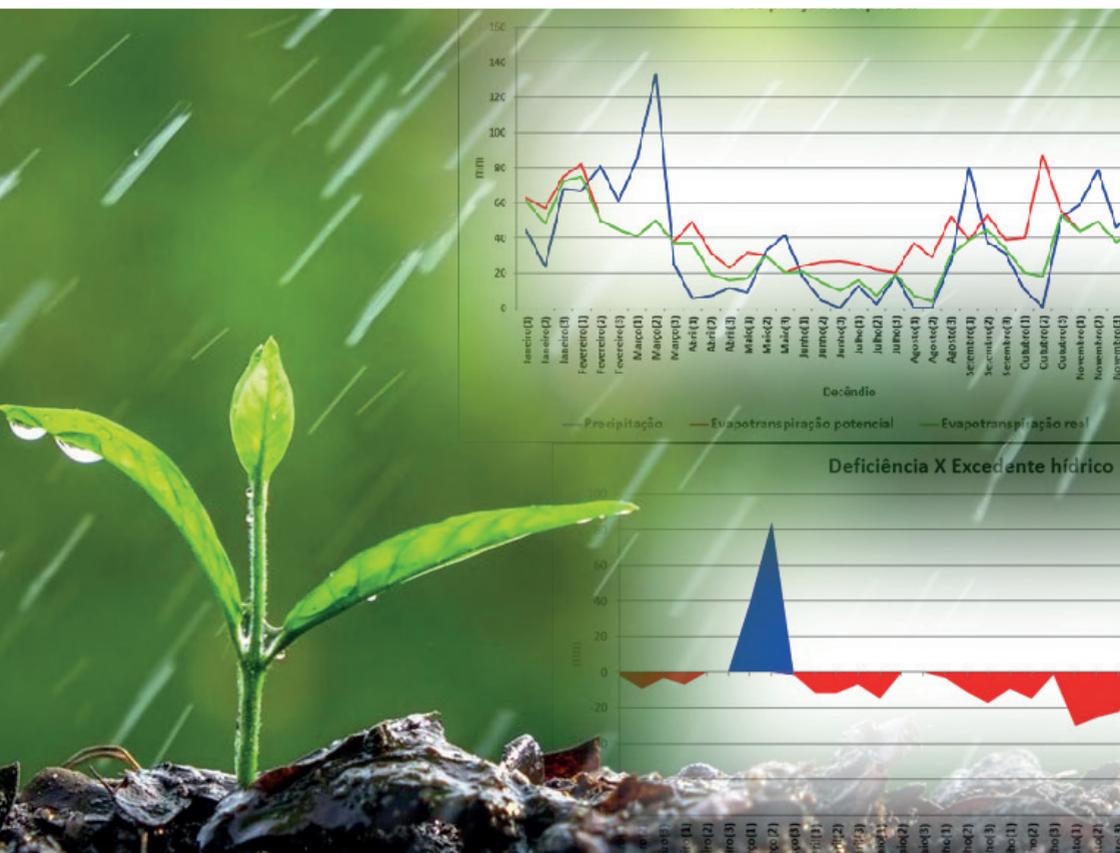


BHCalc Manual do usuário



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 148

BHCalc Manual do usuário

*João Paulo da Silva
Elza Jacqueline Leite Meireles
Marcelo Bento Paes de Camargo
Angélica Praela Pantano
Luciana Alvim Santos Romani*

Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, 209 - Barão Geraldo
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP
Fone: (19) 3211-5700
www.embrapa.br/informatica-agropecuaria
SAC: www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações

Presidente: *Giampaolo Queiroz Pellegrino*

Secretária: *Carla Cristiane Osawa*

Membros: *Adhemar Zerlotini Neto, Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Thiago Teixeira Santos, Maria Goretti Gurgel Praxedes, Adriana Farah Gonzalez, Carla Cristiane Osawa*

Membros suplentes: *Felipe Rodrigues da Silva, José Ruy Porto de Carvalho, Eduardo Delgado Assad, Fábio César da Silva*

Supervisor editorial: *Stanley Robson de Medeiros Oliveira, Suzilei Carneiro*

Revisor de texto: *Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica: *Maria Goretti Gurgel Praxedes*

Editoração eletrônica/Arte capa: *Suzilei Carneiro*

Imagens capa: *<http://oagronomico.iac.sp.gov.br> <acesso em 7 de fevereiro de 2017>*

1ª edição

publicação digitalizada 2016

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Informática Agropecuária

BHCalc manual do usuário / João Paulo Silva... [et al.]- Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2016.

26 p. : il. ; cm. - (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9274; 148).

1. Balanço hídrico. 2. Deficiência hídrica. 3. Evapotranspiração potencial 4. Excedente hídrico. I. Silva, João Paulo. II. Embrapa Informática Agropecuária. III. Título. IV. Série.

CDD 005.15

© Embrapa 2016

Autores

João Paulo da Silva

Engenheiro-agrônomo, mestrando em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP

Elza Jacqueline Leite Meireles

Engenheira-agrícola, doutora em Agronomia (Irrigação e Drenagem) Pesquisadora da Embrapa Café, Brasília, DF

Marcelo Bento Paes de Camargo

Engenheiro-agrônomo, PhD em Agrometeorologia
Pesquisador científico aposentado do Instituto Agronômico, IAC/
APTA, Campinas, SP

Angélica Praelo Pantano

Engenheira-agrônoma, doutora em Física do Ambiente Agrícola
Pesquisador científico do Instituto Agronômico, IAC/APTA,
Campinas, SP

Luciana Alvim Santos Romani

Cientista da computação, doutora em Ciências Matemáticas e de
Computação
Pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Apresentação

Atualmente, o conhecimento das condições climáticas e seus riscos têm sido amplamente empregados por produtores no planejamento e condução das lavouras, como também, em políticas públicas visando à concessão de financiamentos e seguros da produção. Esse conhecimento possibilita determinar as melhores épocas de plantio, colheita e espécie a ser cultivada em um dado local, a fim de reduzir os riscos de perda da produção por adversidades climáticas, principalmente, no caso de eventos extremos como geadas ou estiagens severas, que historicamente têm resultado em enormes prejuízos econômicos e sociais em diversas regiões do país.

O balanço hídrico (BH) climatológico, descrito por Thornthwaite e Mather (1955), é uma das formas de se monitorar o armazenamento de água no solo (ARM). Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva, e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial, o BH fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência e excedente hídrico e do ARM. Este pode ser empregado no BH normal, para classificação hídrica da região e planejamento das atividades agropecuárias; no BH sequencial, para acompanhamento em tempo real do regime hídrico visando apoiar às tomadas de decisão na condução da lavoura, e no BH da cultura, com aplicação semelhante ao sequencial, mas em condições específicas para a espécie vegetal de interesse.

A ferramenta “BHCalc”, versão 1.0, foi desenvolvida pela Embrapa em parceria com o Instituto Agrônomo de Campinas, visando o cálculo do balanço de água no solo pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), de forma rápida e prática, otimizando seu uso e aquisição de resultados pelo público interessado, contribuindo assim, para o planejamento e tomadas de decisão das atividades agropecuárias e de pesquisas. Esta ferramenta foi elaborada em ambiente Windows, utilizando o Microsoft Excel e contempla planilhas para o cálculo dos balanços hídricos anual-normal, sequencial e da cultura, em escalas mensal e decenal.

Silvia Maria Fonseca Silveira Massruhá

Chefe-geral

Embrapa Informática Agropecuária

Sumário

Introdução	9
Apresentação da ferramenta	12
Plataforma tecnológica	12
Configurações de segurança	12
Funcionalidades	13
Início	13
Inserção dos parâmetros de entrada	15
Balanço hídrico	18
Considerações finais	25
Referências	25

BHCalc

Manual do usuário

João Paulo da Silva

Elza Jacqueline Leite Meireles

Marcelo Bento Paes de Camargo

Angélica Praela Pantano

Luciana Alvim Santos Romani

Introdução

O agronegócio é um setor estratégico para a economia brasileira e, especialmente em 2015, pode ser o grande condicionante do seu desempenho. Representando 23% do Produto Interno Bruto(PIB) brasileiro, ele pode ser o único setor com crescimento mais expressivo diante da indústria incerta e dos serviços em processo de exaustão (ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ, 2014). Das atividades econômicas, a agricultura é aquela com maior dependência das condições do tempo e do clima (PEREIRA et al., 2002). As condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para semeadura até a colheita, o transporte e o armazenamento dos produtos. As consequências de situações meteorológicas adversas levam constantemente a graves impactos sociais, e a enormes prejuízos econômicos, muitas vezes difíceis de serem quantificados. Mesmo em regiões com tecnologia avançada e com organização social suficiente para diminuir esses impactos, os rigores meteorológicos muitas vezes causam enormes prejuízos econômicos. Como as condições adversas do tempo são frequentes e muitas vezes imprevisíveis a médio e longo prazo, a agricultura constitui-se em atividade de grande risco. Exemplos são as ocorrências de secas pro-

longadas, os veranicos, as geadas, e os períodos de chuvas excessivas, muitas vezes acompanhadas de granizo. Segundo Petr (1991) e Fageria (1992) cerca de 80% da variabilidade da produção agrícola se deve a fatores climáticos. Portanto, é muito importante que o planejamento e a condução das lavouras leve em consideração as condições do clima para buscar a máxima sustentabilidade econômica e ambiental (PEREIRA et al., 2002).

Num agroecossistema, seja de pequena ou grande escala, é indispensável que se conheça o regime hídrico local para melhor manejo e conservação dos recursos naturais, e a estimativa do balanço hídrico climatológico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) é uma das técnicas disponíveis para contabilizar entrada e saída de água no solo ao longo do tempo. Neste modelo, as entradas de água no sistema são contabilizadas pela precipitação e as saídas pela evapotranspiração, assim é possível calcular a variação no armazenamento de água no solo e também os excedentes e déficits hídricos que venham a ocorrer. O balanço hídrico pode ser empregado de três maneiras: no balanço hídrico normal, são utilizados dados climatológicos para classificação hídrica da região e planejamento das atividades agropecuárias; no balanço hídrico sequencial é feito o acompanhamento em tempo real do regime hídrico para auxiliar as tomadas de decisão na condução da lavoura; o balanço hídrico da cultura tem aplicação semelhante ao sequencial, mas este é calculado para uma espécie vegetal de interesse, com estágio vegetativo e condições de cultivo e de ambiente específicas (PEREIRA et al., 2002). Muitos trabalhos envolvendo o gerenciamento de recursos hídricos em ambientes agrícolas utilizam o balanço hídrico para classificação climática (DANTAS et al., 2007; ROLIM et al., 2007), zoneamento agroclimático (ALMEIDA et al., 2013; NUNES et al., 2007), avaliação de perda de nutrientes do solo (BORTOLOTTI et al., 2013) e irrigação, visto que esta última exige métodos tecnológicos e econômicos para otimização do uso da água (PAZ et al., 2000) e também é uma importante medida adaptativa às mudanças climáticas (MAGRIN et al., 2007; SEO, 2011).

A evapotranspiração potencial (ETp) ou evapotranspiração de referência (ETo), um dos componentes do balanço hídrico, é uma medida de referência que representa a quantidade de água que sai do sistema solo-planta para a atmosfera em uma superfície totalmente coberta por grama, com altura de 8 a 15 cm, em pleno crescimento e sem restrições hídricas. Sua estimativa pode ser feita por diversos modelos, com destaque para os

métodos de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), que apesar de ser o método recomendado pela Food and Agriculture Organization (FAO), demanda uma grande variedade de parâmetros que muitas vezes não estão disponíveis nas estações meteorológicas convencionais, e o de Thornthwaite (1948), que é mais simples de ser utilizado devido à menor variedade de parâmetros necessários e, portanto, bastante adequado para estudos e trabalhos envolvendo climatologia agrícola (CAMARGO; PEREIRA, 1981). Posteriormente, o método de Thornthwaite (1948) foi aperfeiçoado por Camargo et al. (1999), que concluíram que a aplicação da temperatura efetiva (Tef) ao invés da temperatura média reduz a subestimativa da ETp em regiões de clima árido e também a superestimativa desta em regiões de clima super úmido, além de fornecer valores significativamente mais próximos daqueles encontrados pelo método de Penman-Monteith. O consumo hídrico de uma determinada cultura agrícola (ETc) é calculado pelo ajuste da evapotranspiração de referência (ETo), utilizando-se um coeficiente empírico que representa as condições da cultura. Esse coeficiente adimensional, denominado coeficiente de cultura (Kc), converte a ETo, representativa de um gramado em crescimento ativo e que cobre totalmente a superfície do solo, para as condições específicas da cultura que ocupa (sombreia) parcialmente o solo, ou seja: $ETc = Kc \cdot ETo$ (PEREIRA et al., 2008).

O Kc pode ser determinado pela relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração potencial ou de referência. Tal coeficiente varia em função do tipo de cultura, estágio de desenvolvimento e condições meteorológicas reinantes (DOORENBOS; PRUIT, 1977). Na literatura existe uma vasta quantidade de dados de Kc já determinados para várias culturas agrícolas sob diversas condições de cultivo (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; PRUIT, 1977; SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

A agricultura está em constante evolução tecnológica, guiada principalmente pela necessidade de obter tecnologias para automatizar processos (WANG et al., 2006). Uma das causas para o aumento da necessidade de sistemas automatizados está no desenvolvimento de novos sistemas de coleta, que permitem o levantamento de dados em diversas escalas temporais e espaciais (HART; MARTINEZ, 2006), aumentando a quantidade de informação que deve ser gerenciada. O cálculo do balanço hídrico demanda grande quantidade de dados para sua aplicação em um dado local num dado período. Quando esta aplicação se estende a diversas áre-

as e/ou períodos, a quantidade de dados e o esforço necessários para tal também aumenta, surgindo então a necessidade de se buscar ferramentas que auxiliem a aplicação do modelo. Neste sentido, diversos trabalhos envolvendo a aplicação do balanço hídrico lançaram mão de algoritmos computacionais para automatizar os cálculos. Tais algoritmos foram desenvolvidos em diferentes plataformas como softwares de geoprocessamento (D'ANGIOLELLA et al., 2005), que demandam conhecimento do usuário com este tipo de ferramenta, e planilhas eletrônicas (D'ANGIOLELLA; VASCONCELLOS, 2001, 2004; ROLIM et al., 1998), menos complexas de serem operadas. A ferramenta denominada "BHCalc", versão 1.0 foi desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em parceria com o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) ao longo do ano de 2015, visando à aplicabilidade de forma rápida e prática para o cálculo do balanço de água no solo pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), em relação as demais planilhas existentes. Esta ferramenta contempla os balanços hídricos anual-normal, sequencial e da cultura, em escala mensal e decendial.

Este manual tem por objetivo apresentar, de forma rápida e prática, a ferramenta para cálculo o balanço hídrico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), otimizando seu uso e aquisição de resultados pelo público interessado, contribuindo, assim, para o planejamento e tomadas de decisão das atividades agropecuárias e de pesquisas.

Apresentação da ferramenta

Plataforma tecnológica

As planilhas de cálculo do balanço hídrico foram elaboradas para serem utilizadas em ambiente Windows, utilizando o Microsoft Excel, nas versões 2007 ou superior.

Configurações de segurança

Como as funcionalidades do sistema são gerenciadas por macros, é necessário que as configurações de segurança permitam sua execução.

Para isso, o usuário pode habilitar a execução de macros de duas maneiras, ambas acessíveis pela Central de confiabilidade. A primeira é através do menu “Configurações de macro”, selecionando a opção “Habilitar todas as macros”, (Figura 1). No entanto, esta opção não é a mais indicada, pois macros de aplicativos de procedência desconhecida poderão ser executados sem restrições.

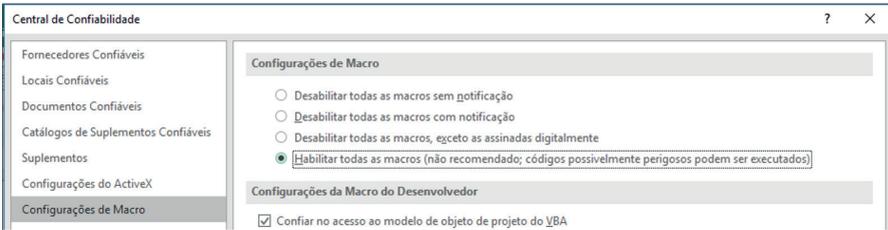


Figura 1. Habilitar a execução de todas as macros.

A maneira mais segura de se trabalhar com macros é adicionando diretórios confiáveis para a execução de macros nas configurações do Microsoft Excel. O menu para adicionar locais confiáveis está na opção “Locais confiáveis na Central de confiabilidade” (Figura 2).

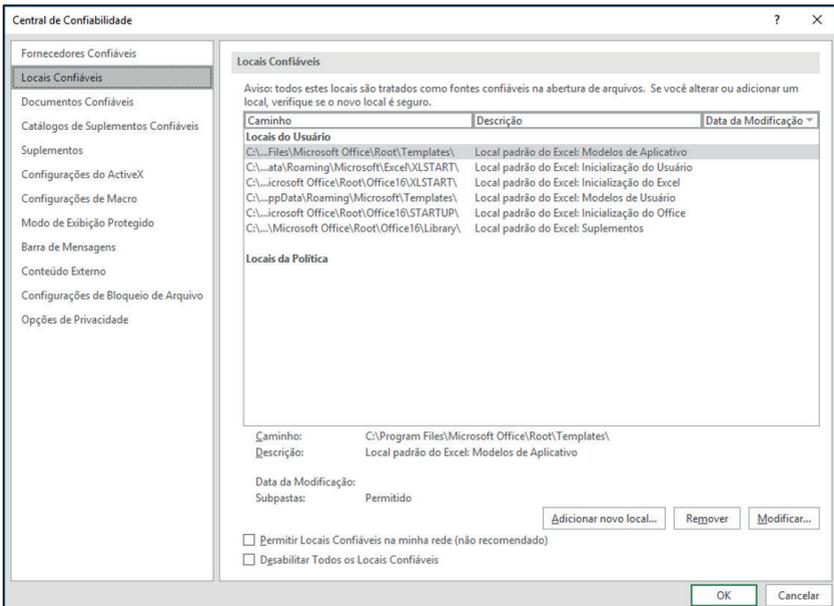


Figura 2. Configuração de locais confiáveis do Microsoft Excel.

Funcionalidades

Início

A primeira tela (Figura 3) da ferramenta apresenta, além do nome da equipe envolvida no desenvolvimento, as instituições parceiras, as configurações primárias de uso, que são o tipo do balanço hídrico a ser selecionado (Anual-normal, sequencial ou da cultura) e a escala a ser empregada (decencial ou mensal). Apenas após a definição destas duas opções, o usuário poderá acessar as telas de cálculo do balanço hídrico pelo botão “Iniciar”.



Figura 3. Tela inicial da ferramenta.

Em cada tela de balanço hídrico, há um menu com controles para gerenciar a ferramenta (Figuras 4 e 5).



Figura 4. Menu de controle da tela de balanço hídrico anual-normal e sequencial.

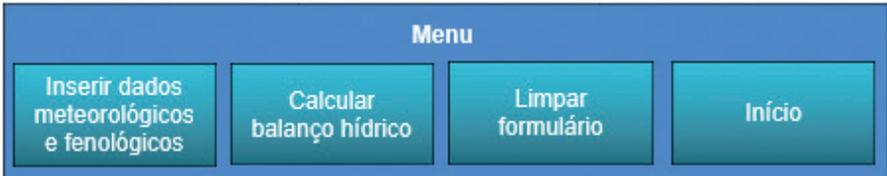


Figura 5. Menu de controle da tela do balanço hídrico da cultura.

Inserção dos parâmetros de entrada

Após a seleção do tipo de balanço hídrico desejado, o usuário é direcionado para uma nova tela onde deverá fornecer os parâmetros de entrada referentes ao período que se deseja simular o balanço hídrico, localização, solo e clima (Figuras 6, 7 e 8). Nesta etapa, a ferramenta requer, obrigatoriamente, informações da latitude do local (graus), capacidade de água disponível (CAD, em milímetros), período que se deseja simular o balanço hídrico e o método de estimativa de temperatura para os três tipos de balanços hídricos. No caso do balanço hídrico da cultura, o número de fases fenológicas também deve ser preenchido. Outros parâmetros de caráter opcional também podem ser informados, como: local, altitude (metros), nome da cultura e índices térmicos regionais ("l" e "a").

Esta ferramenta é composta por dois métodos de estimativa de temperatura. O primeiro utiliza a média aritmética entre as temperaturas máxima e mínima; o segundo, o cálculo da temperatura efetiva (Tef). A temperatura estimada será utilizada para definir os índices térmicos regionais "l" e "a", quando estes não forem fornecidos pelo usuário, e a evapotranspiração potencial será calculada pelo método de Thornthwaite (1948). Durante o cálculo do balanço hídrico, os dados da temperatura estimada calculados pela ferramenta são apresentados em uma coluna ao lado da "Temperatura

mínima”, e os índices “l” e “a” nos campos destinados à inserção destes índices.

O preenchimento do período que se deseja simular o balanço hídrico varia com o tipo selecionado (Anual-normal, sequencial ou da cultura). No balanço hídrico anual-normal (Figura 6), é fornecido apenas o ano (Exemplo: 2015) ou período (Exemplo: 2000-2015). Para o balanço hídrico sequencial (Figura 7), define-se o início e fim do período escolhido, sendo obrigatório apenas o ano e o decêndio ou mês final. Caso não seja fornecido o ano inicial, a ferramenta interpreta este como o ano anterior ao ano final. O decêndio ou mês inicial será sempre o primeiro do ano. No balanço hídrico da cultura (Figura 8) o usuário vai informar o ano e o decêndio ou mês de plantio e colheita, e a ferramenta vai informar o período de dados meteorológicos necessário.

Período	
*Período	2015
Localização	
*Latitude (graus)	-22,81
Altitude (metros)	660
Local	Campinas
Solo e clima	
*Capacidade de água disponível (mm)	100
*Estimativa de temperatura	Temperatura efetiva
Índice l	
Índice a	
* Preenchimento obrigatório	

Figura 6. Parâmetros de entrada para a simulação do balanço hídrico anual-normal.

Definido o período para a simulação do balanço hídrico e o número de fases fenológicas (no caso do balanço hídrico da cultura), o usuário deve acionar o botão “Inserir dados meteorológicos”. Se houver alguma incoerência no período informado, como um dado faltante ou período final menor que o inicial, a ferramenta informará onde o erro ocorreu. Quando todos os dados forem preenchidos corretamente, a ferramenta mostrará uma tabela onde serão inseridos os dados de temperaturas máxima e mínima do ar e precipitação, conforme a escala de tempo requerida (Figura 9). No

caso do balanço hídrico da cultura, uma outra tabela também será exibida e nela devem ser inseridos dados fenológicos da cultura (Figura 10), que são: descrição do estágio fenológico, duração (em meses ou decêndios) e o Kc em cada um dos estádios, sendo a descrição do estágio fenológico um parâmetro opcional.

Período		
	Ano	Decêndio
Início	2014	
*Fim	2015	Fevereiro(1)
Localização		
*Latitude (graus)	-22,81	
Altitude (metros)	660	
Local	Campinas	
Solo e clima		
*Capacidade de água disponível (mm)	100	
*Estimativa de temperatura	Temperatura efetiva	
Índice l		
Índice a		

*** Campos obrigatórios**

Figura 7. Parâmetros de entrada para a simulação do balanço hídrico sequencial.

Cultura		
	Ano	Decêndio
*Início do ciclo	2014	Abril(1)
*Fim do ciclo	2015	Maior(1)
*Fases fenológicas	4	
Cultura	Café	
Localização		
*Latitude (graus)	-22,81	
Altitude (metros)	660	
Local	Campinas	
Solo e clima		
*Capacidade de água disponível (mm)	125	
*Estimativa de temperatura	Temperatura efetiva	
Índice l		
Índice a		

*** Campos obrigatórios**

Figura 8. Parâmetros de entrada para a simulação do balanço hídrico da cultura.

Dados meteorológicos				
Decêndio	Precipitação (mm)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)
2014 - Janeiro(1)	90,00	22,63	22,63	22,63
2014 - Janeiro(2)	160,20	20,07	20,07	20,07
2014 - Janeiro(3)	169,00	21,84	21,84	21,84
2014 - Fevereiro(1)	164,60	21,17	21,17	21,17
2014 - Fevereiro(2)	5,00	23,63	23,63	23,63
2014 - Fevereiro(3)	52,00	22,62	22,62	22,62
2014 - Março(1)	97,00	21,81	21,81	21,81
2014 - Março(2)	24,00	21,36	21,36	21,36
2014 - Março(3)	40,00	20,53	20,53	20,53
2014 - Abril(1)	47,40	20,67	20,67	20,67
2014 - Abril(2)	13,60	19,18	19,18	19,18
2014 - Abril(3)	0,00	17,84	17,84	17,84
2014 - Maio(1)	0,20	18,45	18,45	18,45
2014 - Maio(2)	0,40	18,38	18,38	18,38
2014 - Maio(3)	71,20	16,65	16,65	16,65
2014 - Junho(1)	26,20	17,27	17,27	17,27
2014 - Junho(2)	7,00	17,66	17,66	17,66
2014 - Junho(3)	2,80	18,02	18,02	18,02

Figura 9. Entrada dos dados meteorológicos, conforme o tipo de balanço hídrico requerido.

Estádio fenológico	Descrição	Duração (decêndios)	Coefficiente de cultura (Kc)
Estádio 1	Indução e maturação das gemas florais	15	1,00
Estádio 2	Florada, chumbinho e expansão dos frutos	9	1,00
Estádio 3	Granação dos frutos	9	1,00
Estádio 4	Maturação dos frutos	7	1,00

Figura 10. Entrada dos dados fenológicos da cultura.

Balanço hídrico

Depois de preenchidos todos os campos relativos aos dados meteorológicos e fenológicos, inicia-se o cálculo do balanço hídrico acionando o botão “Calcular balanço hídrico”. Nesta etapa, todos os cálculos são feitos automaticamente seguindo a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955). Também são empregadas as equações propostas por Pereira (2005) para facilitar a inicialização dos cálculos, dispensando a necessidade de o usuário saber o valor real do armazenamento de água no início do balanço hídrico.

As Figuras 11 e 12 apresentam as resultantes do balanço hídrico, onde

as principais são: evapotranspiração potencial (ETp), evapotranspiração real (ETr), armazenamento de água no solo (ARM), déficit hídrico (DEF) e excedente hídrico (EXC), as quais foram estimadas para cada intervalo de tempo preestabelecido. As colunas “Precipitação-ETp” e “Precipitação-ETc” (apenas para o balanço hídrico da cultura) apresentam os saldos entre a entrada (Precipitação) e saída (Evapotranspiração potencial ou da cultura) de água em cada intervalo do período preestabelecido. A coluna “Armazenamento de água” apresenta a quantidade de água retida no solo num dado intervalo, variando entre zero e o limite máximo da capacidade de água disponível. Na coluna “Alteração no armazenamento” (ALT) é computada a alteração da coluna “Armazenamento de água” entre o intervalo vigente e o anterior. A “Evapotranspiração real” apresenta a saída de água por evapotranspiração considerando, no dado intervalo, as condições de armazenamento de água no solo. As colunas “Déficit hídrico” e “Excedente hídrico” apresentam a quantidade de água que falta para o solo atingir o nível de capacidade de campo e a água que este não pôde reter por se encontrar saturado respectivamente. Com relação ao período exibido nesta tabela, para o balanço hídrico anual-normal e sequencial são apresentados os resultados para todos os períodos informados pelo usuário, enquanto no balanço hídrico da cultura é apresentado apenas o balanço hídrico para o ciclo da cultura.

A Figura 13 apresenta um sumário das variáveis meteorológicas e das resultantes do balanço hídrico, destacando-se os valores máximos, mínimos e médios ocorridos ao longo do período avaliado, na qual poderá ser utilizada como auxílio na análise dos resultados. Para o balanço hídrico anual-normal, também é possível a aferição dos cálculos, mostrando se estes foram executados corretamente.

No balanço hídrico da cultura, além do sumário para todo o ciclo da cultura (Figura 14), são gerados também outros sumários semelhantes, apresentando informações separadas por estágio fenológico.

Evapotranspiração potencial ETp (THORNTHWAITE, 1948) (mm)	Precipitação - ETp		Armazenamento de água		Balanço hídrico (THORNTHWAITE & MATHER, 1955)		Deficiência hídrica DEF (mm)	Excedente hídrico EXC (mm)
	P-ETp (mm)	ARM (mm)	Alteração no armazenamento ALM (mm)	Evapotranspiração real ETR (mm)				
57	-12	89	-11	56	1	0		
72	-48	55	-34	58	14	0		
49	19	74	19	49	0	0		
37	30	100	26	37	0	4		
39	42	100	0	39	0	42		
40	21	100	0	40	0	21		
36	49	100	0	36	0	49		
27	107	100	0	27	0	107		
36	-11	90	-10	35	1	0		
33	-27	69	-21	27	6	0		
38	-31	51	-18	25	13	0		
30	-19	42	-9	20	10	0		
25	-16	36	-6	15	10	0		
18	14	50	14	18	0	0		
24	17	67	17	24	0	0		
25	-7	62	-5	23	2	0		
23	-18	52	-10	15	8	0		
20	-20	43	-9	9	11	0		
11	1	44	1	11	0	0		
30	-28	33	-11	13	17	0		
26	-7	31	-2	21	5	0		
39	-39	21	-10	10	29	0		
35	-35	15	-6	6	29	0		
38	-11	13	-2	29	9	0		
26	54	67	54	26	0	0		
42	-4	64	-3	41	1	0		
49	-18	53	-11	42	7	0		
43	-33	38	-15	25	18	0		
63	-62	20	-18	19	44	0		
44	8	28	8	44	0	0		
31	28	31	28	31	0	0		
48	30	86	30	48	0	0		
31	15	100	14	31	0	1		
41	16	100	0	41	0	16		
52	73	100	0	52	0	73		
39	59	100	0	39	0	59		

Figura 11. Resultantes do balanço hídrico anual-normal.

Período	Evapotranspiração potencial (mm)		Evapotranspiração da cultura (mm)		Balanço hídrico (THORNTHWAITE & MATHER, 1955)			Excedente hídrico (mm)	
	ETp (THORNTHWAITE, 1949)	ETc (mm)	ETc (mm)	ETc (mm)	Alteração no armazenamento de água (ALT) (mm)	Evapotranspiração real (ETr) (mm)	Deficiência hídrica (DEF) (mm)	Excedente hídrico (EXC) (mm)	Excedente hídrico (EXC) (mm)
2014 - Abril(1)	49	49	-43	80	-33	39	10	0	0
2014 - Abril(2)	31	31	-24	66	-14	21	10	0	0
2014 - Abril(3)	23	23	-12	60	-6	17	6	0	0
2014 - Maio(1)	32	32	-23	50	-10	19	13	0	0
2014 - Maio(2)	30	30	2	52	2	20	0	0	0
2014 - Maio(3)	20	20	21	73	21	20	0	0	0
2014 - Junho(1)	24	24	-6	70	-3	21	3	0	0
2014 - Junho(2)	26	26	-21	59	-11	16	10	0	0
2014 - Junho(3)	27	27	-27	48	-11	11	16	0	0
2014 - Julho(1)	25	25	-13	43	-5	8	8	0	0
2014 - Julho(2)	22	22	-20	37	-6	2	14	0	0
2014 - Julho(3)	20	20	-1	37	0	19	1	0	0
2014 - Agosto(1)	37	37	-37	28	-9	9	28	0	0
2014 - Agosto(2)	29	29	-29	22	-6	6	23	0	0
2014 - Agosto(3)	52	52	-25	18	-4	31	21	0	0
2014 - Setembro(1)	39	39	41	59	41	39	0	0	0
2014 - Setembro(2)	53	53	-15	52	-7	45	8	0	0
2014 - Setembro(3)	39	39	-8	49	-3	34	5	0	0
2014 - Outubro(1)	40	40	-30	39	-10	20	20	0	0
2014 - Outubro(2)	87	87	-86	20	-19	20	67	0	0
2014 - Outubro(3)	56	56	-4	19	-1	53	3	0	0
2014 - Novembro(1)	44	44	15	34	15	44	0	0	0
2014 - Novembro(2)	49	49	29	63	29	49	0	0	0
2014 - Novembro(3)	38	38	8	71	8	38	0	0	0
2014 - Dezembro(1)	43	43	85	14	14	43	0	0	0
2014 - Dezembro(2)	46	46	79	125	40	46	0	39	39
2014 - Dezembro(3)	54	54	44	125	0	54	0	44	44
2015 - Janeiro(1)	58	58	-13	113	-12	57	1	0	0
2015 - Janeiro(2)	76	76	-52	75	-38	62	14	0	0
2015 - Janeiro(3)	49	49	19	94	19	49	0	0	0
2015 - Fevereiro(1)	36	36	31	125	31	36	0	0	0
2015 - Fevereiro(2)	38	38	43	125	0	38	0	43	43
2015 - Fevereiro(3)	41	41	125	0	0	41	0	20	20
2015 - Março(1)	35	35	50	125	0	35	0	50	50
2015 - Março(2)	25	25	109	125	0	25	0	109	109
2015 - Março(3)	35	35	-10	115	-10	35	0	0	0
2015 - Abril(1)	32	32	-26	93	-22	28	4	0	0
2015 - Abril(2)	37	37	-30	73	-20	27	10	0	0
2015 - Abril(3)	28	28	-17	64	-9	20	8	0	0
2015 - Maio(1)	23	23	-14	57	-7	16	7	0	0
2015 - Maio(2)	16	16	16	73	16	16	0	0	0
2015 - Maio(3)	22	22	19	92	19	22	0	0	0

Figura 12. Resultantes do balanço hídrico da cultura.

Resultantes do balanço hídrico	Máxima	Mínima	Média	Total	Unidade
Temperatura máxima	36,47	23,97	29,72		°C
Temperatura mínima	22,05	12,03	16,73		°C
Temperatura efetiva	32,24	21,5	26,07		°C
Precipitação	134	0	40	1452	mm
Evapotranspiração potencial	87	20	43	1536	mm
Precipitação - ETp	84	-86	-2	-82	mm
Armazenamento de água	100	9	51		mm
Alteração no armazenamento	41	-31		0	mm
Evapotranspiração real	75	4	34	1230	mm
Deficiência hídrica	69	0	9	306	mm
Excedente hídrico	84	0	6	224	mm
Aferição dos cálculos					
Aferição correta!					

Figura 13. Sumário do balanço hídrico anual-normal e das variáveis meteorológicas.

Resultantes do balanço hídrico	Máxima	Mínima	Média	Total	Unidade
Temperatura máxima	31,91	23,97	27,11		°C
Temperatura mínima	18,3	12,03	14,1		°C
Temperatura efetiva	27,88	21,5	24,21		°C
Precipitação	41	0	13	188	mm
Evapotranspiração potencial	52	20	30	446	mm
Evapotranspiração da cultura	52	20	30	446	mm
Precipitação - ETc	21	-43	-17	-257	mm
Armazenamento de água	80	18	50		mm
Alteração no armazenamento	21	-33		-95	mm
Evapotranspiração real	39	6	19	284	mm
Deficiência hídrica	28	0	11	162	mm
Excedente hídrico	0	0	0	0	mm

Figura 14. Sumário do balanço hídrico e das variáveis meteorológicas para o ciclo da cultura.

Outro recurso apresentado como uns dos resultados do balanço hídrico são os gráficos gerados após as simulações, os quais apresentam a variação do regime hídrico do solo ao longo do tempo. Diferentes variáveis resultantes do balanço hídrico são combinadas para a construção dos gráficos, tais como: déficit hídrico e excedente hídrico (Figura 15); precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real (Figura 16); armazenamento de água no solo em relação à capacidade máxima que este pode reter (Figura 17) e, por último, excedente hídrico, e déficit hídrico combinados com a retirada de água no solo e reposição por precipitação (Figura 18).

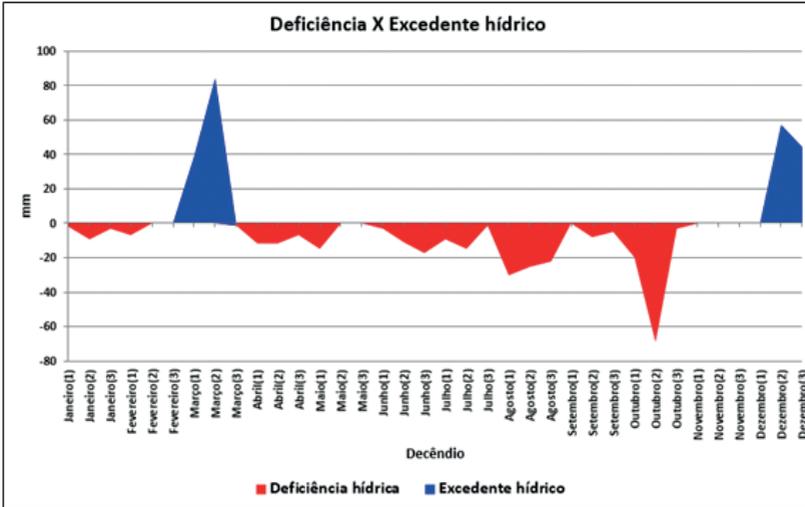


Figura 15. Déficit e excedente hídricos para o local preestabelecido.

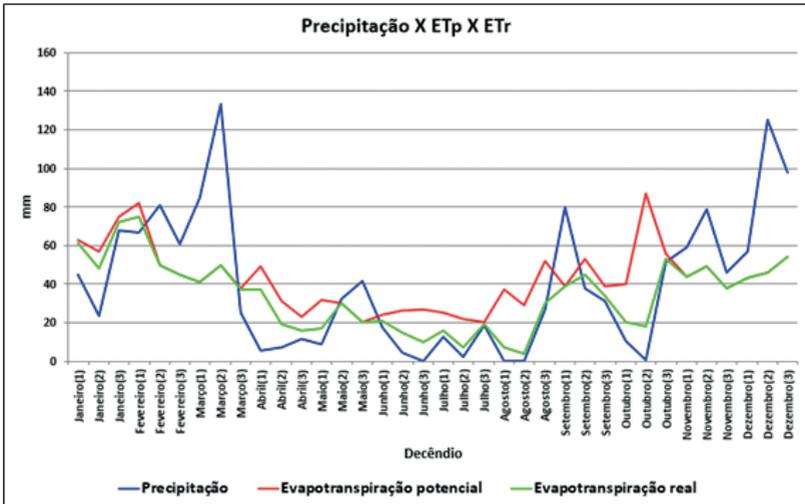


Figura 16. Comparação da precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real, para o local preestabelecido.

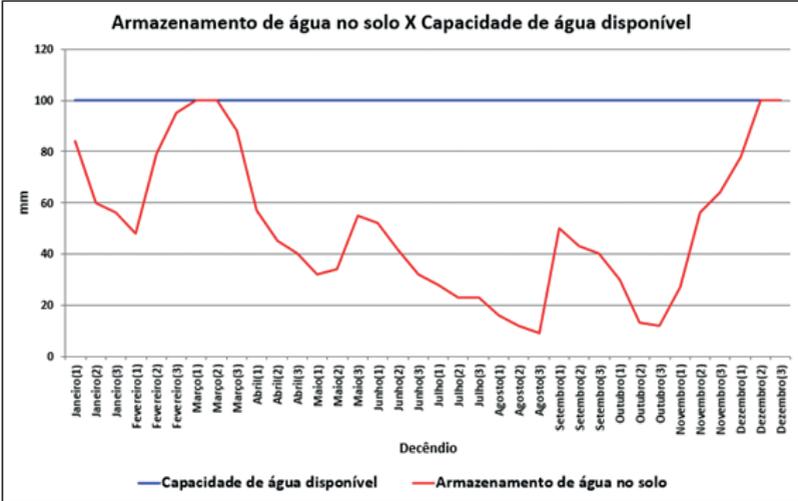


Figura 17. Comparação da variação do armazenamento de água no solo e a capacidade de água disponível para o local preestabelecido.

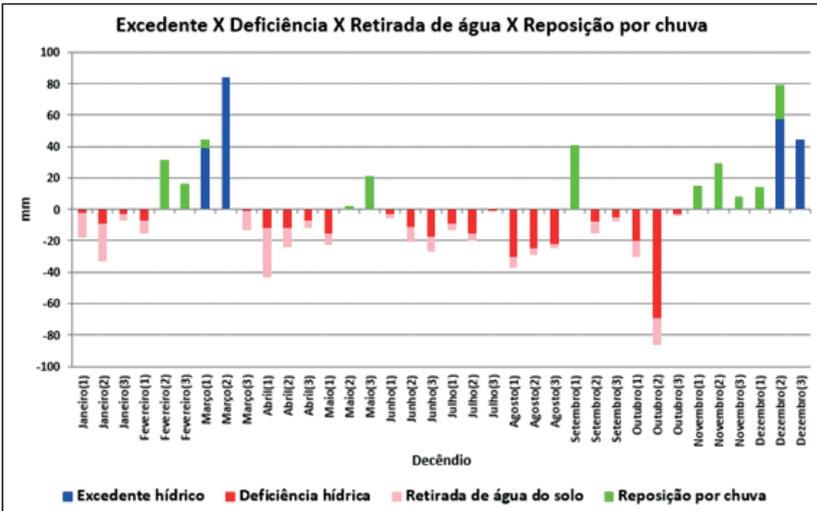


Figura 18. Comparação do excedente hídrico e déficit hídrico com a retirada de água no solo e a reposição por chuva.

Considerações finais

Esta ferramenta proporciona um ambiente automatizado para o cálculo do balanço hídrico de forma rápida e simples que poderá auxiliar diferentes públicos como: estudantes, pesquisadores, agricultores e técnicos em estudos, planejamento ou condução de atividades agrícolas envolvendo a agrometeorologia.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).
- ALMEIDA, T. S.; CALIJURI, M. L.; PINTO, L. B. Zoneamento agro-climático da cana-de-açúcar para o estado de Minas Gerais com base em regressões múltiplas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 352-355, 2013.
- BORTOLOTTI, R. P.; BRUNO, I. P.; DOURADO-NETO, D.; TIMM, L. C.; SILVA, A. N. da; REICHARDT, K. Nitrate leaching through climatologic water balance in a fertigated coffee plantation. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 6, p. 785-792, 2013.
- CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A.R. A evapotranspiração potencial segundo Thornthwaite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1981, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1981. p.110-118.
- CAMARGO, A. P. de; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V. L. D. **Planilhas excel para cálculo de balanço hídrico climatológico com diferentes metodologias para estimativa da evapotranspiração potencial**. In: ENCUESTRO DE LAS ÁGUAS: AGUA, VIDA Y DESARROLLO, Santiago (Chile), 3, 2001. http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/tema_rojo.htm.

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; VASCONCELLOS, V. L. D. BHÍDRICO GD. GD 4.0-2004: planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico. **Revista Bahia Agrícola**, v. 6, p. 14-16, 2004.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V. L. D.; ROSA, J. W. C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 83-90, 2005.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO. 144 p. 1977. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Perspectivas para o agronegócio em 2015**. Piracicaba: ESALQ; USP, 2014.

FAGERIA, N. K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274 p. (Book in soils, plants and the environment, v. 23).

HART, J. K.; MARTINEZ, K. Environmental sensor networks: a revolution in the earth system science? **Earth Science Review**, v. 78, n. 3-4, p. 177-191, 2006.

MAGRIN, G.; GARCIA, C. G.; CHOQUE, D. C.; GIMENEZ, J. C.; MORENO, A. R.; NAGY, G. J.; CARLOS, N.; VILLAMIZAR, A. Latin America. In: PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E. (Eds.). **Climate Change 2007: impacts, adaptation, and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University, 2007. p. 581-615. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: Mapa; INMET, 2009. 530 p.

NUNES, E. L.; NUNES, E. L.; AMORIM, R. C. F. de; SOUZA, W. G. de; RIBEIRO, A.; SENNA, M. C. A.; LEAL, B. G. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a Bacia do Rio Doce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 297-302, 2007.

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. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária. 2002. 478 p.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. **Agrometeorologia de cafezais no Brasil**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 127 p.

PETR, J. **Weather and yield**. Amsterdam: Elsevier. 1991. 288 p.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P. de; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. de. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

ROLIM, G. de S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SEO, N. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. **Ecological Economics**, v. 70, n. 4, p. 825-834, 2011.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geophysical. Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Institute of Technology 1955. 104 p. (Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology. Publications in climatology, v. 8, n. 1).



Informática Agropecuária

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**



CGPE 13456