e coeficientes de cultura, importantes para o manejo da irrigação.

Agricultura irrigada

Existe uma preocupação global sobre o futuro da produção de alimentos (grãos, frutas e hortaliças) fibras e biocombustíveis, que fazem uso da agricultura irrigada para serem gerados. Como é uma atividade que necessita de uma grande quantidade de recursos naturais e geralmente causa algum dano ambiental como a erosão do solo (FAO, 2013). Por isso é muito pertinente se ter a preocupação sobre a sustentabilidade da agricultura irrigada, e seus impactos para a população e o meio ambiente, surgido assim o termo agricultura irrigada sustentável (FAO, 2017).

A cada ano, o crescimento populacional vem aumentando muito, sendo que a estimativa atual é de 7,6 bilhões de pessoas utilizando atualmente 4.882.536 bilhões de litros de água (WORLDMETERS, 2015). Tal crescimento demanda também o aumento na produção de alimentos que precisa aumentar mais de 70% o que é produzido atualmente a nível mundial, para suprir os 9,1 bilhões de habitantes estimados para o ano de 2050 (UN DESA, 2009).

Em um levantamento realizado pela FAO (2013) em 2012, um total de 310 milhões de hectares eram irrigados e, 70% desse total estava localizado na Ásia, correspondendo a 35% das terras cultivadas no continente. O país com maior área irrigada no mundo é a Índia com um total de 66 milhões de hectares, seguidos por China e Estados Unidos, com 62 e 27 milhões de hectares respectivamente.

Segundo a FAO (2011), a maior parte da água utilizada para irrigação no mundo vem de fontes superficiais (61%) e o restante de águas subterrâneas. A mesma entidade estima que a agricultura irrigada ao longo dos anos vai aumentar cerca de 200 milhões de hectares, demonstrando a importância desse processo de produção de alimentos para o mundo; ao mesmo tempo em que são levantadas diversas preocupações, como por exemplo a grande quantidade de água utilizada quando comparado a outros setores da economia mundial.

O rápido crescimento da agricultura irrigada no mundo é um alerta sobre o elevado consumo de água que esse setor necessita para produção de alimentos, levando-se em consideração as restrições de disponibilidade deste recurso. Ao se analisar o quanto de água é necessário nos cultivos, em termos médios é possível constatar que, para produzir uma tonelada de grãos, são usadas mil toneladas de água, desconsiderando-se o desperdício em manejos inadequados, que aumentam ainda mais o uso de água por tonelada (FAO, 2013). Ao se analisar projetos de irrigação em todo o mundo, alguns estudos concluíram que mais da metade da água destinada à irrigação se

perde antes de atingir a o sistema radicular dos cultivos (Paz, 2000).

Outro fator a se discutir no processo de irrigação, é que apenas uma parte da água consumida para produção de alimentos é constituída de água azul (água retirada de rios). O que dificulta o processo de irrigação é que a disponibilidade de água azul depende da precipitação anual, que varia muito de ano para ano e de região para região. Esta é uma importante questão, pois não é possível o processo de gestão dessa disponibilização (apenas previsões), forçando o setor a desenvolver novas estratégias direcionadas à agricultura irrigada (Christofidis, 2008).

Com o ambiente agrícola cada vez mais dinâmico e com uma demanda cada vez maior por alimentos, é preciso pensar na sustentabilidade, uma vez que a produção de alimentos deverá atender aos 9 bilhões de habitantes em 2050. É necessário desenvolver estratégias agora, para que esse significativo incremento na produção de alimentos possa afetar o mínimo possível o meio ambiente, contribuindo para a sustentabilidade, ao mesmo tempo que as pessoas possam ter uma segurança alimentar (Conte; Boff, 2013). Em âmbito mundial, a agricultura vem sendo discutida, principalmente no que se refere ao uso sustentável da água, uma vez que é um recurso finito, associado a diversos outros problemas como a demografia, urbanização, ecologia, mudanças climáticas, e principalmente manter a população alimentada, sendo assim é primordial se pensar no uso consciente dos recursos naturais na perspectiva da sustentabilidade (Morin, 2013).

Sendo o setor que mais utiliza água no mundo, a agricultura irrigada consome aproximadamente 69% do total de água de qualidade disponível, superando em muito outros setores de produção, como as indústrias (22%) e o consumo doméstico (9%) (Christofidis, 2008). Por esse motivo, a utilização sustentável dos recursos hídricos, pelo menos no Brasil, deve fazer parte da Política Nacional de Recursos Hídricos, uma vez que a água é um elemento essencial ao desenvolvimento agrícola e, sem o controle e a administração adequados e confiáveis, não é possível atingir a prática de uma agricultura sustentável (De Fátima, 2013). No Brasil, quase metade da água consumida destina-se a agricultura irrigada (Cardoso et al., 1998).

Mesmo havendo diversas publicações com números e percentuais sobre o uso da água na agricultura no mundo, na maioria das vezes, esses valores são médias e apresentam grandes variações regionais e temporais. Por isso, torna-se imprescindível o aprimoramento para a coleta precisa dos dados sobre o uso da água por esse setor e para os outros diversos setores da economia mundial. Esses dados vão auxiliar na comunicação com a sociedade e principalmente o planejamento e a gestão correta dos recursos hídricos.

Para uma melhor comunicação entre a sociedade e setor de planejamento e gestão de recursos hídricos é pertinente trabalhar no aperfeiçoamento das estimativas da quantidade de água que cada setor faz uso. O que se sabe na verdade, é que a demanda de água varia muito de uma região para outra, sendo importante para os produtores e para o órgão gestor, como está realmente se comportando a disponibilidade de água em uma determinada região (FAO, 2017). Entender esses dados facilita a gestão e planejamento de projetos para o uso dos recursos hídricos conforme a demanda que cada local necessita, sempre fazendo a pergunta se, existe água em quantidades suficientes para atender a essa demanda? (Rodrigues, 2018).

É fato que ao longo dos anos, a agricultura irrigada tornar-se-á uma prática que vai representar uma grande preocupação e cuidado com o meio ambiente e seus recursos, devido a pressão da sociedade; que é dinâmica e exigente quanto a alimentação. Além disso, esta tem se tornado mais crítica sobre questões ambientais e sociais fazendo com que a agricultura enfrente desafios institucionais, políticos, ambientais, estruturais, científicos, de capacitação, de comunicação, técnicos, tecnológicos e climáticos possibilitando assim o avanço na produção de alimentos, mas respeitando o meio ambiente de forma sustentável (Conte; Boff, 2013).

Quase 70% da precipitação sobre o planeta acaba retornando para a atmosfera por meio da evapotranspiração. Na agropecuária, a compreensão desse processo é fundamental, devido a importância que a água tem no ciclo de produtividade das culturas agrícolas de sequeiro e principalmente as que fazem uso da irrigação. Sendo a quantificação da evapotranspiração um fator prioritário para implantação uma cultura. (Berlato; Molion, 1981)

A evapotranspiração e o coeficiente de cultura

A evapotranspiração refere-se à perda de água em forma de vapor, que ocorre na superfície do solo juntamente com a que ocorre na superfície foliar, e possui um papel importante no crescimento da planta e nas suas trocas gasosas (Kanemasu et al., 1976; Silva, 2006). É um dos processos fundamentais que controlam o equilíbrio do planeta e o conhecimento sobre os fluxos da evapotranspiração são importantes aliados para o entendimento das mudanças climáticas (Khalil et al., 2011).

As variáveis climáticas como radiação, temperatura, umidade relativa do ar, variedades da cultura e o seu estágio de desenvolvimento, são os fatores intrinsecamente relacionados à evapotranspiração (Pereira et al., 1997; Allen et al., 1998).

Para determinar a evapotranspiração, são utilizados três métodos: o balanço hídrico, métodos micrometeorológicos e empíricos (Khalidi et al.,

2011). O balanço hídrico é uma ferramenta para avaliar as intensidades de entradas e saídas de água do solo, para posteriormente definir o provável déficit hídrico da planta. Quando os valores são altos, estes são indicativos de excedência hídrica e valores baixos deficiência hídrica (Cintra et al., 2000). Os métodos micrometeorológicos e empíricos são processos que controlam o suprimento de água nas plantas através da energia resultante das interações meteorológicas (Pivetta et al., 2010).

O coeficiente de cultivo (kc) é fundamental para outorgar e dimensionar e manejar a irrigação de uma cultura, pois os valores variam conforme a disponibilidade de energética do local, tipo de cultura e estágio de crescimento e as condições meteorológicas (Allen et al., 1998). O coeficiente de cultura minimiza os impactos causados pela irrigação no meio ambiente e determina quantidade correta e momento exato de irrigar a cultura (Silva et al., 2006).

Através das estimativas de evapotranspiração, os agricultores podem avaliar o estresse hídrico e diferenciar quais parcelas estão em níveis diferentes de água e seus fluxos, reduzindo assim os impactos ambientais e mudando a forma dos agricultores gerir suas terras (Li et al., 2009; Brown et al., 2007; Firbank, 2008; Jensen, 2009).

O sensoriamento remoto aplicado à agricultura irrigada

Para o adequado manejo e uso de recursos hídricos em irrigação na agricultura, um dos primeiros passos é conhecer e compreender a dinâmica temporal da evapotranspiração (Warren; Rodrigues, 2013). O sensoriamento remoto pode ajudar a melhorar a estimativa da distribuição geográfica da evapotranspiração e, conseqüentemente, a demanda de água em grandes áreas cultivadas para fins de irrigação e manejo sustentável dos recursos hídricos (Allen et al., 1998).

O sensoriamento remoto fornece subsídios para avaliar e manejar a agricultura irrigada, avaliando a variabilidade temporal e as condições da vegetação através dos índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e do VCI (Vegetation Condition Index), que constituem uma importante fonte de informação para tomada de decisões no manejo e da irrigação (Ribeiro et al., 2017).

A primeira tentativa para estimar a Evapotranspiração foi realizada por Kanamasu et al. (1977) por meio dos satélites Landsat I e II acoplados ao sensor MSS, mas ainda não possuía uma banda termal. Posteriormente, no final da década de 1980, os satélites Landsat IV e V ganharam a banda termal adicionada ao sensor, mas somente após 1990 é que se iniciaram os trabalhos de evapotranspiração relacionado com índices de vegetação por meio da estimativa do balanço de energia na superfície (Bastiaanssen,

1995; Bastiaanssen et al., 1998a; Bastiaanssen et al., 1998b).

Os trabalhos mais recentes desenvolvidos para estimar evapotranspiração foram elaborados a partir de dados exclusivamente por sensoriamento remoto. Como por exemplo dados do satélite Helioclim-1 com dados de radiação solar. Posteriormente, usando dados do satélite geoestacionário LANDSAT, De Bruin et al. (2010) realizaram uma equação radiação-temperatura para estimar a Evapotranspiração usando dados de radiação.

Recentemente, Warren; Rodrigues (2013) monitoraram a evolução temporal da evapotranspiração real nas diferentes fases fenológicas da cultura do feijão, calculando a estimativa da evapotranspiração em áreas de pivô central através da construção de séries temporais com o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), de resolução espacial média de 250x250m e com alta frequência temporal.

Sales (2016) estimou a evapotranspiração em híbridos de tomateiros utilizando algoritmos de balanço de energia SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) com imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI/TIRS e comparou os modelos micrometeorológico, utilizando a evapotranspiração de referência (ET_o PenmanMonteith) com o coeficiente de cultura recomendado pela FAO56 e Embrapa. O algoritmo SAFER apresentou modelos de micrometeorológicos e coeficientes de cultura com correlação significativa para os métodos FAO56 e EMBRAPA, que indicam que o sensoriamento remoto pode ser utilizado para estimar a evapotranspiração dos tomateiros da região.

Da mesma forma, Silva (2018) estimou a evapotranspiração para a cultura da soja (uma espécie que, sob cultivo, necessita de um volume de 800 mm de água para seu ciclo dependendo das condições climáticas), através do algoritmo SAFER aplicado com dados do Landsat 8, apresentando altos níveis de confiança no qual foi possível identificar áreas com alta e baixa produtividade de soja.

Considerações finais

O desenvolvimento de métodos que permite estimar as variáveis para o manejo de irrigação cresce gradativamente e pode ser considerado ferramenta útil para gestão e planejamento da água em áreas com agricultura irrigada fornecendo conhecimento real do consumo de água das culturas.

O uso de informações espectrais de sensores térmicos de média resolução espacial, podem fornecer resultados consistentes para a estimativa da evapotranspiração, uma vez que as imagens de satélite têm informações específicas para cada pixel.

No entanto, algumas considerações devem ser realizadas: mesmo usando imagens de

satélite de uma região como matriz, os modelos em que as informações das imagens são aplicadas precisam de calibração para ajustar os vários procedimentos de cálculo às condições locais. As calibrações são bem desenvolvidas para regiões mais áridas, porém, não tem sido amplamente aplicado nos trópicos e regiões subtropicais, onde cresce a preocupação em relação a escassez e competição pela água. Assim, esse problema de uso, calibração e ajuste de modelos em regiões subtropicais poderiam ser altamente relevantes como objeto de estudo.

Referências

- 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, n.3-4, p.251-268, 2005. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10795-005-5187-z>
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56., *Geophysics*, v.156, n.5, p.178, 1998. <http://www.fao.org/docrep>
- ANDERSON, M. C.; KUSTAS, W. P.; ALFIERI, J. G.; GAO, F.; HAIN, C.; PRUEGER, J. H.; CHÁVEZ, J. L. Mapping daily evapotranspiration at Landsat spatial scales during the BEAREX'08 field campaign. *Advances in Water Resources*, v.50, n.3, p.162-177, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.06.005>
- BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates, *Agricultural University, Wageningen, The Netherlands*, 1995. 288 p.
- BASTIAANSEN, W. G.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v.212, n.1, p.198-212, 1998a. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4)
- BASTIAANSEN, W. G.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2: Validation. *Journal of hydrology*, v.212, n.1, p.213-229, 1998b. [https://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4)
- BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO, 1981.
- BROWN, S.; HALL, M.; ANDRASKO, K.; RUIZ, F.; MARZOLI, W.; GUERRERO, G.; CORNELL, J. Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 12, n. 6, p. 1001-1026, 2007. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11027-006-9062-5>
- CARDOSO, H. E.A.; MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. As águas da agricultura. *Agroanalysis*, v.18, n.3, p.27-28, 1998.
- CHRISTOFIDIS, D. A água e a crise alimentar. 2008. Disponível em: www.iica.org.br/Aquatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm. Acesso em: 21 mai 2018.
- CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e segurança alimentar. *Revista Item*, v.77, n.10, p.19-21, 2008.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.23-28, 2000. <http://www.agriambi.com.br/revista/v4n1/023.pdf>
- CONTE, I. I.; BOFF, L.A. As crises mundiais e a produção de alimentos no Brasil. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, v.35, n.1, p.49-59, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.4025/actascihumansoc.v35i1.18497>
- DA SILVA, C. R.; JÚNIOR, J. A.; DA SILVA. Variação sazonal na evapotranspiração de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti'. *Irriga*, v.11, n.1, p. 2635, 2006. DOI: <https://dx.doi.org/10.15809/irriga.2006v11n1p26-35>
- DE BRUIN, H. A. R.; TRIGO, I. F.; JITAN, M. A.; TEMESGEN ENKU, N.; TOL, C.; GIESKE, A. S. M. Reference crop evapotranspiration derived from geo-stationary satellite imagery: a case study for the Fogera flood plain, NW-Ethiopia and the Jordan Valley, Jordan. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.14, n.11, p.2219, 2010. <https://dx.doi.org/10.5194/hess-14-2219-2010>
- DE FÁTIMA, W. M.; PIMMEL, F. N. Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. Seqüência: estudos jurídicos e políticos, v.34, n.67, p.165-198, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/21777055.2013v34n67p165>
- DEFRIES, R. S.; FIELD, C. B.; FUNG, I.; JUSTICE, C. O.; LOS, S.; MATSON, P. A.; SELLERS, P. J. Mapping the land surface for global atmosphere biosphere models: Toward continuous distributions of vegetation's functional properties. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v.100, n.10, p.20867-20882, 1995. DOI: <https://dx.doi.org/10.1029/95JD01536>

- DROOGERS, P.; IMMERZEEL, W. W.; LORITE, I. J. Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. *Agricultural Water Management*, v.97, n.9, p.1351-1359, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.017>
- FIRBANK, L. G. Assessing the ecological impacts of bioenergy projects. *BioEnergy Research*, v.1, n.1, p.12-19, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s12155-007-9000-8>
- FISHER, P. The pixel: a snare and a delusion. *International Journal of Remote Sensing*, v.18, n.3, p.679-685, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311697219015>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Coping with water scarcity. An action framework for agriculture and food security. FAO water reports 38. Rome. (2012). <<http://www.fao.org/docrep/016/i3015e/i3015e.pdf>>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias – Brasília. (2017). <<http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). World Land and Water prospects. Rome: Land and Water Development Division. (2013). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>> Acesso em: 28 mai 2018.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing system at risk. New York. (2011). Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>>. Acesso em: 20 Jun 2018.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Fifth assessment report. Geneva, 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>>. Acesso em: 10 mai 2018.
- IPPOLITI-RAMILO, G. A.; EPIPHANIO, J. C. N.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. *Agricultura em São Paulo*, v.46, n.1, p.89-101, 1999.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- JHORAR, R. K.; BASTIAANSEN, W. G. M.; FEDDES, R. A.; VAN DAM, J. C. Inversely estimating soil hydraulic functions using evapotranspiration fluxes. *Journal of Hydrology*, v.258, n.1-4, p.198-213, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00564-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00564-9)
- KANEMASU, E. T.; STONE, L. R.; POWERS, W. L. Evapotranspiration Model Tested for Soybean and Sorghum 1. *Agronomy Journal*, v.68, n.4, p.569-572, 1976. DOI: <https://dx.doi.org/10.2134/ajonj1976.00021962006800040009x>
- KHALDI, A.; HAMIMED, A.; MEDERBAL, K.; SEDDINI, A. Obtaining evapotranspiration and surface energy fluxes with remotely sensed data to improve agricultural water management. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, v.11, n.1, p.1-24, 2011.
- KHALIL, H. A.; JAWAID, M.; BAKAR, A. A. Woven hybrid composites: water absorption and thickness swelling behaviours. *BioResources*, v.6, n.2, p.1043-1052, 2011.
- LI, Z. L.; TANG, R.; WAN, Z.; BI, Y.; ZHOU, C.; TANG, B.; ZHANG, X. A review of current methodologies for regional evapotranspiration estimation from remotely sensed data. *Sensors*, v.9, n.5, p.3801-3853, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/s90503801>
- LÜTHI, D.; LE FLOCH, M.; BEREITER, B.; BLUNIER, T.; BARNOLA, J. M.; SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T. F. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature*, v.453, n.7193, p.379, 2008. <https://www.nature.com/articles/nature06949>
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. he drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v.38, n.12, p.1-5, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1029/2011GL047436>
- MORIN, E. A Via para o futuro da humanidade. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. 392p.
- PAZ, V. P.S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.465-473, 2000.
- PEREIRA, A. R.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. Evapo (transpi) razão. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PIVETTA, C. R.; HELDWEIN, A. B.; MALDANER, I. C.; RADONS, S. Z.; TAZZO, I. F.; LUCAS, D. D. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.7, p.768-775, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000700013>

- RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; DE ALMEIDA, L. T.; GENEROSO, T. N.; MONTEIRO, L. I. B. Variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens sentinel. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.11, n.6, p.1884-1893, 2017. DOI: [http:// dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n600648](http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n600648)
- RODRIGUES, L. N. Agricultura irrigada e os desafios para a produção sustentável (2018). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32545841/artigo--agricultura-irrigada-e-os-desafios-para-a-producao-sustentavel-de-alimentos>>. Acesso em: 20 Mai. 2018.
- ROSENZWEIG, C.; IGLESIAS, A. Implications of climate change for international agriculture: Crop Modeling Study. US Environmental Protection Agency, Washington, 1994. 633p.
- SALES, D. L. A. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial estimado por sensoriamento utilizando o algoritmo SAFER. 2016. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/5644>
- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; DE OLIVEIRA, L. M. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, n.9, p.1218-1226, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900006>
- UNESCO. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). "The United Nations World Water Development." Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris.2015 Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.
- UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS WORLD POPULATION PROSPECTS (UN DESA): The 2008 revision highlights. New York. 2009. Disponível em <http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2008/wpp2008_highlights.pdf>. Acesso em: 28 mai 2018.
- WARREN, M. S.; RODRIGUES, L. N. Estimativa de evapotranspiração real por sensoriamento remoto: procedimento e aplicação em pivô central. Boletim de Pesquisa, Planaltina, 2013. 36 p.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Greenhouse gas concentrations surge to new record, 2017. <<https://public.wmo.int/en/media/pressrelease/green-house-gas-concentrations-surge-new-record>>. Acesso em: 28 mai 2018.
- WORLD METERS INFORMATIONS (2015). Disponível em: <<http://www.worldometers.info/br/>>. Acesso em 21 mai 2018.
- WU, J.; SHEN, W.; SUN, W.; E TUELLER, PT. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. Landscape Ecology, v. 17, n. 8, p. 761-782, 2002. DOI: <https://dx.doi.org/10.1023/A:1022995922992>