



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

## **ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Nazaré Suziane Soares<sup>(a)</sup>, Juliana Alcântara Costa<sup>(a)</sup>, Carlos Alexandre Gomes Costa<sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> Discente do Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, soaresns@alu.ufc.br, juliana-alcantara-costa@hotmail.com.

<sup>(b)</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, costacag@gmail.com.

**Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais**

### **Resumo**

A evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) é inerentemente difícil de medir e prever, especialmente em grandes escalas espaciais. O sensoriamento remoto fornece um método econômico para estimar a evapotranspiração nas escalas regional e global. Com esta revisão, teve-se como hipótese que a estimativa da ET<sub>r</sub> por sensoriamento remoto tem sido com resoluções espaciais gradativamente maiores e que os métodos utilizados são cada vez mais adaptados. O objetivo do presente estudo foi testar as hipóteses apresentadas por meio de um levantamento sistemático da literatura especializada dos últimos dez anos. Utilizaram-se critérios adaptados de outras revisões sistemáticas e após passados por esses critérios, contou-se com 76 publicações na análise. Ambas as hipóteses foram refutadas e foram observados os padrões de publicação. A tendência dos estudos é de se estabelecer comparativos e observar respostas em diversas conformações.

**Palavras chave:** evapotranspiração real; balanço hídrico; fluxo de energia; fluxo de água.

### **1. Introdução**

A evapotranspiração (ET) é uma das fases mais importantes do ciclo hidrológico. Entre os principais componentes do balanço hídrico, a ET ocorre no estado gasoso ao contrário da precipitação e do fluxo dos cursos de água, tornando-se o componente de mais difícil medição direta (LI et al., 2009). Esse processo transfere um grande volume de água de várias superfícies terrestres para a atmosfera através de dois subprocessos: (1) evaporação da água interceptada pelo solo e pela vegetação e (2) transpiração das plantas (ANDERSON et al., 2012). Por conseguinte, a ET tem um papel fundamental na troca de massa e energia no sistema solo-água-vegetação e atmosfera, sendo um elemento-chave no balanço energético e hídrico (VINUKOLLU et al., 2011).



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Quantificar a ET é vital no gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente em áreas de reconhecida escassez de água, visto que informações precisas e distribuídas espacialmente sobre o uso da água é uma necessidade crucial para uma ampla gama de aplicações (ANDERSON et al., 2012). Assim, o conhecimento da taxa e quantificação da ET espacialmente distribuída é um componente essencial no desenvolvimento e monitoramento dos sistemas hidrológicos, agrícolas e ambientais (SENAY et al., 2016).

Técnicas convencionais de estimação da ET (ou seja, tanque classe A, razão de Bowen, sistema de correlação de vórtice, lisímetros de pesagem, fluxo de seiva) são baseadas principalmente em medições de campo (TEIXEIRA, 2010). Embora possam fornecer estimativas relativamente precisas de ET sobre uma área homogênea, as técnicas convencionais são de uso limitado, pois são de difícil obtenção em grande escala e assim têm que ser extrapolados/interpolados para várias escalas temporais e espaciais (LI et al., 2009; SENAY et al., 2016).

A utilização de sensoriamento remoto na aquisição de dados hidrológicos é uma alternativa atraente em oposição à obtenção convencional (KARIMI; BASTIAANSEN, 2015; SENAY et al., 2016). A tecnologia de sensoriamento remoto tem várias vantagens marcantes em relação às medições “pontuais” convencionais: 1) pode fornecer cobertura espacial ampla e contínua em poucos minutos; 2) custa menos quando a mesma informação espacial é necessária; 3) é particularmente prático para áreas não avaliadas onde as medidas feitas pelo homem são difíceis de conduzir ou não disponíveis (LI et al., 2009).

Embora uma das principais críticas aos dados provenientes do sensoriamento remoto seja a falta de precisão, Karimi e Bastiaanssen (2015) concluíram que com o aprimoramento da tecnologia a precisão tem aumentado significativamente e que o erro absoluto médio percentual (MAPE) referente a estimativa da ET por satélite é relativamente pequeno (5%), especialmente ao nível de agregação de uma bacia hidrográfica. Por isso, nas últimas décadas, tem sido estudado o efeito da resolução das imagens na estimativa da ET (TANG et al., 2013;



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

WANG et al., 2016). Dados de baixa resolução (pixel  $\geq 1$  km<sup>2</sup>) podem ser úteis no desenvolvimento do balanço hídrico em escala regional, continental ou global (ANDERSON et al., 2012). Contudo, esses produtos não fornecem detalhes espaciais suficientes para o monitoramento hídrico e gerenciamento prático desses recursos.

Métodos empíricos e físicos podem ser utilizados para estimar a ET através do sensoriamento remoto (GOWDA et al., 2008; KALMAN; MCVICAR; MCCABE, 2008). Mesmo que existam revisões que forneçam um bom entendimento sobre a evolução do desenvolvimento de algoritmos de ET, elas são feitas no modelo tradicional de revisão e adotam uma postura de descrição sem uma análise crítica sobre a evolução dos modelos.

Dado o exposto, hipotetiza-se que, nos últimos dez anos, a estimativa da evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) por sensoriamento remoto tem sido feita através de imagens com resoluções espaciais e temporais gradativamente maiores. Além disso, é ainda hipotetizado que os métodos utilizados são cada vez mais adaptados a regiões específicas. O objetivo do presente estudo foi testar as hipóteses apresentadas por meio de um levantamento sistemático da literatura especializada dos últimos dez anos.

## **2. Materiais e Métodos**

A revisão de literatura sistemática difere da revisão tradicional conduzida na forma de narrativa por adotar um processo de condução replicável, científico e transparente, objetivando localizar de forma compreensiva e sintetizar o que tem sido encontrado sobre uma determinada questão (LITTELL; CORCORAN; PILLAI, 2008). Stechemesser e Guenther (2012), adaptando metodologias de Fink (2013) e Tranfield, Denyer e Smart (2003), chegaram a diretrizes para a condução de uma revisão de literatura sistemática, os quais foram utilizados como estrutura principal neste trabalho. A primeira delas foi a delimitação do problema estudado, juntamente com a seleção das fontes bibliográficas e dos termos de pesquisa apropriados. Já na pesquisa, utilizaram-se critérios práticos de revisão para exclusão



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

e inclusão de literatura relevante. No terceiro passo, os critérios de revisão metodológica foram desenvolvidos e aplicados. Por fim, os dados encontrados foram sintetizados.

### **2.1. Estratégia de pesquisa**

De uma forma ampla, a problemática abordada foi a estimativa da evapotranspiração por imagens. No entanto, buscou-se entender como a resolução das imagens tem afetado a estimativa e que padrões de publicações isso tem sido gerado nos últimos anos. Outro questionamento abordado foi relacionado aos modelos que têm sido utilizados nessas estimativas.

Tentou-se de identificar a correlação das publicações brasileiras no tema com a pesquisa internacional, no entanto, a maioria das publicações mais relevantes no tema foram publicadas em inglês e utilizaram-se apenas termos em inglês em bancos de dados com abrangência global (Elsevier, Periódicos CAPES, Scopus e SpringerLink). Seguindo as recomendações de Tranfield, Denyer e Smart (2003) de que as pesquisas de revisão não devem ser restritas a bancos de dados bibliográficos, o Google Scholar e a sua versão em português (Google Acadêmico) foram utilizados para a identificação de estudos não publicados, anais de congressos e publicações similares.

Na revisão nas bases de dados, foram utilizados os termos em inglês: “remote sensing evapotranspiration”. A utilização de tais termos é uma limitação reconhecida da pesquisa e reflete o foco específico nessa forma de estimativa da evapotranspiração. A busca foi restrita aos últimos 10 anos (2009 a maio de 2018) e à evapotranspiração real.

Utilizando o protocolo desenvolvido pelo CEE (2013) para pesquisas na internet, os primeiros 50 resultados foram vistos completamente em cada um dos bancos de dados e os 50 resultados subsequentes foram verificados pela relevância. As listas de referência bibliográficas também foram analisadas e utilizadas como fonte de pesquisa de novas publicações.

### **2.2. Seleção de estudos**



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

No intuito de identificar estudos pertinentes para uma análise mais aprofundada, os resultados encontrados foram avaliados pela elegibilidade e qualidade dos mesmos. Foram, então, aplicados os seguintes critérios de inclusão: (1) os estudos deveriam conter informações sobre a estimativa de evapotranspiração real; (2) os modelos utilizados deveriam ser precisamente detalhados; e por fim (3) os dados apresentados deveriam apresentar algum tipo de validação.

Com base no exposto e no protocolo de Stechemesser e Guenther (2012), elaborou-se um protocolo para melhor detalhar a análise de conteúdo das publicações (Tabela I). Na tabela encontra-se os elementos catalogados, de onde surgiram os elementos ou de que perguntas eles surgiram e por fim (à direita), um exemplo de um dos artigos incluídos na revisão com transcrição na íntegra das informações encontradas no trabalho.

Tabela I – Protocolo de revisão utilizado para análise das publicações.

<b>Dados Bibliográficos</b>		
Título	Qual é o título da publicação?	Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian semiarid region
Autor (es)	Quem é/são o (s) autor (es) da publicação?	Teixeira et al.
Ano	Em que ano o trabalho foi publicado?	2017
Localização geográfica do estudo	Qual a localização geográfica da pesquisa realizada?	Brasil
Nome do periódico	Se foi publicada em um periódico: qual o nome do periódico?	Journal of Applied Remote Sensing
<b>Metodologia abordada na publicação</b>		
Objetivo	Qual o objetivo da pesquisa?	To apply the SAFER and SUREAL algorithms with L8 images together with a net of agrometeorological stations, covering different seasons of the year 2014, aiming to quantify the large-scale radiation and energy



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Área-alvo do estudo	Qual a área-alvo da estimativa feita em campo?	balance components. Uma região de Petrolina
Satélite	Qual foi o satélite utilizado?	Landsat 8
Resolução da estimativa	Qual foi a resolução em que a estimativa foi feita?	30 m
Modelo	Qual o modelo foi utilizado na estimativa?	SAFER; SUREAL
Resultado	Qual foi o principal resultado ou conclusão da pesquisa?	The joint use of L8 images and agrometeorological stations allowed the quantification and analyzes of the 24-hour radiation and energy balance components on large-scales.

Fonte: adaptada de Stechemesser e Guenther (2012).

### 3. Resultados e discussões

A pesquisa dentro dos bancos de dados (excetuando o Google Scholar), ao todo, atingiram 22,236 resultados. Entre os artigos alcançados pela metodologia na pesquisa no Google Scholar, os artigos relevantes encontrados já haviam sido incluídos na revisão. Foram incluídos ainda artigos relacionados e encontrados nas listas de referências bibliográficas dos artigos selecionados. Utilizando os critérios de exclusão, limitou-se a pesquisa a 76 artigos incluídos na análise.

Observando as estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto nos últimos dez anos, ilustrou-se na Figura 1 as quantidades de artigos encontrados e os anos de suas publicações. O gráfico apresentado na figura mostra a quantidade de publicações de diversos periódicos que se teve acesso através da revisão sistemática da literatura especializada. Também na Figura 1, observa-se a análise ano a ano mostrando o número de publicações por ano. Percebe-se que o crescimento quanto ao número de publicações por ano não foi gradativo, ocorrendo em alguns anos, inclusive, um decréscimo. É importante



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

salientar que não foram utilizados números totais de publicações no tema e que esse tipo de levantamento fugiria do escopo da análise proposta.

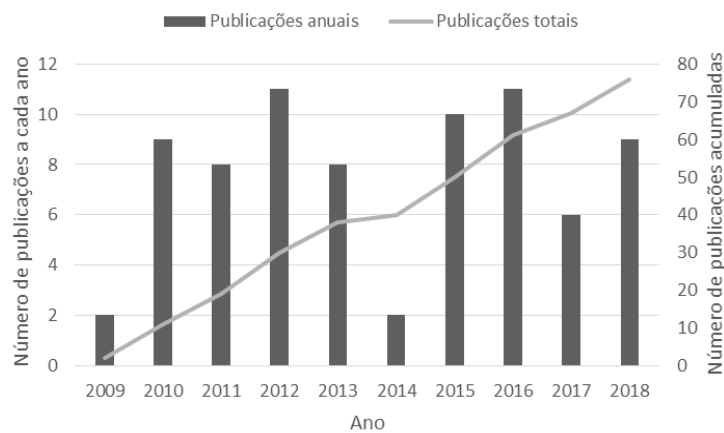


Figura 1 – Número de publicações analisadas relacionadas aos seus anos de publicação.

Uma análise geral da localização dos estudos realizados foi feita e sintetizada na Figura 2. Observa-se que a maioria das publicações incluídas nessa revisão foram da China, seguida em quantidade pelos Estados Unidos. Faz-se necessário destacar a coluna identificada como “vários países” por ser um fator interessante. Isso acontece porque alguns dos artigos revisados tendem a fazerem estimativas globais.

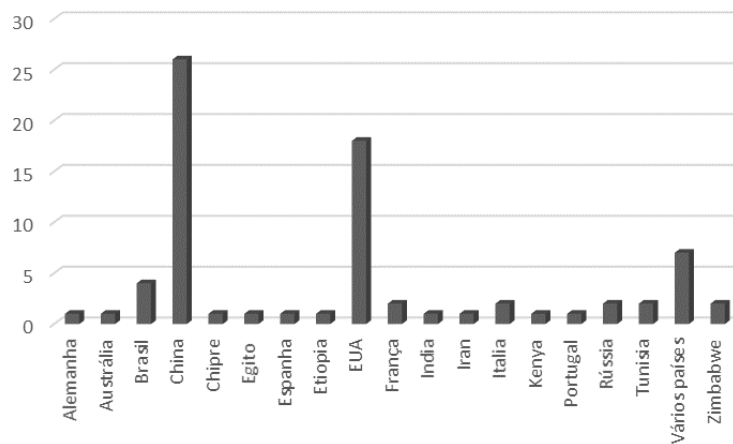


Figura 2 – Porcentagem do número de publicações de cada país analisados nessa revisão.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Entre as categorias de áreas-alvo analisadas, os artigos ficaram distribuídos como ilustrado na Figura 3. A maioria das análises foi feita em bacias e regiões hidrográficas, o que mostra a preocupação em se obter dados levando em consideração as unidades de gestão hídrica.

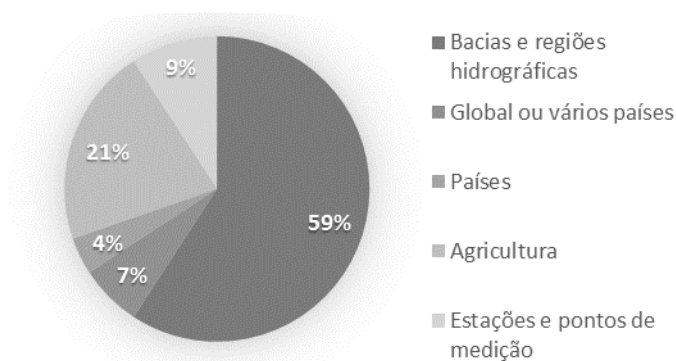


Figura 3 – Categorias de áreas-alvo das publicações analisadas.

Através da análise dos artigos em relação às resoluções das imagens, foi gerado o Figura 4. Nele, observa-se que a grande maioria (58%) das estimativas ainda utilizam imagens com resolução de 1 km ou mais. Outra parcela que se deve destacar é a parcela de trabalhos que utilizaram mais de uma resolução na estimativa da evapotranspiração real (17%). O destaque é dado para essa porção porque tais trabalhos fizeram as estimativas em diversas resoluções para efeito de comparação com dados de medições in situ.

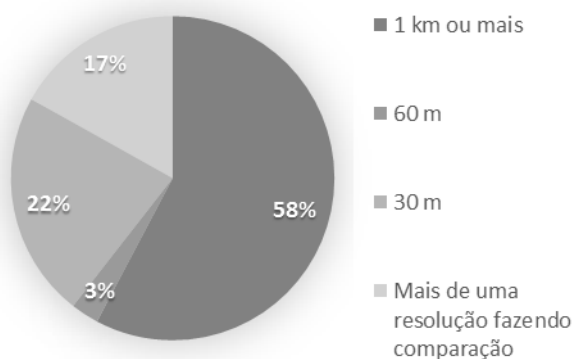


Figura 4 – Resolução das imagens utilizadas nas estimativas da evapotranspiração nas publicações analisadas.





XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Com base no exposto no Figura 4, se refuta a hipótese de que uma resolução espacial maior tem sido explorada ao longo do tempo na estimativa da evapotranspiração. No entanto, a fim de se realizar uma análise mais profunda dessa questão, foi feita uma divisão entre os cinco primeiros e últimos anos da revisão e os artigos foram analisados nesses blocos em relação às resoluções espaciais utilizadas (Figura 5). Nessa nova análise o que se observa é que a maioria das resoluções espaciais utilizadas em ambos os gráficos continua sendo de imagens com resolução igual 1 km ou inferior. Contudo, mesmo que a maioria dos dados continue sendo de menores resoluções nos últimos cinco anos (50%), a quantidade de artigos utilizando mais de uma resolução aumentou consideravelmente de 6% para 26%. Isso significa assumir que uma preocupação emergente pode ser, por exemplo, a de justificar a utilização de imagens com maiores resoluções e obter uma estimativa mais precisa.

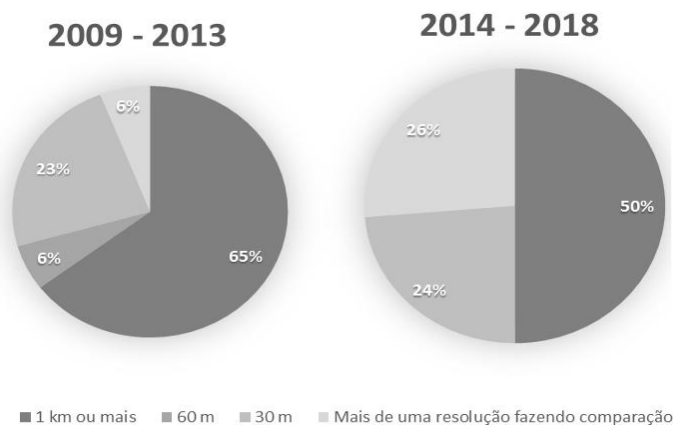


Figura 5 – Resolução das imagens utilizadas nas estimativas da evapotranspiração nas publicações analisadas divididas em dois grupos de cinco anos.

Com base em outras revisões de literatura no assunto (LI et al., 2009; ZHANG; KIMBALL; RUNNING, 2016), consideraram-se alguns modelos frequentemente utilizados nas estimativas da ETr por sensoriamento remoto e, com base neles, foram divididas as categorias da Figura 6. Considerando todos os artigos, 29% das publicações utilizaram modelos frequentemente citados e considerados os mais relevantes pelos outros pesquisadores. A maior parte utilizou outros modelos (48%), que incluem novos modelos que



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

estão sendo desenvolvidos ou modelos que já caíram em desuso; ou ainda índices diversos na aplicação da equação de Penman-Monteith (FAO-56). Uma porção considerável (23%) fez uso de comparativos entre métodos, tanto para a validação de novos métodos como para a calibração de modelos desenvolvidos em outras áreas. Essa porção é, sem dúvida, muito importante para as futuras pesquisas, pois é nela que se encontra úteis informações sobre modelos que tem melhor performance em determinadas regiões ou ambientes característicos, como regiões semiáridas, por exemplo. Dado o exposto, refuta-se a hipótese de que os modelos tendem a ser mais específicos com o passar dos anos. O que acontece, na verdade, é que a tendência é se fazer comparativos com novos modelos.

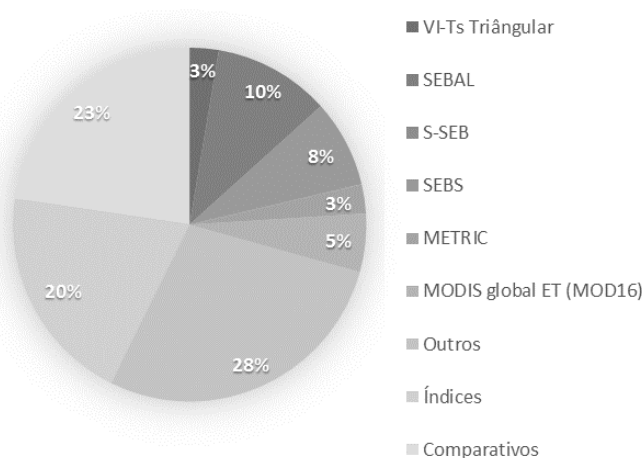


Figura 6 – Modelos utilizados nas estimativas de evapotranspiração real nas publicações analisadas.

#### 4. Considerações finais

A revisão sistemática na literatura especializada permitiu uma visão organizada e criteriosa das publicações analisadas. Quanto as hipóteses levantadas no início desse trabalho, apesar da resolução espacial das imagens utilizadas não está aumentando ao longo do tempo, percebe-se uma tendência a se fazer comparações de estimativas em diferentes escalas. Já em relação aso modelos utilizados, confirma-se a hipótese de que os modelos tendem a ser especializados em cada área.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

### Referências Bibliográficas

ANDERSON, M. C. et al. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. *Remote Sensing of Environment*, v. 122, p. 50–65, 2012.

Centre for Evidence-Based Conservation (CEE). **Guidelines for systematic review in environmental management**, Version 4.2. Bangor University, Bangor, Wales. 2013.

GOWDA, P.H.; et al. ET mapping for agricultural water management: present status and challenges. *Irrigation Science*, v.26 (3), p.223-237, 2008.

FINK, A. **Conducting research literature reviews: from the Internet to paper**. Sage Publications, 2013.

KALMAN, J.D.; MCVICAR, T. R.; MCCABE, M.F. Estimating land surface evaporation: a review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*, v.29 (4-5), p.421-469, 2008.

KARIMI, P.; BASTIAANSEN, W. G. M. Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting—Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 19, n. 1, p. 507-532, 2015.

LI, Z.-L. et al. A Review of Current Methodologies for Regional Evapotranspiration Estimation from Remotely Sensed Data. *Sensors*, v. 9, p. 3801–3853, 2009.

LITTELL, J. H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. Systematic reviews and meta-analysis. **Oxford University Press**, 2008.

SENAY, G. B. et al. Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. *Remote Sensing of Environment*, v. 185, p. 171-185, 2016.

STECHEMESSER, K.; GUENTHER, E. Carbon accounting: a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 36, p. 17-38, 2012.

TANG, R. et al. Spatial-scale effect on the SEBAL model for evapotranspiration estimation using remote sensing data. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 174–175, p. 28–42, 2013.

TEIXEIRA, A. H. de C. Determining Regional Actual Evapotranspiration of Irrigated Crops and Natural Vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) Using Remote Sensing and Penman-Monteith Equation. *Remote Sensing*, v. 2, p. 1287-1319, 2010.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

TEIXEIRA, A. H. de C. et al. Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian semiarid region. **J. Appl. Remote Sens.**, v. 11, n. 1, 2017.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British journal of management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

WANG, Y. Q. et al. Is scale really a challenge in evapotranspiration estimation? A multi-scale study in the Heihe oasis using thermal remote sensing and the three-temperature model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 230–231, p. 128–141, 2016.

ZHANG, K.; KIMBALL, J. S.; RUNNING, S. W. A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 3, n. 6, p. 834–853, 2016.