

Balanço hídrico climatológico: uma revisão

Climatological water balance: a review

Balance hídrico climatológico: una revisión

Recebido: 07/02/2022 | Revisado: 14/02/2022 | Aceito: 04/05/2022 | Publicado: 07/05/2022

Bruna de Villa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2401-7312>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: bruna.devilla.58@hotmail.com

Mirta Teresinha Petry

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4933-607X>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: mirta.petry@gmail.com

Juliano Dalcin Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2501-1067>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: julianodalcinmartins@gmail.com

Felipe Tonetto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1516-7837>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: tonetoagronomia@gmail.com

Luciene Kazue Tokura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9758-0141>
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
E-mail: lucienetokura@gmail.com

Murilo Brum de Moura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9961-4747>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: murilodmoura@hotmail.com

Clarissa Moraes da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0993-9159>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: clarissamoraes37@outlook.com

Andressa Fuzer Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2335-0057>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: [dessa.fuzer@gmail.com](mailto: dessa.fuzer@gmail.com)

Mateus Pereira Cerveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0266-5490>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: mateus_cerveira@icloud.com

Jamilson Elia Slim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9113-5450>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: jamilson_slim@outlook.com

Maurício Siqueira dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9895-6961>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: mauricios.agronomia@gmail.com

Matheus Garlet Bellé

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3369-4091>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: matheusgarletbelle@hotmail.com

Diego Haselein Jimenez

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6939-9596>
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
E-mail: djimenezhaselein@gmail.com

Resumo

O balanço hídrico climatológico (BHC) é uma das formas de monitorar o armazenamento de água no solo, sendo uma ferramenta essencial no planejamento estratégico agrícola. Deste modo, conhecer a época de maior disponibilidade e a de déficit hídrico torna-se importante para auxiliar na tomada de decisão sobre o planejamento agrícola em um determinado local. Contribui para que na fase de planejamento, novas barragens sejam construídas para o

armazenamento de água; que os sistemas de irrigação sejam utilizados no momento mais adequado para o atendimento da cultura e permite ainda a preservação de mananciais. Neste contexto foram utilizados dois modelos para a estimativa do balanço hídrico: um proposto por Thornthwaite e Mather e outro por Rosa et al. Dentro do balanço hídrico podem ser realizadas estimativas a nível de bacia hidrográfica e de propriedade rural, controlando-se a disponibilidade de água para as plantas. Assim, o objetivo deste estudo foi abordar os principais conceitos quanto ao estudo do balanço hídrico em diferentes locais, bacias e regiões fisiográficas.

Palavras-chave: Água; Modelo; Clima.

Abstract

The climatological water balance (CWB) is one of the ways to monitor water storage in the soil, being an essential tool in agricultural strategic planning. In this way, knowing the time of greater availability and the water deficit becomes important to assist in decision-making on agricultural planning in a given location. It contributes to the planning phase; new dams are built for water storage; irrigation systems are used at the most appropriate time to meet the crop and also allows the preservation of springs. In this context, two models were used to estimate the water balance: one proposed by Thornthwaite and Mather and another proposed by Rosa et al. Within the water balance, estimates can be made at river basin and rural property level, controlling the availability of water for the plants. Thus, the objective of this study was to address the main concepts regarding the study of water balance in different locations, basins, and physiographic regions.

Keywords: Water; Model; Climate.

Resumen

El balance hídrico climatológico (BHC) es una de las formas de monitorear el almacenamiento de agua en el suelo, siendo una herramienta esencial en la planificación estratégica agrícola. De este modo, conocer la época de mayor disponibilidad y la de déficit hídrico se torna importante para auxiliar en la toma de decisión sobre la planificación agrícola en un determinado local. Contribuye para que en la fase de planificación, nuevas represas sean construidas para el almacenamiento de agua; que los sistemas de riego sean utilizados en el momento más adecuado para la atención de la cultura y permite aún la preservación de manantiales. En este contexto se utilizaron dos modelos para la estimación del balance hídrico: uno propuesto por Thornthwaite y Mather y otro por Rosa et al. Dentro del balance hídrico se pueden realizar estimaciones a nivel de cuenca hidrográfica y de propiedad rural, controlándose la disponibilidad de agua para las plantas. Así, el objetivo de este estudio fue abordar los principales conceptos en cuanto al estudio del balance hídrico en diferentes lugares, cuencas y regiones fisiográficas.

Palabras clave: Agua; Modelo; Clima.

1. Introdução

A obtenção e análise de dados climatológicos tem ganhado importância em um cenário nacional de crescimento da área irrigada versus os usos múltiplos da água (Silva Junior, Hernandez, Silva Reis & Teixeira, 2018). De acordo com Blain (2009) o monitoramento climático é uma ferramenta importante para o sucesso do planejamento agrícola e para ter alta produtividade, pois determina a melhor época e as áreas mais promissoras para o plantio. Neste sentido o estudo e o monitoramento dos períodos de maior ou menor ocorrência de precipitação, das temperaturas ótimas para as culturas, da disponibilidade de radiação e do balanço hídrico são fundamentais para haver retorno produtivo.

O balanço hídrico climático (BHC) de forma simplificada é a contabilização de água no solo, ou seja, a computação das entradas e saídas de água no sistema (Silva & Bracht, 2010). O balanço hídrico do solo com cultivo é tido como a contabilização dos fluxos de entradas e saídas da água e está medida em volume e em uma unidade de tempo (Libardi, 2005). A metodologia de estimativa do balanço hídrico foi proposta por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955). Ela é empregada para conhecer e controlar o armazenamento de água no solo levando em consideração a textura do solo, profundidade das raízes e contabiliza o fluxo (entradas e saídas) de água. A problemática do balanço hídrico de cultivos agrícolas é a grande variabilidade das variáveis envolvidas, vários tipos de solos com diferentes formações de camadas e de cobertura vegetal do solo, a qual varia conforme a fase desenvolvimento das culturas (Pinheiro, 2010).

Dentro dos componentes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração (ET) é muito importante, uma vez que representa a saída de água por meio dos processos de evaporação do solo e transpiração vegetal (Brito et al., 2020). De acordo com Barreto,

Wendland e Marcuzzo (2009) em alguns locais, a quantidade de água evapotranspirada a partir de uma bacia hidrográfica pode ser significativamente superior à quantidade de água que escoou superficialmente.

Com isso o balanço hídrico torna-se uma ferramenta de estimativa importante no planejamento agrícola e é disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Santos, Hernandez e Rossetti (2010) afirmam que a compreensão das variáveis estimadas no Balanço Hídrico favorece o planejamento agropecuário e as práticas de controle da produção, porque são dados que facilitam aos produtores identificar as condições climáticas que fragilizam o seu sistema produtivo.

Objetivou-se com este estudo abordar os principais conceitos quanto ao estudo do balanço hídrico em diferentes regiões, bacias e culturas trabalhadas.

2. Metodologia

2.1 Balanço hídrico climatológico (BHC)

De acordo com Sales (2014) o ponto de entrada da água no ciclo hidrológico é através da precipitação pluvial (P) e sua saída é pela evapotranspiração potencial (ETP), que é a água que retorna à atmosfera tanto pela evaporação do solo e das águas superficiais, e através da transpiração dos vegetais. O balanço hídrico é resultante da quantidade de água que entrou e que saiu de uma determinada camada do solo em função de um intervalo de tempo, caracterizando os períodos secos e úmidos do local estudado, enquadrando-se como ferramenta para o planejamento agrícola e ambiental (Parreira, Marasca, Solino & Santos, 2019).

Assim o planejamento hídrico é considerado o ponto de partida para o manejo integrado dos recursos hídricos, sendo que a realização do balanço hídrico climatológico (BHC) para determinada região permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo (Santos et al., 2010). A Agência Nacional de Águas (ANA) é a entidade que realiza as atualizações no balanço hídrico nacional tanto para as bacias quanto para os rios no território nacional (Pinhati, Souza & Villela, 2017).

A estimativa do Balanço Hídrico é ferramenta fundamental para o sucesso de um empreendimento agrícola, porque possibilita a tomada de decisão no tocante à prática de irrigação para atender a deficiência hídrica do solo (Passos, Zambrzycki & Pereira, 2017). O balanço hídrico é uma informação que facilita o acesso a informações que favorecem ao agricultor conhecer sobre o momento mais propício para executar as etapas de manejo da cultura, assim como a que mais se adequa a região, incluindo também a definição na aquisição dos sistemas de irrigação e no dimensionamento da lâmina usada no sistema (Parreira et al., 2019).

O modelo trabalhado para estimar o balanço hídrico para fins agrícolas é o descrito por Thornthwaite e Mather (1955) ($BHC = CAD \times PREC \times ETP$), ele está sendo modificado e utilizado por diversos autores ao longo do tempo (Souza & Gomes, 2007; Souza & Gomes, 2008; Araujo et al., 2009). Tal método se mostra mais eficiente para programar e definir diversas atividades agrícolas, sendo suas variáveis de saída o armazenamento da água no solo (ARM), a evapotranspiração real (ER), deficiência (DEF) e excedente hídrico (EXC) (Ometto, 1981; Pereira et al., 1997). Atualmente tem sido utilizado o modelo SIMDualKc desenvolvido por Rosa (2018) que auxilia o manejo da irrigação. Este modelo é utilizado para determinação das necessidades hídricas da cultura em cada fase de desenvolvimento, sendo uma forma de avaliação do balanço hídrico a nível de lavoura.

Para a correta elaboração do balanço hídrico é necessário o conhecimento da gestão de recursos hídricos, que está diretamente ligada a gestão ambiental, que é um processo de ações que interagem a fim de garantir a adequação de exploração de recursos naturais com base nos princípios das diretrizes acordados e definidos inicialmente (Lanna, 1999). Sendo uma ferramenta importante de gestão dos recursos hídricos, indispensável para o desenvolvimento de projetos de irrigação, por

fornecer informações relativas à frequência e ao volume das chuvas, bem como as épocas e os períodos de déficit que devem ser repostos pelas chuvas e, ou, irrigação garantindo a potencialidade produtiva de uma espécie (Silva Junior et al., 2018).

2.2 Irrigação

Na agricultura irrigada, deve-se procurar dar uma atenção especial ao manejo da água, é fundamental estimar de maneira precisa as necessidades hídricas da cultura, de modo que não haja déficit ou excesso, assim como o instante mais adequado para proceder à irrigação, visando, desta forma, maximizar a eficiência desta prática (Bilibio et al., 2010). Na busca de soluções para a melhor aplicação da água, Silva (2017) afirmam que estudos voltados para determinação do balanço hídrico são uma ferramenta importante para avaliar a condição atual e as tendências de disponibilidade deste recurso em uma região ao longo de um intervalo de tempo.

As atividades agrícolas utilizam 65% da água doce do mundo, e essa porcentagem é quase integralmente utilizada pela irrigação, assim, um manejo mais racional da irrigação pode levar à economia de grandes volumes de água, onde a compatibilização entre os recursos hídricos e a agricultura é realizada a partir do que se denomina, no âmbito do gerenciamento de recursos hídricos, de balanço hídrico (Pinhati et al., 2017).

A determinação do balanço hídrico do solo é o ponto de partida para a gestão de um sistema de irrigação. Os modelos de balanço hídrico tem sido ferramentas essenciais, que dão fundamentos para a determinação das necessidades de irrigação e para a condução da mesma (Palaretti et al., 2011). O método utilizado para o cálculo do balanço hídrico do solo, com base em dados meteorológicos, é o Penman-Monteith (Allen et al., 1998), o qual combina a evapotranspiração de referência (ET_0) com um coeficiente de cultura (K_c) para estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c). Atualmente, foi introduzido o método do K_c dual ($K_{cb} + K_e$), que fornece uma melhor estimativa da ET_c diária, porque considera separadamente a evaporação de água do solo e a transpiração da planta.

Rosa (2018) desenvolveu o modelo SIMDual K_c , que utiliza a abordagem do K_{cdual} gera informações que auxiliam o manejo da irrigação, inclusive em situações de déficit hídrico. O SIMDual K_c estima o balanço hídrico diário do solo ao nível de campo, além de calcular a ET_c de modo fracionado, dividido em evaporação do solo (E_s) e transpiração da cultura (T_c), isto permite melhor avaliação de práticas de manejo referentes à irrigação e a utilização de resíduos culturais na superfície do solo. De acordo com Ávila (2016) os modelos de simulação do balanço hídrico do solo, quando calibrados adequadamente, são ferramentas importantes para calcular o requerimento hídrico das culturas, melhorar as práticas de manejo de irrigação e estimar o impacto do déficit hídrico na produtividade das culturas.

Entre os diversos usos da água, o mais relevante no Brasil, a maior parte é relacionado as atividades agrícolas (ANA, 2016). A irrigação é a garantia de produção com relação ao atendimento hídrico da cultura e redução da probabilidade de quebra de safra por seca (Testezlaf, 2017). A disponibilidade hídrica vem sendo afetada pelo aumento da demanda de água e pelo conjunto de fatores meteorológicos, os quais estão tendo contribuição para um aumento da irregularidade da distribuição espacial e temporal deste elemento (Lopes, Guimarães, Melo & Ramos, 2017). Esta situação exige maior planejamento e organização nas ações de gestão dos recursos hídricos, buscando elevar a eficiência para o uso da água (Silva, 2019).

2.3 Regiões fisiográficas/Bacias hidrográficas

A divisão das áreas em regiões fisiográficas é o agrupamento de locais com características físicas semelhantes, sendo elas: características do solo e características do clima. Com o agrupamento desses locais, é possível estabelecer os indicadores do potencial do meio físico para a região em estudo (Medeiros et al., 2015).

Estes indicadores junto ao BHC possibilitam a elaboração de um planejamento integrado dos recursos hídricos, visando implantar sistemas de irrigação dimensionados conforme a maior demanda ou déficit hídrico da região Souza, Correia, Fileti e Vale (2014).

Já segundo Guerra e Guerra (1997) a bacia hidrográfica é considerada como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Rocha e Santos (2018) afirmam que numa bacia hidrográfica é onde ocorrem a maioria dos estudos do ciclo hidrológico. Tucci (2012) aponta que a variabilidade do regime hidrológico é controlada por vários elementos que fazem parte da bacia hidrográfica, entre eles a litologia, relevo, solos, cobertura vegetal e por fatores climáticos (precipitação, radiação solar e evaporação).

Rhoden, Feldmann, Muhl, Ritter e Moreira (2016) destacam que o estudo do balanço hídrico em bacias hidrográficas é fundamental para que se possa conhecer a disponibilidade de água e os momentos de estresse ou déficit hídrico, o que possibilita a elaboração de ações que visem um melhor planejamento na gestão destes recursos. Guandique e Morais (2015) apontam que o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica é determinado através da estimativa da evapotranspiração real e precipitação pluvial. Estes mesmos autores apresentam a equação $P - Q - ET + - DS = 0$ para o balanço hídrico de massa anual, já para um ano a fórmula $ET = P - Q$ (P = precipitação, Q = deflúvio médio anual) tendo a variação do armazenamento $DS \gg 0$.

Estudos que estão no quinto relatório do IPCC sobre mudanças climáticas (IPCC, 2015) apontam impactos como déficit hídrico, aumento da temperatura e maior evapotranspiração, o que justifica a necessidade de pesquisas voltadas para estudos de vazão e mudanças climáticas em bacias hidrográficas brasileiras.

2.4 Entrada e saída de água do solo

Através da estimativa do BHC determina-se o período de ocorrência de deficiência ou de excesso hídrico, se está ocorrendo retirada e reposição de água no solo e a quantidade desta armazenada em seu interior, por meio dos elementos climáticos mensais de temperatura do ar e precipitação pluvial utilizados como entrada no modelo (Carvalho, Dourado Neto, Teodoro & Melo, 2011). A contabilização de água no solo é determinada em função da entrada através da chuva, orvalho e ascensão capilar, sendo aquela responsável por mais de 99% e as saídas por evapotranspiração e drenagem profunda, onde essa é responsável por mais de 84% das perdas (Palaretti et al., 2011).

Está relacionado a fatores como evapotranspiração, precipitação e o conhecimento das características da vegetação (Cintra et al., 2000). Assim, o conhecimento da umidade do solo e de seus processos inter-relacionados, tais como, infiltração, redistribuição, drenagem, evapotranspiração e outros fatores é de fundamental importância para o manejo eficiente dos recursos hídricos, para vários processos ec hidrológicos (fotossíntese, respiração do ecossistema, fluxos de carbono, etc.) e para a sustentabilidade da produção agrícola (Queiroz et al., 2020; Meena et al., 2020).

As mudanças climáticas e de uso da terra podem gerar mudanças nos processos do ciclo hidrológico e que apresentam estreita relação com evaporação e vazão em corpos hídricos bem como com ET das plantas (Aladejana et al., 2018; Šípek et al., 2020).

O monitoramento das culturas e seu requerimento hídrico pode ser estimado com a combinação de modelos do balanço hídrico (BH), sensoriamento remoto e informações meteorológicas (Calera, 2017; Garrido-Rubio, 2018).

2.5 Mudanças climáticas

O monitoramento das oscilações agroclimáticas é crucial para os ganhos em produção agrícola, pois anomalias climáticas atuam diretamente para a redução de produtividade agrícola mundial (Passos et al., 2017).

Para Blain (2009) o conhecimento da variabilidade climática é de crucial importância para o planejamento da agricultura, visto que auxilia na indicação da melhor época e as áreas mais favoráveis ao plantio, possibilitando obter maior sucesso na produção de culturas agrícolas.

O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2017 (UN World Water Development Report – WWDR, 2017), indica, que a demanda por água irá aumentar de forma significativa nas próximas décadas. Sendo apontado o setor agrícola, como responsável por 70% das extrações de água em todo o mundo (Oliveira, 2018).

Assis, Souza e Sobral (2015) afirmaram que as mudanças do clima estão se intensificando de forma mais significativa e a problemática da escassez hídrica, sobretudo em áreas áridas e semiáridas do planeta, dando destaque para o semiárido nordestino do Brasil, por apresentar grande tendência a se tornar uma área árida, por causa da redução de oferta hídrica em função da mudança nos padrões pluviométricos.

Com o avanço das mudanças climáticas em função do aquecimento global, o aumento do estresse hídrico em regiões áridas e semiáridas é considerado um problema de suma importância (Zhang & Shangguan, 2016). Essas regiões são marcadas por chuvas em pequena ocorrência anual e alta variabilidade, além de uma alta evapotranspiração potencial, o que mostra uma limitada disponibilidade de água no solo para a produtividade e crescimento vegetal (Abaker et al., 2018). França, Ferraz, Medeiros, Holanda e Rolim Neto (2018) calcularam o balanço hídrico climatológico para os municípios de São Bento do Una e Serra Talhada - PE nos anos de El Niño (2012 e de 2016) e de La Niña (2008 e 2011) verificando que em anos de El Niño ocorreram alterações nos índices pluviométricos e nos anos de La Niña as irregularidades refletiram no balanço hídrico.

Leivas et al. (2006) revelaram que para o planejamento agrícola, o conhecimento do risco hídrico é tão importante quanto dos valores normais dos dados meteorológicos. Dentre outras pesquisas sobre a temática Ávila et al. (2014) e Silveira et al. (2016) identificaram flutuações na ocorrência de precipitação devido às mudanças climáticas.

3. Resultados e Discussão

3.1 Modelos para balanço hídrico

Apesar de já haver grandes avanços neste ramo do conhecimento os processos físicos e biofísicos que comandam o balanço hídrico, o desenvolvimento de modelos que façam previsões hidrológicas quantitativas em escala regional ainda é considerada uma tarefa árdua, uma vez que, eles precisam de vários dados de entrada e complexas soluções matemáticas (Zhang et al. 2004).

Para determinação dos componentes do balanço hídrico em escalas maiores (regional e bacias hidrográficas) é importante que o modelo seja simples e que os parâmetros possam ser estimados a partir de variáveis do clima e da região (Zhang et al., 2008).

Para estudar o balanço hídrico, pesquisadores utilizam os modelos hidrológicos que agilizaram os trabalhos, por serem capazes de combinar variáveis durante o processo de simulação (Li et al., 2017; Rakovec et al., 2017).

Muitos modelos trabalham em diferentes escalas espaciais e temporais. Alguns processos podem ser simulados considerando-se intervalos de tempo pequenos (minutos, horas e dias) e escalas espaciais muito detalhadas (determinada espécie de planta), ou serem gerados para intervalos de tempo maiores (meses, estações, anos, décadas) e escalas espaciais menos detalhadas (regiões) (Silva, 2019).

Um dos modelos mais usados é o SIMDualKc que usa a abordagem de coeficiente de cultivo duplo FAO56 para estimativa e fracionamento da evapotranspiração (ET) em transpiração real da cultura (T_c act) e evaporação do solo (E_s) (Giménez, Paredes & Pereira, 2017), sendo um modelo de balanço hídrico que se combina com o modelo de produção de água

de Stewart et al. (1977). Este já foi calibrado e utilizado com sucesso em várias aplicações em várias parte do mundo (Giménez et al., 2017).

Neste contexto foi desenvolvido o modelo de balanço hídrico do solo SIMDualKc (Rosa et al., 2012), que a implementa e a conjuga com vários módulos contemplando o cálculo dos Kcb a partir da fc e da altura da cultura, simulação de práticas de gestão do solo (mulches e coberturas vegetais activas) e de práticas de gestão das culturas (consorciações de plantas), stresses ambientais (salinidade do solo) e extensões hidrológicas para aumentar a capacidade de simulação do balanço hídrico do solo, como sejam a aproximação paramétrica de cálculo da ascensão capilar e da percolação profunda (Liu et al., 2006).

O modelo SIMDualKc foi desenvolvido baseado em um conjunto com três pilares: uma interface gráfica, um modelo matemático e uma base de dados (BD). A BD guarda e retorna informação sobre o clima, propriedades hidráulicas do solo, características da cultura, coberturas vegetais do solo vivas e inertes (*mulches*), consorciações de culturas, parâmetros da ascensão capilar e da percolação profunda, escoamento superficial, programação da rega, características dos sistemas de rega e dados da simulação, estes últimos combinam a informação anterior de modo a simular as condições específicas do local em estudo (Rosa, 2018).

4. Conclusão

O estudo e a determinação do balanço hídrico, bem como o controle de entradas e saídas de água do sistema são necessários para um planeamento agrícola. Assegurando com isso o melhor desenvolvimento da cultura, sua produtividade e a segurança hídrica do ambiente, visando garantir que as plantas tenham melhores condições para expressar seu potencial e gerando economia e segurança ao produtor rural.

Deste modo futuros trabalhos que estudem o máximo de variáveis de entrada são de suma importância, podendo-se ter séries históricas longas em conjunto com kc de culturas já calibrados, podendo-se trabalhar de forma mais ampla em nível de região fisiográfica para cada um dos diferentes estados, bem como para as diferentes culturas comerciais.

Referências

- Abaker, W. E., Berninger, F., & Starr, M. (2018). Changes in soil hydraulic properties, soil moisture and water balance in Acacia Senegal plantations of varying age in Sudan. *Journal of Arid Environments*, 150, 42-53.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO-56 Irrigation and drainage. Rome, Italy: FAO, 300p.
- ANA. Agência Nacional de Águas. (2016). *Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: ANA.
- Araujo, M. A., Souza, J. L. M., Brondani, G. E., & Pautetti, V. (2009). Sistemas de manejo e relações hídricas do solo na produtividade da cultura da soja, em Ponta Grossa - Paraná. *Scientia Agraria*, 10(1), 403-412.
- Assis, J. M. O., Souza, W. M., & Sobral, M. C. M. (2015). Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 2, 188- 202.
- Ávila, P. L. R., Souza, E. B., Pinheiro, A. N., & Figueira, W. S. (2014). Análise da precipitação sazonal simulada utilizando o regcm4 sobre o estado do Pará em anos de extremos climáticos. *Revista Brasileira de Climatologia*, 14, 50-75.
- Ávila, V. S. (2016). *Balanço hídrico do solo e partição da evapotranspiração de soja, milho e feijão submetidos à irrigação deficitária no sul do Brasil* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- Barreto, C. E. A. G., Wendland, E., & Marcuzzo, F. F. N. (2009). Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. *Engenharia Agrícola*, 29, 52-61.
- Bilibio, C., Carvalho, J. A., Martins, M., Rezende, F. C., Freitas, E. A., & Gomes, L. A. A. (2010). Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(7), 730-735. doi: 10.1590/S1415-43662010000700007
- Blain, G. C. (2009). Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24, 12-23.

- Brito, T. R. C., Lima, J. R. S., Oliveira, C. L., Souza, R. M. S., Antonino, A. C. D., Medeiros, E. V. ... Alves, E. M. (2020). Mudanças no Uso da Terra e Efeito nos Componentes do Balanço Hídrico no Agreste Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(2), 870-886.
- Calera, A. (2017). Remote Sensing for Crop Water Management: From ET Modelling to Services for the End Users. *Sensors*, 17, 1104-1129.
- Carvalho, H. P., Dourado Neto, D., Teodoro, R. E. F., & Melo, B. (2011). Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. *Biociência Jornal*, 27(2), 221-229.
- Cintra, F. L. D., Libardi, P. L., & Saad, A. M. (2000). Balanço hídrico no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(1), 23-28.
- França, M. V., Ferraz, J. X. V., Medeiros, R. M., Holanda, R. M., & Rolim Neto, F. C. (2018). El Niño e La Niña e suas contribuições na disponibilidade hídrica dos municípios de São Bento do Una e Serra Talhada – PE, Brasil. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, 8(1), 15-21.
- Garrido-Rubio, J. (2018). Remote sensing-based soil water balance for irrigation water accounting at the Spanish Iberian Peninsula. *Proc. IAHS*, 380, 29-35.
- Guerra, A.T., & Guerra, A. J. T. (1997). *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Giménez, L., Paredes, P., & Pereira, L. S. (2017). Water Use and Yield of Soybean under Various Irrigation Regimes and Severe Water Stress. Application of AquaCrop and SIMDualKc Models. *Water*, 9, 1-18.
- Guandique, M. E. G., & Morais L. C. (2015). Estudo de variáveis hidrológicas e do balanço hídrico em bacias hidrográficas. In Pompêo et al. (Orgs.), *Ecologia de reservatórios e interfaces*. São Paulo, SP: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.
- IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. (2015). *Climate change 2014: mitigation of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lanna, A. E. (1999). *Hidroeconomia*. Academia Brasileira de Ciências –Águas Doces no Brasil.
- Leivas, J. F., Berlato, M. A., & Fontana, D. C. (2006). Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 397-407.
- Li, S., Gitau, M., Bosch, D., Engel, B. A., Zhang, L., & Du, Y. (2017). Development of a soil moisture based distributed hydrologic model for determining hydrologically based critical source areas. *Hydrological Processes*, 31(20), 3543-3557. doi: 10.1002/hyp.11276
- Libardi, P. L. (2005). *Dinâmica da água no solo*. São Paulo-SP: Ed/USP.
- Liu, Y., Pereira, L. S., & Fernando, R. M. (2006). Fluxes through the bottom boundary of the root zone in silty soils: Parametric approaches to estimate groundwater contribution and percolation. *Agricultural Water Management*, 84, 27-40.
- Lopes, I., Guimarães, M. J. M., Melo, J. M. M., & Ramos, C. M. C. (2017). Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. *Irriga*, 22, 443-457.
- Medeiros, R. M., Matos, R. M., Silva, P. F., Saboya, L. M. F., & Francisco, P. R. M. (2015). Classificação climática e zoneamento agroclimático de culturas para São João do Cariri - PB. *Enciclopédia Biosfera*, 11(21), 2984-2996.
- Meena, A., Hanief, M., Dinakaran, J., & Rao, K. S. (2020). Soil moisture controls the spatio-temporal pattern of soil respiration under different land use systems in a semi-arid ecosystem of Delhi, India. *Ecological Processes*, 9, 1-13.
- Oliveira, J. A. M., & Oliveira, C. M. M. (2018). Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos – MG. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(6), 3021-3027.
- Ometto, J. C. (1981). *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Ceres, 425p.
- Palaretti, L. F., Mantovani, E. C., & Sedyama, G. C. (2011). Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do norte do estado de São Paulo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 28(2), 531-551.
- Passos, M. L. V., Zambrzycki, G. C., & Pereira, R. S. (2017). Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. *Revista Scientia Agraria*, 18, 83-89.
- Pereira, A. R., Angelocci, L. R., Sentelhas, P. C. (1997). *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: ESALQ. 183p.
- Parreira, A. G. B., Marasca, I., Solino, A. J. S., & Santos, G. O. (2019). Water balance climatological to the county of Rio Verde, Goiás. *Cientific@ Multidisciplinary Journal*, 6(1), 16-33.
- Pinhati, F. S. C., Souza, S. A., & Villela, W. M. C. (2017). Avaliação de um cenário de ampliação da irrigação na bacia do rio São Marcos por meio de geoprocessamento e desenvolvimento de ferramenta computacional para cálculo do balanço hídrico na escala de Ottobacias. In *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* (p. 1-8), Florianópolis, SC.
- Pinheiro, A. (2010). Avaliação das variáveis hidrológicas do balanço Hídrico em área agrícola com cultivo de milho (*Zea mays*) através de uso de lisímetro. *Revista de Estudos Ambientais*, 12(1), 73-81.
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Jardim, A. M. R. F., Souza, C. A. A., Araújo Júnior, G. N. ... Souza, L. S. B. (2020). Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. *Catena*, 188, 104-157.

- Rakovec, O., Kumar, R., Attinger, S., & Samaniego, L. (2017). Improving the realism of hydrologic model through multivariate parameter estimation. *Water Resources Research, ce Abstracts*, 52, 7779-7792. doi:10.1002/2016WR01943
- Rhoden, A. C., Feldmann, N. A., Muhl, F. R., Ritter, A. F. S., & Moreira, A. (2016). A importância da água e da gestão dos recursos hídricos. *Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos*, 1, 91-108.
- Rocha, P. C., & Santos, A. A. (2018). Análise Hidrológica em Bacias Hidrográficas. *Mercator*, 17, e17025. doi: 10.4215/RM2018.E17025
- Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Fernando, R. M., Pereira, L. S. ... Allen, R. G. (2012). Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy. *Agricultural Water Management*, 103, 8-24.
- Rosa, R. G. T. D. (2018). *Modelação da evapotranspiração com o modelo SIMDualKc: Aplicação à rega de fruteiras, a consociações de culturas e a condições salinas, e ligação ao SIG para análise à escala do projecto de rega* (Tese de Doutorado). Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Sales, M. A. L. (2014). *Balço hídrico na sub-bacia hidrográfica do Boi Branco – SP para gestão sustentável da agricultura irrigada* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP.
- Santos, G. O., Hernandez, F. B. T., & Rossetti, J. C. (2010). Balço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 4(3), 142-149.
- Silva, A. L. C. (2019). *Estudo do balanço hídrico na bacia do rio Pajeú utilizando o modelo Swim* (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- Silva, J. R. I. (2017). Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. *Scientia Plena*, 13(10), 1-10.
- Silva, L. É. P., & Bracht, E. (2010). Uma nova abordagem para o cálculo de balanço hídrico climatológico. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 2(1), 2-16, 2010. doi: 10.5335/rbca.2013.722.
- Silva Junior, J. F., Hernandez, F. B. T., Silva, I. P. F., Reis, L. S., & Teixeira, A. H. C. (2018). Estabelecimento dos meses mais críticos para a agricultura irrigada a partir do estudo do balanço hídrico. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 12(2), 122-131.
- Silveira, C. S., Souza Filho, F. A., Martins, E. S. P. R., Oliveira, J. L., Costa, A. C., Nobrega, M. T. ... Silva, R. F. V. (2016). Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21, 416-428, 2016.
- Šípek, V., Hnilica, J., Vlček, L., Hnilicová, S., & Tesař, M. (2020). Influence of vegetation type and soil properties on soil water dynamics in the Šumava Mountains (Southern Bohemia). *Journal of Hydrology*, 582, 124285. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124285
- Souza, J. L. M., & Gomes, S. (2007). Avaliação e desempenho das equações de estimativa do armazenamento de água no solo em um balanço hídrico climatológico decedial irrigacionista. *Acta Scientiarum Agronomy*, 29(4), 433-442.
- Souza, J. L. M., & Gomes, S. (2008). Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decedial em função da capacidade de água disponível no solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, 30(2), 153-163.
- Souza, S. O., Correia, W. S. C., Fileti, R. B., & Vale, C. C. (2014). Balço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Caravelas (BA) como subsídio ao planejamento agrícola. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7, 83-92.
- Stewart, J. I., Hagan, R. M., Pruitt, W. O., Danielson, R. E., Franklin, W. T., Hanks, R. J. ... Jackson, E. B. (1977). Optimizing Crop Production through Control of Water and Salinity Levels in the Soil; Utah Water Research Laboratory: Logan, UT, USA, p. 191.
- Testezlaf, R. (2017). *Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações*. Campinas, SP: Unicamp/FEAGRO.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). *The Water Balance*. Laboratory of Climatology, Centerton: New Jersey, United States. 104p.
- Tucci, C. E. M. (2012). *Hidrologia, ciência e aplicação*. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH.
- WWDR. World Water Development Report (2017). Relatório mundial das nações unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos – 2017. (UN –2017). Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247552por.pdf>
- Zhang, L., Hickel, K., Dawes, W. R., Chiew, F. H. S., Western, A. W., & Briggs, P. R. (2004). A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. *Water Resources Research*, 40, 2502-2516.
- Zhang, L., Potter, N., Hickel, K., Zhang, Y., & Shao, Q. (2008). Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework – Model development and testing. *Journal of Hydrology*, 360(1-4), 117-131. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.07.021
- Zhang, Y. W., & Shanguan, Z. P. (2016). The change of soil water storage in three land use types after 10 years on the Loess Plateau. *Catena*, 147, 87- 95.