

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL POR DIFERENTES MÉTODOS

Lucas Moraes dos Santos¹; Taison Anderson Bortolin²; Adriano Gomes da Silva³; Vania Elisabete Schneider⁴.

RESUMO – A observância dos parâmetros hidrológicos é primordial na tomada de decisões, em especial, no que se refere a agricultura irrigada. Dentro deste contexto, a evapotranspiração caracteriza-se pela ação simultânea de dois processos físicos: evaporação e transpiração. O primeiro está relacionado a perda de água do solo e o segundo, das plantas. Em vistas disso, encontrar formas de repor essa quantidade de água perdida, ao solo, é essencial, seja a partir das chuvas ou das técnicas de irrigação. Entretanto, faz-se necessário o uso sustentável dos recursos hídricos. Diante do problema, vislumbrou-se o desenvolvimento de uma aplicação web que tem por objetivo automatizar o processo de cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), a partir de diversos métodos matemáticos encontrados na literatura, utilizando dados atualizados oriundas de estações meteorológicas operadas pelo INMET. O sistema dispõe ao usuário, resultados da ET_o diária (mm/mes) para um determinado período de tempo, bem como a média diária (mm/mes), para o mês, e mensal (mm/mes), para determinado mês durante o período de alguns anos. A aplicação facilita o processo de cálculo minimizando o tempo de estimativa contribuindo para a análise dos resultados pelo usuário.

Palavras-Chave – Evapotranspiração, automatização, web

ABSTRACT– Compliance with hydrological parameters is paramount in decision-making, especially with regard to irrigated agriculture. Within this context, evapotranspiration is characterized by the simultaneous action of two physical processes: evaporation and transpiration. The first is related to loss of water from the soil and the second from the plants. In this regard, finding ways to restore this amount of lost water to the soil is essential, whether from rainfall or irrigation techniques. However, sustainable use of water resources is necessary. In view of the problem, the development of a web application was aimed at automating the calculation of reference evapotranspiration (ET_o), using several mathematical methods found in the literature, using updated data from meteorological stations operated by INMET. The system provides the user with daily ET_o results (mm / month) for a given period of time, as well as the daily average (mm / month), for the month, and monthly (mm / month) for a given month during the years. The application facilitates the calculation process minimizing the estimation time contributing to the analysis of the results by the user.

Keywords - Evapotranspiration, automation, web

¹ Afiliação: Instituto de Saneamento Ambiental/ Universidade de Caxias do Sul; limsantos7@ucs.br.

² Afiliação: Instituto de Saneamento Ambiental/ Universidade de Caxias do Sul; tabortol@ucs.br.

³ Afiliação: Instituto de Saneamento Ambiental/ Universidade de Caxias do Sul; agsilva11@ucs.br.

⁴ Afiliação: Instituto de Saneamento Ambiental/ Universidade de Caxias do Sul; veschnei@ucs.br

INTRODUÇÃO

O processo simultâneo de perda de água para a atmosfera por meio da evaporação do solo e transpiração das plantas é denominado evapotranspiração (ET), sendo um elemento climatológico fundamental no ciclo hidrológico (PEREIRA et al., 1997; CAMARGO & CAMARGO, 2000; PEREIRA et al., 2009).

A ET é controlada e influenciada por diferentes fatores: balanço de energia, demanda atmosférica, suprimento de água do solo às plantas e pelas características fisiológicas das plantas (MENDONÇA et al., 2003; PEREIRA et al., 2009). Em geral, é mais comum trabalhar com a evapotranspiração potencial (EPT), a qual pode ser definida como a taxa na qual a evapotranspiração (ET) ocorreria de uma grande área coberta completa e uniformemente com vegetação em crescimento, com acesso ilimitado a água, sem efeitos de advecção ou aquecimento (MCVICAR et al., 2012; MCMAHON et al., 2013).

A EPT é muito utilizada em modelos hidrológicos e tem grande aplicação no manejo da irrigação em culturas agrícolas, sendo que há diferentes métodos para sua estimativa, os quais podem ser agrupados em pelo menos quatro categorias: modelos de combinação, radiação, baseados na temperatura e transferência de massa (LI et al., 2016).

Considerando a diversidade de métodos existentes, antes de aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o desempenho deste comparando os diferentes métodos, essencialmente o método de Penman-Monteith-FAO (LEITÃO et al., 2007; PEREIRA et al., 2009; PILAU et al., 2012).

Para facilitar este tipo de análise, este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de uma aplicação web que visa automatizar o processo do cálculo de evapotranspiração, a partir de métodos matemáticos existentes na literatura, baseando-se em dados diários atualizados, advindos de diversas estações meteorológicas, com vistas a fornecer auxílio na tomada de decisões.

Metodologia

O desenvolvimento da aplicação compreendeu as etapas de modelagem (análise dos requisitos e projeto) e construção (geração de código e testes) (LARMAN, 2007). A modelagem teve por objetivo a elaboração de modelos que expliquem as características e o comportamento que o sistema deverá prover, além da estrutura do banco de dados e os padrões de arquitetura de software a serem utilizados na implementação da aplicação, com base na aplicação de uma adaptação do Processo

Unificado, o qual sugere a abordagem de modelagem e desenvolvimento de software através de iterações curtas com resultados testáveis (LARMAN, 2007).

Diante da utilização do Processo Unificado, foram adotados alguns padrões e metodologias comumente usados para desenvolvimento de aplicações web, tais como Modelo-Visão-Controlador (MVC), Fábrica, Singleton, Data Access Object e Configuração. Dentre os diversos padrões presentes na modelagem da aplicação, o mais presente foi a metodologia MVC, criada em 1978 por Trygve Reenskaug, utilizando o paradigma de programação orientada a objetos, modelagem a qual subdivide o software em componentes dispostos como: modelo, visão e controlador, o que permite um melhor controle da qualidade do software, no que diz respeito ao processamento dos dados e design de interface (HASAN e ISAAC, 2011).

Para descrição das entidades envolvidas no domínio da aplicação e estruturação do banco de dados, foram utilizados Modelos Entidade - Relacionamento e Diagramas Entidade - Relacionamento da aplicação, por meio do *plugin* ER Master de construção de diagramas ER, disponível para o ambiente integrado de desenvolvimento Eclipse. A organização da aplicação segue uma lógica de sistemas cliente-servidor, por esta ser uma aplicação web.

Para o desenvolvimento programático do lado servidor, foi empregada a linguagem de programação PHP (acrônimo recursivo para *Hypertext Preprocessor*), versão 7.0. A linguagem possui domínio específico que visa abranger o desenvolvimento web, sendo usada para implementar aplicações, em geral, presentes e atuantes do lado servidor. O código é interpretado por um módulo PHP, no servidor, que retorna os serviços requisitados ao cliente, no momento que o usuário interage com a aplicação (SOMMERVILLE, 2011).

Já no lado cliente as interfaces de usuário da aplicação foram desenvolvidas utilizando a linguagem de marcação HTML, a de estilos CSS e a de scripting JavaScript empregando componentes de um framework web, com código-fonte aberto, denominado Bootstrap, o qual é empregado no desenvolvimento de interfaces cliente a sites e aplicações web com o intuito de implementar responsividade a aplicação, ou site, entre diversos dispositivos e um padrão visual.

Quanto à obtenção de informações meteorológicas para aplicação dos métodos, foram encontradas duas plataformas web de disponibilização de dados. O Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>), com dados advindos da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil, e o Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (www.agritempo.gov.br), tendo como mantenedores a Embrapa Informática Agropecuária e o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Diante da disponibilidade das informações e por elas já estarem adequadas à necessidade da aplicação, optou-se pelo Agritempo

que permite ao usuário acesso, via Internet, a dados meteorológicos e agrometeorológicos de diversos municípios e estados brasileiros. Para armazenar os dados meteorológicos oriundos das estações, foi empregado o gerenciador de banco de dados PostgreSQL.

Modelagem da aplicação

Na modelagem da aplicação foram estudados os requisitos básicos que o sistema deveria prover e possíveis padrões de implementação na engenharia de software, sendo também desenvolvida a modelagem da estrutura de dados e interface da aplicação. As entidades do diagrama ER, apresentado na figura 1, representam o conjunto de dados obtidos das estações meteorológicas, os usuários da aplicação e suas permissões, respectivamente.

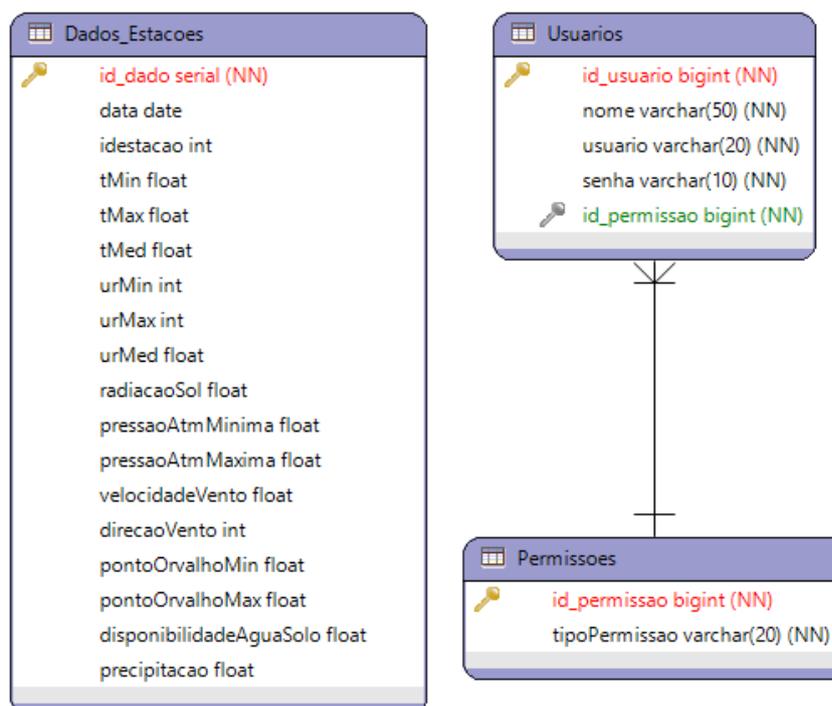


Figura 1 – Diagrama ER – representação das entidades da aplicação e seus atributos

Cada conjunto de dados é formado por parâmetros meteorológicos medidos diariamente a partir de sensores localizados nas estações, assim discriminados: temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento, pontos de orvalho e disponibilidade de água do solo.

Na conversão dos modelos, ou seja, transformação do que está representado no diagrama ER em *linguagem* usada para a definição de estruturas de dados (DDL – do inglês, *Data Definition*

Language), as entidades passaram a ser representadas por tabelas e os atributos, colunas. Na base de dados, foram armazenados os dados meteorológicos, a partir de diversos arquivos de estações, baixados diretamente do Agritempo, diferenciando-os apenas pela estação. Caso as informações para o período consultado pelo usuário não estejam armazenadas, uma consulta ao servidor externo é realizada, usando a data do último registro de dados armazenado em banco e a data solicitada, como chave de busca, mantendo assim o conteúdo da base de dados sempre atualizado.

Desenvolvimento da aplicação

Nesta etapa, desenvolveu-se a lógica responsável pelo controle das interações entre usuário e sistema, e aplicação dos métodos matemáticos. Conforme a utilização do desenvolvimento iterativo, proveniente do Processo Unificado, optou-se por armazenar previamente uma faixa de dados em banco e, delegar a Controladora o gerenciamento da consulta ao Agritempo, contendo as informações do formulário encapsuladas junto a requisição necessárias para envio ao servidor externo. Inicialmente, a Controladora cria uma instância do Modelo, que inicializará a conexão com o banco de dados, e do Visualizador, que se encarrega de construir e apresentar a página inicial.

Resultados

A página inicial, é composta de um formulário onde o usuário seleciona uma estação meteorológica para consulta dos dados e escolha do período que deseja efetuar os cálculos de evapotranspiração. A figura 2, apresenta a página inicial da aplicação, composta por um formulário para inserir a estação e período da consulta:

Cálculo de evapotranspiração - informações para consulta de dados

Estação LAGOA VERMELHA - 01/01/80 - 21/06/18 ▾

Início 01 / 01 / 2008 ✕ **Término** 31 / 01 / 2009 ✕

Limpar Enviar

Figura 2 – Página inicial – formulário de inserção das informações para busca dos dados meteorológicos

Já o Visualizador (Figura 3), apresenta as informações meteorológicas, obtidas a partir da Controladora, ao usuário que, por conseguinte, poderá analisá-las.

Dados Meteorológicos															
Data	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Temperatura Média	Umidade Relativa Mínima	Umidade Relativa Máxima	Umidade Relativa Média	Radiação Solar	Pressão Atmosférica Mínima	Pressão Atmosférica Máxima	Velocidade do Vento	Direção do Vento	Ponto de Orvalho Mínimo	Ponto de Orvalho Máximo	Disponibilidade de Água do Solo	Precipitação
31/01/09	16.2	25.6	20.9	51	88	69.5	16.06	914.7	915.6	7.3	270	13.3	18	48.03	0.4
30/01/09	18.2	28	23.1	34	88	61	24.61	912.3	915.7	7.8	270	10.4	18.3	49.43	0
29/01/09	18.9	27.8	23.35	46	97	71.5	22.94	913.8	916.7	5.4	270	14.4	20.1	51.36	0.2
28/01/09	17.7	27.6	22.65	52	96	74	21.88	915.5	920.5	6.1	90	16.3	19.4	53.19	5
27/01/09	18.1	29.5	23.8	49	93	71	25.11	918.1	921.9	4.8	90	16.4	19.5	51.96	0
26/01/09	18.6	30.9	24.75	43	88	65.5	27.2	919	921.2	6.3	0	15.6	19.1	54.3	0
25/01/09	16.5	29	22.75	45	88	66.5	24.78	917.8	921.5	5	0	13.9	18.3	56.86	0
24/01/09	12.8	26.5	19.65	43	91	67	29.44	918.8	923.6	6.7	90	11.2	14.6	59.43	0
23/01/09	12.2	25.4	18.8	42	93	67.5	32.67	922.4	925.6	5.9	90	10.5	13.3	61.84	0
22/01/09	14.1	26.7	20.4	35	93	64	32.5	922.8	925.4	5.8	90	7.4	13.7	64.16	0

Figura 3 – Dados meteorológicos – apresentação dos dados meteorológicos ao usuário, após consulta em base de dados

O usuário, por sua vez, deverá selecionar algum método matemático para o cálculo da ETo. De acordo com a opção recebida, a Controladora envia uma instrução ao Modelo, indicando qual método deve ser executado, passando os parâmetros necessários à realização dos cálculos. Na aplicação, foram implementados 16 métodos, os quais são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Métodos matemáticos implementados pela aplicação (Para detalhes das equações empregadas, ver a referência de cada método)

Método
Thornthwaite (1948)
Blaney-Cridle (1950)
Makkink (1957)
Hamon (1961)
Turc (1961)
Romanenko (1961)
Jensen-Haise (1963)
Benavides-Lopez (1970)
Camargo (1971)
Priestley e Taylor (1972)
Linacre (1977)
Doorenbos-Pruitt (1984)
Karrufa (1985)
Hargreaves-Samani (1985)
Penman-Montheit FAO56 (ALLEN, et al., 1990)
Thornthwaite-Camargo (2000)

Sobre cada conjunto de dados diários, calcula-se a ETo e, posteriormente, os resultados obtidos são enviados à Controladora. Esta solicita ao Visualizador, para que este exiba os resultados ao usuário da aplicação.

Após aplicar os métodos matemáticos, sobre os dados de estações meteorológicas consultados, são obtidos os resultados para a ETo diária, ETo média diária mensal, em milímetros por dia (mm/dia), e a Eto média mensal em milímetros por mês (mm/mês). A exemplo dos métodos disponíveis, a figura 6 apresenta os resultados do cálculo da ETo diária, média diária mensal e média mensal, a partir do método matemático de Penman-Monteith-FAO, para um período compreendido entre 01/01/2008 a 31/01/2009 e tendo por base os dados da estação meteorológica de Lagoa Vermelha (coleta dos dados compreendendo o período de 01/01/1980 a 17/06/2018), conforme mostra a Figura 4.

Período analisado ↕	Evapotranspiração (mm/dia)	Mes / Ano	Media Diaria Mensal (mm/dia)	Meses	Media Mensal (mm/mes)
31/01/09	6.8959961177006	Janeiro/2009	6.9026343558719	Janeiro	213.11662326773
30/01/09	9.2824230298968	Dezembro/2008	8.1915927648613	Dezembro	253.9393757107
29/01/09	7.0881152314863	Novembro/2008	6.6071867242444	Novembro	198.21560172733
28/01/09	6.6985711320788	Outubro/2008	4.8618212050995	Outubro	150.71645735808
27/01/09	7.2795413596953	Setembro/2008	4.7842978352337	Setembro	143.52893505701
26/01/09	8.9872385119434	Agosto/2008	4.3749013174213	Agosto	135.62194084006
25/01/09	7.7675548243339	Julho/2008	4.1589827577745	Julho	128.92846549101
24/01/09	7.3658821398574	Junho/2008	2.8520819686938	Junho	85.562459060815
23/01/09	6.8500711844712	Mai/2008	3.9669232062612	Mai	122.9746193941
22/01/09	7.7982421196996	Abril/2008	4.8943969394713	Abril	146.83190818414
21/01/09	8.1705465478629	Março/2008	5.975388650532	Março	185.23704816649

Figura 4 – Resultados – ETo diária (mm/dia), média diária mensal (mm/dia) e média mensal (mm/mes) da ETo, a partir de dados oriundos da estação meteorológica de Lagoa Vermelha, para o período de 01/01/2008 a 31/01/2009

Conclusão

O desenvolvimento da aplicação web para estimativa de evapotranspiração realizado neste trabalho facilitou o processo de cálculo por diferentes métodos, auxiliando o pesquisador na simplificação dos cálculos e estimativas.

A validação dos resultados vem sendo constantemente realizada, bem como a correção de possíveis erros. Além disso, vem sendo desenvolvido o estudo de técnicas atuais que proporcionem as melhorias à aplicação, tanto na usabilidade, quanto na disponibilização de novas funcionalidades, dentre elas, a possibilidade de interação com mapas, elaboração de gráficos, e análises estatísticas e de desempenho dos métodos. Esta aplicação será disponibilizada para usuários externos no sistema

de informações ambientais “SIAMBIENTAL” elaborado pela Universidade de Caxias do Sul, após a validação e correção de erros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Caxias do Sul, o Instituto de Saneamento Ambiental, e as empresas geradoras de energia hidrelétrica, instaladas na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, Brookfield Energia Renovável S.A., Companhia Energética Rio das Antas, Cooperativa de Desenvolvimento Regional Teotônia – CERTEL, Geração e Hidrotérmica S.A.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and drainage paper, 56).

BENAVIDES, J.; LOPEZ DIAZ, J. Formula para el calculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N - 15° S). *Agronomia Tropical*, Maracay, v. 20, n. 5, p. 335-345, 1970.

BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. O. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Washington: USDA, 1950. 48 p. (Technical paper, n. 96).

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125- 137, 2000

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CAMARGO, Ângelo Paes de; CAMARGO, Marcelo Bento Paes de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, [s.l.], v. 59, n. 2, p.125-137, 2000. FapUNIFESP (SciELO).

CARVALHO, Luiz Gonsaga de et al. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA: UMA ABORDAGEM ATUAL DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Brasil, v. 41, n. 3, p.456-465, jun. 2011. Trimestral.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1984. 178 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 24).

HAMON, W. R. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Hydraulics Division*, New York, v. 87, p. 107-120, 1961.

JS. S. HASAN; R. K. ISAAC. “An integrated approach of MAS-CommonKADS, Model-View-Controller and web application optimization strategies for web-based expert system development”. *Expert Systems With Applications*, v. 38, n. 1, p.417-428, jan. 2011. Elsevier BV

- JENSEN, M. E., HAYSE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, New York, v. 89, n. 4, p. 15-41, Dez. 1963.
- KHARRUFA, N. S. Simplified equation for evapotranspiration in arid regions. *Beiträge zur Hydrologie: Sonderheft, Kirchzarten*, v. 5, n. 1, p. 39-47, 1985.
- LARMAN, Craig. Utilizando UML e padrões: uma introdução à análise e ao projeto orientados a objeto e ao desenvolvimento iterativo. Porto Alegre: Bookman, 2007, 3ª ed.
- LEITÃO, M. DE M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. DE; LEITÃO, T. J. V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação para duas regiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2007.
- LIMA JUNIOR, Juarez Cassiano de et al. Defining parameters for the Hargreaves-Samani equation for estimating reference evapotranspiration in the State of Ceará, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 47, n. 3, p.447-454, 2016. GN1 Genesis Network.
- LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v. 18, n. 6, p. 409-424, 1977.
- MAKKINK, G. F. Ekzamento de la formulo de Penman. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, v. 5, p. 290-305, 1957.
- MCCMAHON, T.A., PEEL, M.C., LOWE, L., SRIKANTHAN, R., MCVICAR, T.R.. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrol. Earth Syst. Sc.** 17 (4), 1331–1363, 2013.
- MCVICAR, T.R., KÖRNER, C. On the use of elevation, altitude, and height in the ecological and climatological literature. **Oecologia** 171 (2), 335–337, 2013.
- MENDONÇA, J.C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.275-279, 2003.
- PEREIRA, A.R. et al. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- ROMANENKO, V. A. Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. Kiev: Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, 1961. 3 p.
- SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 532 p. Kalinka Oliveira e Ivan Bosnic.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- TURC, L. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Annales Agronomiques*, Paris, v. 12, n. 1, p. 13-49, 1961.