



# Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2

Leonardo Tullio  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**LEONARDO TULLIO**

(Organizador)

**Aplicações e Princípios do  
Sensoriamento Remoto  
2**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-48-2

DOI 10.22533/at.ed.482180110

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

No Volume II da obra “Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto” trazemos até você os mais diversos trabalhos da área, contando agora com 22 capítulos inéditos. Vimos a importância deste tema no Volume I e agora esperamos contribuir significativamente com outras aplicações em diversas áreas de atuação.

Percebemos que os avanços tecnológicos substituem algumas formas de agir e pensar, de maneira instantânea e a níveis de confiança altíssimos. Assim a contribuição e os avanços nas pesquisas são favorecidos com o uso de softwares aplicados ao Sensoriamento Remoto. Visto a necessidade de programas computacionais específicos para análise conjunta de dados sobre a imagem e de maneira rápida, percebemos a significativa atuação da tecnologia neste meio.

Neste sentido, ressaltamos a importância do conhecimento específico e aplicado, pois a tecnologia analisa a partir de comandos, porém, a análise e a definição do certo ou errado ainda está na dependência do operador, que exige conhecimento em sua realização. Aplicações práticas e com resultados significativos são fundamentais para o sucesso de uma pesquisa, a classificação seja ela supervisionada ou não, garante a interpretação fiel da realidade estudada. Porém, refinar as técnicas de análise e comparar os resultados são importantes.

Contudo, ressaltamos a necessidade do conhecimento avançado sobre o que se propõe a estudar e qual método mais adequado, pois a interação dos dois reflete a confiança e qualidade do resultado. Portanto, a busca por conhecimento é insaciável e nos faz aprender a cada capítulo desta obra.

Por fim, desejo bons estudos e muito conhecimento adquirido com as informações e resultados trazidos nos capítulos desta obra.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA PAISAGEM ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SERRA DO NAVIO-AP	
<i>Érica Patrícia Viegas dos Santos</i>	
<i>Dário Rodrigues de Melo Junior</i>	
<i>Olavo Rodrigues Fagundes Neto</i>	
<i>Tasso Wesley Galeno Barreto</i>	
<i>Patrícia Helena Turola Takamatsu</i>	
<i>Fabiano Luís Belém</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS GEOFORMAS FLUVIAIS DO BAIXO CURSO DO RIO DOCE COM O AUXÍLIO DE IMAGENS ORBITAIS LANDSAT 8 - LINHARES, ES	
<i>Andressa Padovani Gil</i>	
<i>André Luiz Nascentes Coelho</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO DA ÁREA E ENTORNO DO PARQUE MUNICIPAL DUNAS DE ABRANTES, CAMAÇARI - BAHIA	
<i>Luiz Felipe Moura Bastos Borges</i>	
<i>Desiree Alves Celestino Santos</i>	
<i>Fábia Antunes Zaloti</i>	
<i>Saulo Medrado dos Santos</i>	
<i>Dária Maria Cardoso Nascimento</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, MG: UMA PROPOSTA PARA MELHOR ENTENDIMENTO DOS LIMITES E DA DINÂMICA ESPACIAL DAS SUPERFÍCIES EROSIVAS	
<i>Samia de Moura Passarella</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>54</b>
ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE	
<i>Leonardo Nascimento Lima</i>	
<i>Luciano Ponzí Pezzi</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE WUNDERLICHIA AZULENZIS	
<i>Alline Zagnoli Villela Motta</i>	
<i>Sollano Rabelo Braga</i>	
<i>Alessandra Morais Melo</i>	
<i>Nathalia Drummond Marques da Silva</i>	
<i>Cristiano Christofaro</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>80</b>
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)	
<i>Darllan Collins da Cunha e Silva</i>	
<i>Deborah de Matos</i>	
<i>Renan Angrizani de Oliveira</i>	
<i>Vanessa Cezar Simonetti</i>	
<i>Roberto Wagner Lourenço</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 94**

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À GCP'S EM MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT

*José Adriano da Silva*  
*Vinicius Bitencourt Campos Calou*  
*Adunias dos Santos Teixeira*  
*Daniel Albiero*

**CAPÍTULO 9 ..... 105**

CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI, NDWI E EVI) DE IMAGEM LANDSAT-8 COM ATRIBUTOS DO SOLO

*Barbara de Oliveira Sousa Castro*  
*Anderson Antonio da Conceição Sartori*  
*Flávia Luize Pereira de Souza*  
*Letícia Albano Benites*

**CAPÍTULO 10 ..... 117**

DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADROTOR TOTALMENTE AUTÔNOMO DE ALTA PRECISÃO PARA SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS DE VEGETAÇÃO POR CÂMERA MULTIESPECTRAL GEORREFERENCIADA

*Thiago Vieira Nogueira Coelho*  
*Lucas Moraes*  
*Rafael Falcí Campos*  
*Luis Carlos Carmo Jr.*  
*Daniel Discini Silveira*  
*André Luis Marques Marcato*  
*Alexandre Bessa dos Santos*

**CAPÍTULO 11 ..... 134**

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ALVOS PRÉ-SINALIZADOS PARA APOIAR LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS REALIZADOS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

*Glauber Carvalho Costa*  
*Igor de Carvalho Almeida*  
*Rafael Claudino da Silva*  
*Rafael Bazílio Viana*

**CAPÍTULO 12 ..... 144**

ESTUDO SOBRE O EMPREGO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E ELEVAÇÃO, GERADOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL, PERFILAMENTO A LASER AÉREO, SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 E WORLDDEM, COM ÊNFASE EM PROJETOS VIÁRIOS

*Glauber Carvalho Costa*  
*Igor de Carvalho Almeida*  
*Rafael Claudino da Silva*  
*Rubens José Souza Galvão*  
*Rafael Bazílio Viana*

**CAPÍTULO 13 ..... 155**

FRONTEIRA AGRÍCOLA E A ESTRUTURA DA PAISAGEM NA SUB-BACIA DO RIO RIACHÃO – OESTE DA BAHIA

*Crisliane Aparecida Pereira dos Santos*  
*Edson Eyji Sano*  
*Pablo Santana Santos*

**CAPÍTULO 14 ..... 165**

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCUPAÇÃO IRREGULAR POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NO BAIRRO DE GRAMAME, EM JOÃO PESSOA – PB

*Erickson Melo de Albuquerque*  
*Cícero Fidelis da Silva Neto*  
*Marcos Leonardo Ferreira dos Santos*

**CAPÍTULO 15..... 175**

ÍNDICES TEXTURAIS DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA FLONA DO TAPAJÓS (PARÁ), UTILIZANDO IMAGENS DE MÉDIA RESOLUÇÃO ESPACIAL FUSIONADAS.

*Marília Gabriela Lopes da Silva*  
*Tássio Franco Cordeiro*  
*Rodrigo Rafael Sousa de Oliveira*  
*Igor da Silva Narvaes*  
*Alessandra Rodrigues Gomes*  
*Marcos Adami*  
*Lucas José Mazzei de Freitas*  
*Dalton de Morrison Valeriano*

**CAPÍTULO 16..... 190**

INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA APOIAR RESPOSTAS A EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS: A EXPERIÊNCIA DA UNIDADE ESTADUAL DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DURANTE AS INUNDAÇÕES DE 2015 NA BACIA DO RIO ACRE – ACRE/BRASIL

*Alan dos Santos Pimentel*  
*Vera Lúcia Reis*  
*Ylza Marluce Silva de Lima*  
*Luiz Alves dos Santos Neto*  
*Diana de Souza Bezerra*  
*Tatiane Mendonça de Lima*  
*Irving Foster Brown*

**CAPÍTULO 17 ..... 201**

INDICAÇÃO ESTATÍSTICA DE ÁREAS DE GARIMPO DE AMETISTA COM O USO DE IMAGENS ASTER

*Jean Marcel de Almeida Espinoza*  
*Deivid Cristian Leal Alves*  
*Silvia Beatriz Alves Rolim*  
*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*Maurício Soares Ortiz*  
*Miguel da Guia Albuquerque*

**CAPÍTULO 18..... 213**

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

*Jorge Luís Silva Brito*  
*Roberto Rosa*  
*Mirna Karla Amorim da Silva*

**CAPÍTULO 19..... 222**

MÉTRICAS DE PAISAGEM NA CARACTERIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS POR MEIO DA FUSÃO DA IMAGEM CBERS 4

*Caroline Bessi Fávero*  
*Anderson Antonio da Conceição Sartori*  
*Sidnei Fonseca Guerreiro*  
*Victor Munhoz Ruiz*  
*Rosane Maria Kaspary*  
*Martha Santana Martins*

**CAPÍTULO 20..... 240**

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE RORAIMA, NORTE DA AMAZÔNIA

*Maristela Ramalho Xaud*  
*Cláudia Maria de Almeida*  
*Haron Abraham Magalhães Xaud*

**CAPÍTULO 21..... 254**

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA.

*Gabriella Santos Arruda de Lima*

*Nilson Clementino Ferreira*

**CAPÍTULO 22..... 265**

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SWAT PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PETROLINA, ESTADO DE PERNAMBUCO

*Teônia Casado da Silva*

*Madson Tavares Silva*

*Danielle Teixeira Alves da Silva*

*Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão*

*Eduardo da Silva Margalho*

**SOBRE O ORGANIZADOR .....274**

## AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SWAT PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PETROLINA, ESTADO DE PERNAMBUCO

### **Teônia Casado da Silva**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Natal - RN

### **Madson Tavares Silva**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande - PB

### **Danielle Teixeira Alves da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Natal – RN

### **Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande - PB

### **Eduardo da Silva Margalho**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande – PB

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é analisar as estimativas da evapotranspiração potencial (ETP) resultantes das simulações geradas pelo modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith, e comparar os resultados obtidos com os gerados a partir do método de Linacre, utilizando-se para tanto critérios estatísticos para avaliação do desempenho. Foram utilizados dados da Estação Agrometeorológica de Bebedouro, Petrolina-PE, referentes ao período de janeiro de 1993 a dezembro de 2010. Para a avaliação do desempenho dos modelos utilizaram-se

análises de regressão e foram obtidos os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de correlação ( $r$ ), o erro médio percentual (EMP), o erro médio absoluto (EMA), a raiz quadrada do quadrado médio do erro normalizado (RQMDN). A avaliação do desempenho de um método é fundamental para conhecer o quão próximo do real serão os valores fornecidos por um dado método, possibilitando a sua utilização para fornecimento de dados para a gestão dos recursos hídricos. Atividades como a irrigação, que apresentam alto consumo de água, precisam se adequar à quantidade de água disponível, devendo utilizar-se de modelos adequados e de técnicas de irrigação eficientes. De acordo com os resultados, o  $R^2$  foi em torno de 83,15%, verificando uma tendência de subestimativa dos valores simulados em torno de 18%, o que representa em média cerca de 0,9 mm.dia<sup>-1</sup>, enquanto o RQMDN foi da ordem de 16,4%. A partir dos critérios estatísticos utilizados neste estudo pode-se concluir que o modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith, apresenta-se como alternativa adequada para fornecer dados estimativos de ETP.

**PALAVRAS-CHAVE:** semiárido, irrigação, gestão, análise estatística.

**ABSTRACT:** The objective of this paper is to analyze the estimatives of potential

evapotranspiration (ETP) resulting from simulations generated by the SWAT model through Penman-Monteith and compare the results found with the data generated by using the Linacre method, using for that matter statistical criteria for performance evaluation. Were used data from the Agrometeorological Station of Bebedouro, which is located in Petrolina, PE, covering the period from January of 1993 to December of 2010. To evaluate the performance of the models we used regression analysis and were obtained coefficients of determination ( $R^2$ ) coefficients correlation ( $r$ ), the mean percentage error (EMP), mean absolute error (EMA), the square root of the mean square normalized error (RQMDN). The evaluation of a method's performance is essential to know how close to the actual values will be the results achieved by a given method, allowing its use in providing data for the management of water resources. Activities such as irrigation, which have high water consumption, must conform to the amount of water available and should use appropriate models and efficient irrigation techniques. According to the results, the  $R^2$  was around 83.15%, verifying a trend of underestimation of the simulated values around 18%, which represents an average of about  $0.9 \text{ mm.day}^{-1}$ , while the RQMDN was 16.4%. From the statistical criteria used in this study it can be concluded that the model SWAT performed by the method of Penman Monteith, is presented as an appropriate alternative to provide estimated data ETP.

**PALAVRAS-CHAVE:** semi-arid, irrigation, management, statistical analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2009). No semiárido brasileiro as altas taxas de evaporação, geralmente superiores à precipitação, reforçam a necessidade de monitoramento dos índices de evapotranspiração.

A estimativa de evapotranspiração potencial (ETP) contribui para desenvolver práticas adequadas para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que torna possível a previsão de períodos de maior déficit hídrico, sendo possível a adoção de medidas preventivas para manutenção do abastecimento e de outras atividades de uso consuntivo da água. A agricultura irrigada se apresenta, atualmente, como grande alternativa econômica para o Brasil, em especial para a região Nordeste, assim, é necessário que os recursos hídricos disponíveis sejam usados de forma racional, através da utilização de técnicas apropriadas de manejo da água, do solo e de cultivos (SILVA et al., 2005; 2015; 2018).

Existem diversos métodos para a estimativa da ETP, podemos citar como exemplo os métodos mais utilizados no Brasil, são eles Thornthwaite, Thornthwaite-Camargo (com temperatura efetiva), Camargo, Hargreaves e Samani, Tanque Classe A, Priestley-Taylor, Linacre e Penman-Monteith (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2009).

O método Penman-Monteith é considerado, internacionalmente, o mais apropriado

para a estimativa da ETP, pois além de procurar representar, de maneira consistente, o fenômeno biofísico da evapotranspiração, é alimentado por quase todos os elementos meteorológicos observados em estações meteorológicas de superfície (CARVALHO et al., 2011). Porém, quando não tiver disponível todos os dados é necessário utilizar um método mais simplificado, como é o caso do método de Linacre.

A evapotranspiração (ET) é um componente essencial tanto do clima quanto do ciclo hidrológico, e tem significativa agrícola, ecológica e implicações hidrológicas. ET utiliza cerca de três quintos da radiação solar anual disponível globalmente recebido na superfície da Terra (WANG; DICKINSON, 2012).

Os modelos numéricos aplicados na hidrologia apresentam-se como ferramentas de grande importância nos estudos do ciclo hidrológico e científicos relacionados com a gestão hídrica e problemas práticos (SILVA et al., 2014; 2016a; 2016b). Desde meados dos anos 1960, diversos modelos hidrológicos foram estabelecidos; os modelos têm sido desenvolvidos desde bases mais conceituais simples até mais tarde com o desenvolvimento da computação e inserção dos SIG's desenvolvendo assim os modelos distribuídos de base física. Dentre os modelos distribuídos de base física, o *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT desenvolvido no início de 1990, é um modelo aplicado em escala de bacia hidrográfica (ARNOLD et al., 1999).

O objetivo deste trabalho é analisar as estimativas da evapotranspiração potencial (ETP) resultantes das simulações geradas pelo modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith e comparar os resultados obtidos com os gerados a partir do método de Linacre para estação meteorológica de Bebedouro (PE), utilizando-se critérios estatísticos para avaliação do desempenho.

## 2 | MATERIAL E METODOS

Para cálculo da ETP foram coletados dados do período de janeiro de 1993 a dezembro de 2010, fornecidos pela Estação Agrometeorológica de Bebedouro (09°09'S; 40°22'W), na Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw<sup>h</sup>, semi-árido com temperaturas médias anuais elevadas, da ordem de 26,03°C e precipitação média de 347,8 mm (EMBRAPA SEMI-ÁRIDO, 2013).

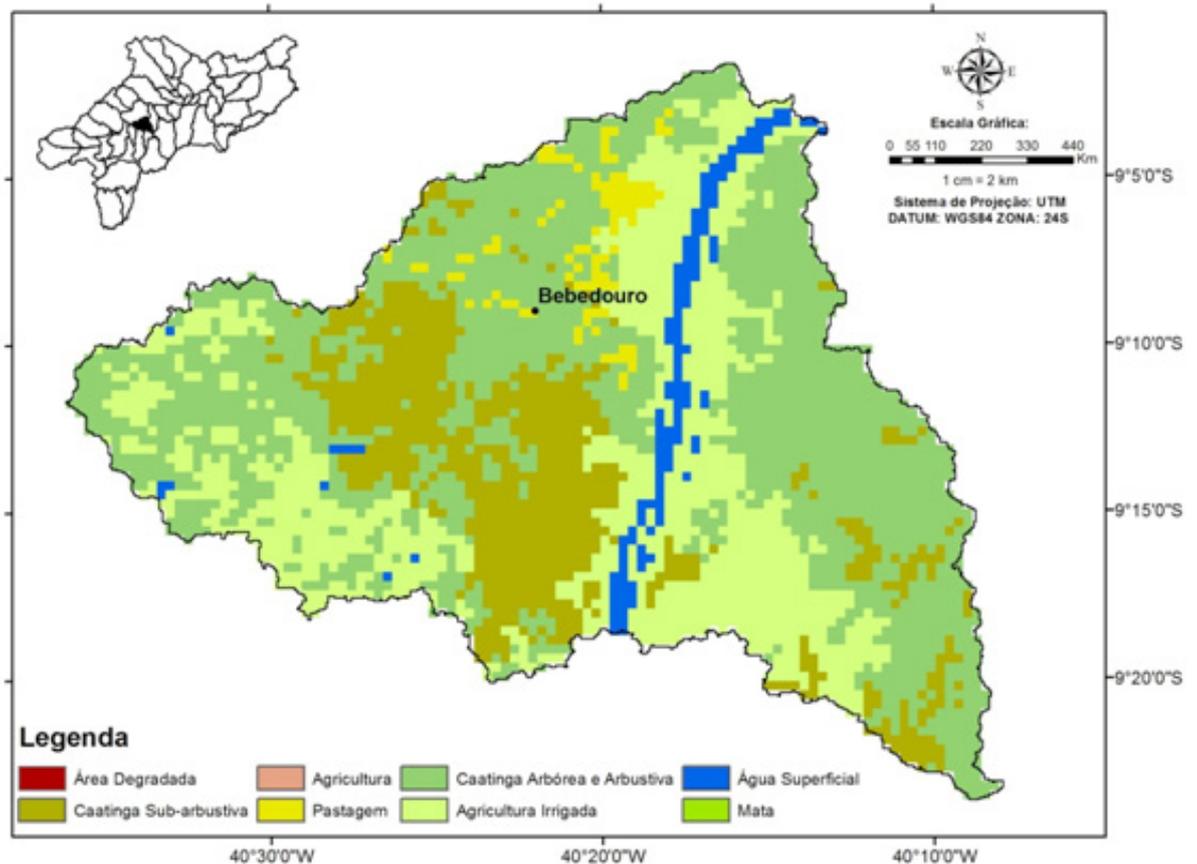


Figura 1. Localização da área de estudo.

### Evapotranspiração Potencial (ETP)

A evapotranspiração potencial foi calculada pelo modelo SWAT através do método de Penman-Monteith de acordo com a Equação (1). Necessitando, portanto, para a sua estimativa de dados médios climáticos das condicionantes termodinâmicas da atmosfera.

$$ETP = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que:

$R_n$ : Saldo de Radiação ( $Mj/m^2 \text{ dia}^{-1}$ ),

$G$ : Fluxo de calor no solo ( $Mj \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ),

$T_a$ : Temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ ),

$U_2$ : Velocidade média diária do vento a 2m de altura,

$E_s$ : Pressão de saturação de vapor média diária (kPa),

$E_a$ : Pressão atual de vapor média diária (kPa),

$\Delta$ : Declividade da curva de pressão de vapor.

$\gamma$ : Constante psicrométrica (kPa/ $^{\circ}C$ ).

A ETP também foi estimada pelo método de Linacre a partir da Equação (2)

para a estação meteorológica de Petrolina como critério de controle dos valores de saída do modelo.

$$ETP = \frac{500 \frac{T_{med} + (0,006 H)}{100 - (L)} + 15 (T_{med} - T_0)}{(80 - T_{med})} \quad (2)$$

em que:

- $T_{med}$  : Temperatura média (°C),
- H: Altitude (m), para a localidade,
- L: Latitude (°S), para a localidade,
- $T_0$ : Temperatura de Orvalho (°C).

## 2.1 Análise estatística

Para se obter dados diários foi realizada a média dos dados horários da estação agrometeorológica de Bebedouro. Os dias que não possuíam dados foram descartados para que não afetassem os resultados.

Quando se relacionam, pela regressão, valores estimados com valores observados, podem-se obter informações da precisão e da exatidão, que, conjuntamente, indicam a consistência dos dados estimados com os observados. A precisão, ou seja, o grau de dispersão dos valores em torno da média, dada pelo coeficiente de determinação, indica apenas o grau de dispersão dos dados obtidos, o erro aleatório, não considerando o sistemático. Os coeficientes de determinação e de correlação foram obtidos por meio do EXCEL a partir da construção direta dos gráficos e das respectivas regressões. Para a avaliação do desempenho dos modelos utilizaram-se análises de regressão e foram obtidos os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de correlação ( $r$ ), o erro médio percentual (EMP), o erro médio absoluto (EMA), a raiz quadrada do quadrado médio do erro normalizado (RQMDN). Os índices estatísticos são descritos e formulados a seguir:

a) A precisão, ou seja, o grau de dispersão dos valores em torno da média, dada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), indica apenas o grau de dispersão dos dados obtidos, o erro aleatório, não considerando o sistemático. Obtido a partir da Equação (3) que representa as regressões lineares entre os valores observados e os estimados:

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (3)$$

em que:

- $E_i$  - valor estimado
- $O_i$  - valor observado

$\bar{O}$  - média dos valores observados

$n$  - número de observações

b) Raiz quadrada do quadrado médio do erro normalizado (RQMDN) de acordo com a Equação (4):

$$\text{RQMDN} = \frac{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 \right]^{0.5}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i} \quad (4)$$

A RQMDN varia entre 0 a infinito sendo que, quanto menor, melhor a estimativa, entretanto, este índice não faz distinção quanto aos dados serem subestimados ou superestimados (JACOVIDES; KONTOYIANNIS, 1995).

c) O erro médio absoluto representa o módulo da diferença entre o valor observado e o valor estimado. Considerando que  $O_i$  representa o valor observado,  $E_i$  representa o valor estimado a partir dos modelos e  $n$  representa o número de valores, o EMA foi determinado pela Equação (5):

$$\text{EMA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (5)$$

Similar ao RQMDN, quanto menor o valor do erro médio absoluto de EMA melhor a estimativa, porém valores positivos indicam a quantidade média de superestimativa dos modelos, e negativa, o contrário.

d) O erro médio percentual EMP(%) diz respeito ao percentual de viés dos valores simulados em relação aos observados. Quanto mais próximo de zero for o valor deste coeficiente melhor o modelo representará a realidade, ou seja, menor a tendência nas estimativas e, além disso, serve também como indicativo se o modelo é pobre em representatividade (MORIASIET al., 2007). LIEW et al. (2007) apresentaram a seguinte classificação:  $|EMP| < 10\%$ , muito bom;  $10\% < |EMP| < 15\%$ , bom;  $15\% < |EMP| < 25\%$ , satisfatório e  $|EMP| > 25\%$ , o modelo é inadequado.

O erro médio percentual foi obtido pela Equação (6):

$$\text{EMP}(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - E_i}{E_i} \right| \times 100\% \quad (6)$$

Para verificar se, realmente, os valores de ETP estimados pelos modelos diferiram significativamente entre os valores de ETP medidos, utilizou-se o teste-t derivado a partir do  $R^2$  (STONE, 1993; TOGRUL; TOGRUL, 2002) segundo a Equação (7):

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (7)$$

em que:

n – número de observações

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sensibilidade do modelo foi abordada em relação à distribuição das componentes que compõem a superfície (relevo, solos e cobertura do solo) como também as variáveis que condicionam o tempo e clima. A partir da análise de sensibilidade foi possível verificar que dentre os principais parâmetros selecionados, a estimativa da ETP com valores coerentes seria de grande importância tendo em vista a demanda natural do ambiente semiárido; tal forçante atua diretamente nos processos de REVAP como também na transferência de água para os canais, fazendo retiradas substanciais do escoamento superficial (Runoff). Como já mencionado, neste estudo foi selecionado no modelo SWAT o método de estimativa da ETP proposto por Penman-Monteith, entretanto na indisponibilidade das variáveis de entrada na validação de tal componente foi também utilizado o método de Linacre.

Para análise do desempenho na estimativa da ETP foi tomado como modelo de referência o método de Linacre (ETP – Calculada) e o método simulado (ETP – SWAT), os resultados obtidos para os 2 métodos foram comparados utilizando critérios estatísticos, aplicados para o período de validação. O período de validação para as estações possui séries históricas (jan-1993 a dez-2010). A Figura 2 exibe a relação entre as estimativas de ETP pelo modelo SWAT e o método de Linacre para localidade de Bebedouro descrevendo uma explicação da ordem de 83% da variabilidade dos dados de ETP foi possível verificar a tendência de subestimativa dos valores simulados em torno de 18%, o que representa em média cerca de 0,9 mm dia<sup>-1</sup>, enquanto o RQMDN foi da ordem de 16,4%.

ETP – Linacre (mm dia <sup>-1</sup> )	ETP – SWAT (mm dia <sup>-1</sup> )	EMA (mm dia <sup>-1</sup> )	EMP (%)	RQMDN (%)
6,2	5,3	0,9	18,1	16,4

Tabela 1. Análise estatística dos modelos de evapotranspiração potencial (ETP).

Sabendo-se da importância da estimativa da ETP para avaliar os efeitos da mudança do uso da terra sobre o rendimento de água, avaliação ambiental, e desenvolvimento de melhores práticas de gestão para proteger a qualidade das águas sobre a superfície e subterrâneas (IRMAK et al., 2005).

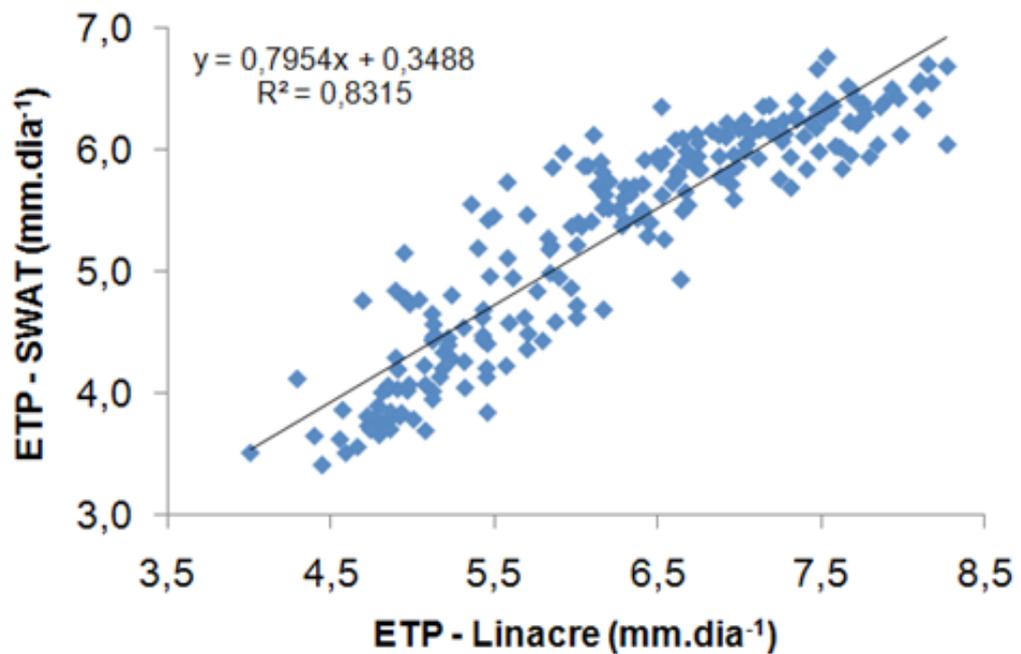


Figura 2. Relação entre as estimativas de ETP pelo modelo SWAT e o método de Linacre para o período (jan-1993 a dez-2010), para localidade de Bebedouro.

#### 4 | CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos foi verificado que as estimativas de ETP gerados a partir das simulações do SWAT representaram em torno de 83% a estimativas da ETP pelo método de Linacre, o qual utilizou apenas dados observados oriundos da estação de Bebedouro (PE). Dessa forma considera-se que os valores possuem desempenho satisfatório. Pode-se concluir que o modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith, apresenta-se como alternativa adequado para fornecer dados estimativos de ETP.

#### REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M. **Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records.** Journal of the American Water Resources Association, Virginia, v. 35, p. 411–424, 1999.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. **Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa.** Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011. e-ISSN 1983-4063.
- IRMAK, A. **Evapotranspiration** - Remote sensing and modeling. InTech, DOI: 10.5772/725, Croatia. Dez. 2011. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/evapotranspiration-remote-sensing-and-modeling>>. Acesso em: 05 nov. 2014.
- JACOVIDES C. P. ; KONTOYIANNIS, H. **Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models.** Agricultural Water Management, U.K., vol. 27, p. 365 -371, 1995.
- LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. **Suitability of SWAT for the Conservation effects assessment project: A comparison on USDA-ARS watersheds.** Journal of Hydrological Research, v. 12, p. 173-189, 2007.

- MORIASI, D. N. ; ARNOLD, J. G. ; LIEW, M. W. VAN; BINGER, R. L. ; HARMEL, R. D. ; VEITH, T. L. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.** Transactions of the ASABE, v. 50, p. 885-900, 2007.
- SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Evapotranspiração – Definições e conceitos.** ESALQ/USP, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula8.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2014.
- SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUZA, E. P.; ARAÚJO, A. L. **SWAT model application to estimate the flow in the basin of lower-middle São Francisco River.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, p. 1615-1627, 2015.
- SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUZA, E. P.; ARAÚJO, A. L.; AZEVEDO, J. V. V. 2016a. Estimativa da Erosividade das Chuvas na Estação Agrometeorológica de Bebedouro (PE). In: SANTOS, C. A. C. DOS; SILVA, M. T.; SILVA, V. M. DE A. (Org.). **Recursos Naturais do Semiárido - Estudos Aplicados.** 1 ed. Campina Grande-PB, v. 1, pp. 325-339.
- SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUZA, E. P.; OLIVEIRA, V. G. **Morphometric analysis of the basin low middle São Francisco River.** Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 4, n. 8, p. 168-174, 2014.
- SILVA, V. P. R. **On climate variability in Northeast of Brazil.** Journal of Arid Environments, v. 58, p. 575-596, 2004.
- SILVA, V. P. R.; FILHO, ADELGÍCIO F. B.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. B. C. **Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 4, p. 547-553. ISSN 1807-1929, 2005.
- SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; SOUZA, E. P. **Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the São Francisco River basin.** Engenharia Agrícola, v. 36, n. 6, p. 1005-1015, 2016b.
- SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; SINGH V. P.; SOUZA E. P.; BRAGA, C. C.; HOLANDA R. M.; BRAGA, A. C. R. **Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin.** CATENA, v. 162, p. 166-176, 2018.
- SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. **Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 400–407, 2008.
- STONE, R. J. **Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models.** Solar energy, v. 51, p. 289-291, 1993.
- TOGRULI, T. ; TOGRUL, H. **Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and Measured date.** Renewable Energy, v. 25, p. 55-67, 2002.
- WANG, K., DICKINSON, R.E. **A review of global terrestrial evapotranspiration: observation, modeling, climatology, and climatic variability.** Rev. Geophys. 50, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2011RG000373>>. Acesso em: 12 out. 2014.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Leonardo Tullio** Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais-CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-85107-48-2



9 788585 107482