



# XX CBMET

Congresso Brasileiro de Meteorologia

DESAFIOS DO MONITORAMENTO METEOROLÓGICO

27 a 30 de Novembro de 2018, Maceió - AL

ANAIIS

Realização:



Apoio:



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE ALAGOAS

# FICHA CATALOGRÁFICA

## ANAIS DO XX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (XX CBMET)

27 e 30 de novembro de 2018 | Maceió - AL

### Editores Técnicos

Heliofábio Barros Gomes e Leandro Fontes de Sousa

### Editoração Eletrônica

Alisson Amorim Siqueira

Todos os resumos neste livro foram reproduzidos de cópias fornecidas pelos autores e o conteúdo dos textos é de exclusiva responsabilidade dos mesmos. A Coordenação do **XX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA** não se responsabiliza por consequências decorrentes do uso de quaisquer dados, afirmações e/ou opiniões inexatas ou que conduzam a erros publicados neste livro de trabalhos.

Copyright © 2018 - XX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida, arquivada ou transmitida, em qualquer forma ou por qualquer meio, sem permissão da Sociedade Brasileira de Meteorologia.

C749 Congresso Brasileiro de Meteorologia (20. : 2018:Maceió).  
Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 27 a 30 de Novembro 2018,  
Maceio, AL [recurso eletrônico] / Coordenado por Heliofábio Barros Gomes. --  
Maceio, AL: UFAL, 2018.

Vários autores      ISBN 99999999999

1. Meteorologia. 2. Monitoramento. 3. Congresso. I. Gomes, Heliofábio Barros. II. Universidade Federal de Alagoas.

CDD 796.063

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas da UFAL  
Bibliotecária:

# BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO PARA O CULTIVO DE LÚPULO NO MUNICÍPIO DE RESENDE, RIO DE JANEIRO

Vitor Pereira Carvalho<sup>1</sup>; Evaldo Paiva Lima<sup>2</sup>; Guilherme Bastos Lyra<sup>3</sup>; Carlos Rodrigues Pereira<sup>1</sup>; Gustavo Bastos Lyra<sup>4</sup>

*Autor para correspondência: vitorpc85@gmail.com*

<sup>1</sup>Universidade Federal Fluminense; <sup>2</sup>EMBRAPA Solos; <sup>3</sup>Universidade Federal de Alagoas;

<sup>4</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

## RESUMO

O lúpulo é uma flor de planta trepadeira da espécie *Humulus lupulus* que é comumente utilizada na fabricação de cerveja, em conjunto com água, malte e levedura. A demanda de lúpulo tem crescido no Brasil, cerca de 20 % ao ano, devido ao crescimento do mercado de cervejas artesanais. Recentemente, na região de Resende-RJ, identificou-se regiões de risco climático baixo e moderado para o cultivo de lúpulo. O presente trabalho teve como objetivo realizar o balanço de água no solo para a região de Resende para três épocas de plantio diferentes para verificar o melhor período de plantio. Nas simulações do balanço considerou-se a escala diária de séries meteorológicas no período de 1961 a 1996. O balanço de água no solo foi simulado com o modelo KcDual FAO-56 e considerou o modelo de Hargreaves-Samani na estimativa da evapotranspiração de referência. O balanço hídrico mostrou que a fase inicial de desenvolvimento, em termos de necessidades hídricas, foi o período mais crítico na região de Resende, e a cultura pode demandar irrigação. Ademais, as simulações mostraram que as probabilidades de déficit hídrico na fase inicial foi de 82,57% para o cultivo precoce, 62,86% para o cultivo normal e 65,15% para o cultivo tardio. Para a fase de crescimento, as probabilidades de déficit foram menores, ou seja, 32,5% no cultivo precoce, 7,32% no cultivo normal e 11,61% no cultivo tardio. O cultivo normal, com início na segunda quinzena de setembro, é o mais recomendado para evitar o déficit hídrico.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Humulus lupulus*; evapotranspiração; déficit hídrico

## SOIL-WATER BALANCE FOR HOP CULTIVATION MUNICIPALITY OF RESENDE, RIO DE JANEIRO

### ABSTRACT

Hop is a climbing flower of the species *Humulus lupulus* which is commonly used in brewing industry together with water, malt and yeast. Demand for hops has grown steadily in Brazil, due to the growth of the craft beer market, about 20 % per year. Recently, in the region of Resende, regions of low and moderate climatic risk were identified for hops crop. The aim of this study was to carry out the soil-water balance for region of Resende for three different planting seasons to verify the best cultivation period. Meteorological data series in period 1961-1996 was considered for soil water balance simulations. Soil water balance was done according to KcDual FAO-56 model and using the Hargreaves and Samani model to estimate reference evapotranspiration. The results showed that the initial phase of

development was the most critical period in terms of water needs in Resende's region, and the crop may require the use of irrigation. In addition, simulations showed that water deficit probabilities in the initial phase was 82.57% for the early culture, 62.86% for normal culture and 65.15% for late culture. For growth phase, the water deficit probabilities were lower: 32.5% (early culture), 7.32% (normal culture) and 11.61% (late culture). The normal cultivation, beginning in the second week of September, is the most recommended to avoid the water deficit.

**KEY-WORDS:** *Humulus lupulus*; evapotranspiration; water deficit

## **INTRODUÇÃO / INTRODUCTION**

O lúpulo é uma flor de planta trepadeira da espécie *Humulus lupulus*, que é comumente utilizada na fabricação de cerveja, em conjunto com água, malte e levedura. Ele é um conservante natural, com ação bactericida e há registros de uso na elaboração da cerveja desde 1079 (MOIR, 2000). A demanda de lúpulo tem aumentado gradativamente no Brasil. Tal fato deve ser atribuído ao crescimento do mercado de cervejas artesanais. Atualmente, estima-se que existam no Brasil 300 microcervejarias, sendo o crescimento médio do setor de 20% ao ano e 90% da matéria-prima é importada (BECKER, 2016). Entre as matérias-primas importadas destaca-se o lúpulo. O Brasil importa cerca de 4 mil toneladas de lúpulo por ano, o que chega a um custo de R\$ 200 milhões (ARAÚJO, 2016). Na contramão deste panorama, alguns pequenos agricultores buscam cultivar a planta em suas propriedades, a maioria das tentativas não teve sucesso, seja por adaptação ao clima ou manejo inadequado.

Um zoneamento climático foi elaborado por Carvalho (2018) utilizando a lógica *fuzzy* para mapear áreas com diferentes classes de riscos para o plantio de lúpulo no estado do Rio de Janeiro. O estudo identificou que o município de Resende possui áreas de risco baixo e moderado para o cultivo. No entanto, sabe-se que nem sempre o regime de chuva atende à demanda de água da cultura e, por isso, é necessário o uso da irrigação para se obter maiores produtividades com qualidade e garantia de safra. Além disso, deve-se quantificar o consumo de água via irrigação, e por isso é necessário estimar o teor de água no solo e avaliar a disponibilidade da mesma durante o ciclo.

A estimativa da umidade do solo não é um trabalho trivial e está sujeita a algumas restrições, tais como: aquisição de equipamentos específicos, mão de obra qualificada e dificuldade de acesso. Assim, diversos estudos utilizam ferramentas computacionais na simulação do balanço de água no solo durante o ciclo da cultura. Esses modelos relacionam as propriedades do solo, com as variáveis atmosféricas e da cultura (VAREJÃO-SILVA, 2000).

## **OBJETIVOS DO TRABALHO / OBJECTIVES**

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo simular o balanço de água no solo pelo modelo KcDual proposto no boletim FAO56 para a região de Resende-RJ, considerando três diferentes períodos, a fim de definir a melhor época de plantio.

Além disso, o estudo teve como objetivo estimar a produtividade em cada época de cultivo simulada.

## MATERIAIS E MÉTODOS / MATERIALS AND METHODS

### Área de estudo

O município de Resende se localiza na região do Médio Paraíba no estado do Rio de Janeiro, e faz fronteira com os estados de Minas Gerais e São Paulo. A cidade se situa a 407 metros acima do nível do mar e apresenta clima tropical de altitude, com médias anuais de temperatura do ar de 21,0 °C, temperatura do ar mínima de 12,4 °C e máxima de 30,8 °C (INMET, 2018).

Os dados meteorológicos usados para o balanço de água no solo foram obtidos na estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Resende de longitude 44° 25' 46" W e latitude 22° 26' 58" S. Nas simulações do balanço de água considerou-se a escala diária de séries meteorológicas do período de 1961 a 1996. A região da estação possui solo do tipo cambissolo háplico, que é classificado como siltoso (EMBRAPA, 1980)..

### Evapotranspiração de referência – Método Hargreaves-Samani

O método de Hargreaves-Samani requer ajuste dos seus coeficientes de acordo com a localidade. No entanto, ele não necessita da medição de alguns dos elementos meteorológicos, usados em outros métodos, como por exemplo, umidade do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica e mesmo radiação solar global. O método é descrito a seguir.

$$ET_0 = a \times 0,408 \times Q_0 \left( \sqrt{(T_x - T_n)} \right) \times \left( 17,8 + \left( (T_x + T_n) / 2 \right) \right) \quad \text{Eq. (41)}$$

Equação (1)

em que,  $a$  é a constante do local a ser ajustada,  $Q_0$  é a radiação solar extraterrestre [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ],  $T_x$  e  $T_n$  são as temperaturas do ar máxima e mínima diária, respectivamente [ $^{\circ}\text{C}$ ]. O parâmetro “ $a$ ” previamente ajustado no trabalho de CARVALHO (2018) para Resende-RJ foi de 0,001846. Como é possível observar, a equação considera a radiação solar extraterrestre, que foi estimada pela equação recomendada pelo modelo FAO-56 (ALLEN et al., 1998).

### Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e balanço de água do solo

A evapotranspiração da cultura do lúpulo foi estimada na escala diária seguindo a abordagem  $K_c$  dual descrita no boletim FAO-56, que calcula separadamente os efeitos da evaporação da água do solo e transpiração da cultura, sendo representada pela seguinte equação (ALLEN et al., 1998):

$$ET_c = K_c \times ET_0 = (K_{cb} + K_e) \times ET_0 \quad \text{Eq. (42)}$$

Equação (2)

em que,  $K_{cb}$  é o coeficiente basal da cultura e  $K_e$  é o coeficiente de evaporação da água no solo.

O coeficiente basal da cultura está relacionado com a transpiração da planta e é proporcional ao seu crescimento. Por isso, é conveniente relacionar  $K_{cb}$  com a duração dos estádios de crescimento.  $K_{cb}$  foi interpolado com as durações de estádios de desenvolvimento do lúpulo pelo método proposto no FAO56.

Para isso é necessário definir  $K_{cb}$  nos estádios inicial ( $K_{cb\_ini}$ ), intermediário ( $K_{cb\_int}$ ) e final ( $K_{cb\_fim}$ ) e os comprimentos dos estádios inicial ( $L_{ini}$ ), crescimento ( $L_{cres}$ ), intermediário ( $L_{int}$ ) e final ( $L_{fim}$ ). Esses valores são específicos para cada tipo de cultura e se encontram tabelados no boletim FAO-56. As tabelas a seguir mostram os valores de  $K_{cb\_ini}$  (0,15),  $K_{cb\_int}$  (1,00),  $K_{cb\_fim}$  (0,80),  $L_{ini}$  (25 dias),  $L_{cresc}$  (40 dias),  $L_{int}$  (80 dias) e  $L_{fim}$  (10 dias) para o lúpulo.

**Tabela 1.** Coeficiente basal da cultura ( $K_{cb}$ ) do lúpulo nos estádios inicial, médio e final

$K_{cb\_ini}$	0,15
$K_{cb\_med}$	1,00
$K_{cb\_fim}$	0,80

Fonte: ALLEN et al. (1998)

**Tabela 2.** Comprimento das fases de desenvolvimento (L), em dias, do lúpulo nos estádios inicial, crescimento, médio e final

Fase inicial ( $L_{ini}$ )	25
Fase de crescimento rápido ( $L_{cresc}$ )	40
Fase de crescimento médio ( $L_{med}$ )	80
Fase final ( $L_{fim}$ )	10

Fonte: ALLEN et al. (1998)

Com base no  $K_{cb}$ , a parcela da transpiração potencial foi estimada de acordo com a equação a seguir.

$$Tr = K_c b \times ET_0 \quad \text{Eq. (43)}$$

Equação (3)

### Balanco de água da camada subsuperficial

A camada subsuperficial é a camada na qual ainda ocorre evaporação da água devido às influências climáticas. O coeficiente  $K_e$  define a parcela da  $ET_0$  que representa a evaporação do solo. Logo,  $K_e$  terá seu valor máximo quando a camada subsuperficial estiver úmida (após chuva ou irrigação) e cairá para zero quando não houver água na subsuperfície do solo disponível para a evaporação.

$$K_e = \min(K_r - (K_c \max - K_c b), (fumd \times K_c \max)) \quad \text{Eq. (44)}$$

Equação (4)

em que,  $K_r$  é o coeficiente de redução da evaporação da água do solo;  $K_{c\_max}$  é o limite superior diário da evaporação e da transpiração de uma superfície cultivada;  $f_{umd}$  é a fração do solo exposto e umedecido.

$K_c$  máximo ( $K_{c\_max}$ ) é o limite superior diário na evaporação e transpiração da cultura. Esse parâmetro é influenciado pelas condições climáticas locais, pois se sabe que a evapotranspiração é um processo relacionado com a umidade do ar e velocidade do ar. A equação de  $K_{c\_max}$  está descrita abaixo.

$$K_{c\_max} = \max [1, 2 + (0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45))^{0,2}(h/3)], \quad (45)$$

Equação (5)

em que,  $h$  é a altura média das plantas;  $u_2$  é a velocidade do vento a 2 metros de altura;  $UR_{min}$  é a umidade relativa do ar mínima.

A estimativa de  $f_c$  deve considerar que a fração média exposta da superfície está relacionada com o crescimento da planta e, por conseguinte, a sua equação está relacionada com os coeficientes de cultura ( $K_{cb}$ ).

$$f_c = \max ((K_{cb} - K_{cbi}) / (K_{c\_max} - K_{cbi}))^{(1+0,5h)}, 0,01 \quad \text{Eq. (46)}$$

Equação (6)

No cálculo de  $K_r$ , deve-se considerar que no começo da fase de secagem, quando o solo ainda está na capacidade de campo, supõe-se que a evaporação ocorre na taxa máxima. Nesse caso,  $K_r$  é igual a 1. No estágio seguinte, quando o teor de umidade diminui e a umidade está abaixo da água facilmente evaporável (AFE), a taxa de evaporação diminui e  $K_r$  é penalizado, e diminui de 1 para 0. A evaporação da água no solo exposto é proporcional à redução de água residual na camada superficial. A equação que define  $K_r$  está definida abaixo.

$$K_r = \begin{cases} 1, & \text{se } De < AFE \\ \max ((CAE - D_{e,i-1}) / (CAE - AFE)), & 0 \text{ se } De > AFE \end{cases} \quad \text{Eq. (47)}$$

Equação (7)

em que, CAE é a capacidade de água evaporável [mm]; AFE é a água facilmente evaporável [mm];  $D_{e,i-1}$  é a depleção da camada superficial do solo no final do dia anterior [mm];  $D_e$  é a depleção da camada superficial do solo no dia [mm].

Segundo o boletim FAO-56, o solo siltoso possui AFE médio de 9,5 mm (ALLEN et al., 1998).

A quantidade máxima de água evaporável (CAE) durante um intervalo de tempo sem chuva ou irrigação fica entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, devido à profundidade da camada superficial do solo que está sujeita a evaporação [0,10 metros] e pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$CAE = 1000(\theta_{CC} - 0,5 \times \theta_{PM}) Z_e \quad \text{Eq. (48)}$$

Equação (8)

em que,  $\theta_{cc}$  é o conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo [ $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ];  $\theta_{pm}$  é o conteúdo volumétrico de água no ponto de murcha permanente [ $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ];  $Z_e$  é a profundidade da camada superficial do solo [m].

De acordo com o FAO-56, o solo siltoso possui a quantidade média de água na capacidade de campo de  $0,32 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$  e a quantidade média de água no ponto de murcha permanente de  $0,17 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ . Com a definição de CAE, aplica-se o balanço de água na camada subsuperficial para determinar a depleção acumulada de água no solo ( $D_e$ ).

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - (P_i - RO_i) - \frac{I_i}{f_w} + \frac{E_i}{f_u md} + T_{ew,i} + DP_{e,i} \quad \text{Eq. (49)}$$

Equação (9)

em que,  $D_{e,i}$  é a depleção na camada superficial no dia  $i$  [mm];  $D_{e,i-1}$  é a depleção na camada superficial no dia anterior [mm];  $P_i$  é a precipitação no dia  $i$  [mm];  $RO_i$  é o escoamento superficial no dia  $i$  [mm];  $E_i$  é a evaporação no dia  $i$  [mm];  $T_{ew,i}$  é a transpiração da fração exposta e molhada da camada superficial no dia  $i$  [mm];  $DP_{e,i}$  é a percolação da superfície do solo no dia  $i$  [mm].

em que,  $E_i$  é a evaporação [ $\text{mm d}^{-1}$ ], sendo dada pela seguinte equação:

$$E_i = K_e \times ET_0 \quad \text{Eq. (50)}$$

Equação (10)

Para o presente estudo, o escoamento superficial foi desprezado, porque o terreno foi considerado plano e sem acúmulo de água. A parcela de irrigação também foi desprezada, pois o balanço de água foi aplicado em séries climáticas de anos anteriores e trata-se de um estudo de zoneamento climático. Espera-se analisar se a demanda atendida pela chuva mantém o cultivo fora da condição de estresse hídrico. Ademais, a parcela da transpiração da camada subsuperficial do solo é pequena em comparação às outras e por isso, também é desconsiderada em casos de raízes profundas (maiores que 0,5 a 0,6 m), conforme Allen et al. (1998). Com essas modificações, o balanço fica da seguinte forma:

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - P_i + \frac{E_i}{f_{umd}} + DP_{e,i} \quad \text{Eq. (51)}$$

Equação (11)

### Balço de água na zona radicular

Na zona radicular, os efeitos da transpiração são maiores e a influência do tamanho da raiz é considerada. Antes de qualquer cálculo, é fundamental estimar CAD, que é a máxima quantidade de água que o solo pode reter, além da força gravitacional. No balanço de água, a estimacão de CAD é proporcional a profundidade efetiva do sistema radicular ( $Z_{r,i}$ ) (PEREIRA et al., 2012):

$$CAD = 1000(\theta_{cc} - \theta_{pm})Z_{r,i} \quad \text{Eq. (52)}$$

Equação (12)

em que,  $\theta_{cc}$  é a umidade do solo a capacidade de campo [ $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ];  $\theta_{pm}$  é a umidade do solo ao ponto de murcha permanente [ $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ];  $Z_{r,i}$  é a profundidade efetiva do sistema radicular [m].

Quando o teor de umidade do solo está abaixo de um valor crítico, a cultura se encontra em condição de estresse por déficit de água. Esses efeitos do estresse são estimados quando se multiplica  $K_{cb}$  por  $K_s$  no cálculo da evapotranspiração real.

$$K_{creal} = K_e + K_s K_{cb} \quad \text{Eq. (53)}$$

Equação (13)

$$ET_r = K_{creal} \times ET_0 \quad \text{Eq. (54)}$$

Equação (14)

em que,  $ET_r$  é a evapotranspiração real [ $\text{mm d}^{-1}$ ],  $K_s$  é a constante de estresse hídrico,  $K_e$  é a constante que representa a parcela de  $ET_0$  que representa a evaporação no solo,  $K_{creal}$  é a constante de cultura da evapotranspiração real;

A  $K_s$  é dado por:

$$K_s = \frac{CAD - D_r}{CAD - AFD} = \frac{CAD - D_{r,z}}{(1 - f)CAD} \quad \text{Eq. (55)}$$

Equação (15)

em que, CAD é a capacidade total da água na zona radicular [mm]; AFD é a água facilmente disponível no solo [mm];  $D_{r,z}$  é a depleção na zona radicular [mm];  $f$  é a fração de depleção ou de consumo de água.

AFD representa a quantidade de água que pode ser extraída do solo pelas raízes sem comprometer o transporte de água da zona radicular para as partes aéreas e é definido pelo limite de fração média da capacidade de água disponível (CAD).

$$AFD = f \times CAD \quad \text{Eq. (56)}$$

Equação (16)

O boletim da FAO-56 traz o  $f$  tabelado no valor de 0,50 para o lúpulo. O cálculo do balanço de água na zona radicular é realizado por meio do esgotamento da água no solo por meio da depleção de água na zona radicular:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P_i - RO_i) - I_i + ET_{r,i} + DP_i ; \text{ se } 0 \leq D_{r,i} \leq AFD \quad \text{Eq. (57)}$$

Equação (17)

em que,  $D_{r,i}$  é a depleção na zona radicular ao fim do dia  $i$  [mm];  $D_{r,i-1}$  é o conteúdo de água na zona radicular ao fim do dia anterior [mm];  $DP_i$  é a perda de água por percolação profunda [mm];  $ET_{r,i}$  é a evapotranspiração real no dia  $i$  [mm].

No início do balanço, o primeiro termo de depleção na zona radicular pode ser uma derivada do teor de água no solo que é descrito como:

$$D_{r,i-1} = 1000(\theta_{cc} - \theta_{i-1})Z_r \quad \text{Eq. (58)}$$

Equação (18)

em que,  $Z_r$  é a profundidade efetiva do sistema radicular,  $\theta_{i-1}$  é a quantidade média de água no solo na zona radicular efetiva.

Neste balanço, são feitas as mesmas considerações simplificativas do balanço de água da camada subsuperficial, em que os termos de irrigação, escoamento superficial foram desprezados. Porém, o termo da evapotranspiração é mantido. Portanto, o rearranjo da equação de balanço com isolamento do termo de percolação fica da seguinte forma:

$$DP_i = P_i - ET_{r,i} - D_{r,i-1} \geq 0 \quad \text{Eq. (59)}$$

Equação (19)

A partir deste balanço, é possível estimar o armazenamento de água no solo (ARM).

$$ARM = \max(CAD - D_{r,i}, 0) \quad \text{Eq. (60)}$$

Equação (20)

Toda a vez que o armazenamento de água no solo (ARM) está abaixo da água facilmente disponível (AFD), a planta se encontra na condição de estresse hídrico. Apenas a chuva ou uso de irrigação são capazes de mudar esta condição (ALLEN et al., 1998).

A fim de quantificar a necessidade de irrigação em cada estágio de desenvolvimento da planta, calculou-se a razão ( $r$ ) entre ARM e CAD.

$$r = \frac{ARM}{CAD} \quad \text{Eq. (61)}$$

Equação (21)

Desta forma, pode-se comparar esta razão com o fator de depleção ( $f$ ) que é constante e igual a 0,5 (ALLEN et al., 1998). Por analogia, quando  $r$  é menor do que  $f$  a planta se encontra em condição de estresse hídrico.

### **Análise estatística dos dados e da época de cultivo**

O cultivo de qualquer planta está sujeito às variações de produtividade causadas pelo regime de chuva de determinada região. No caso do lúpulo, o estresse hídrico antes e durante a floração pode diminuir a produção de alfa e beta-ácidos e a produção de cones (EVANS, 2003; DE KEUKELEIRE et al., 2007). Por isso, é de extrema importância a avaliação da necessidade hídrica da planta em seus diferentes períodos do crescimento vegetativo, principalmente no período antes e durante a floração.

O cálculo do balanço hídrico possibilitou a estimação de valores de armazenamento de água no solo (ARM) e água facilmente disponível (AFD). Assim, foram calculados os valores das razões  $f$  (AFD/CAD) e  $r$  (ARM/CAD). A razão  $r$  foi calculada para todos os dias e, em seguida, estimou-se a probabilidade de  $r$  ser menor do que  $f$  em cada estágio de desenvolvimento da planta. A análise de distribuição de frequência foi feita para quantificar a frequência de ocorrência de dias com estresse hídrico. Essa análise teve como espaço amostral todos os dados climáticos do período de 1963-1978 e de 1995-1996, totalizando 14 anos de dados. Cada ano de cultivo foram simulados em três diferentes épocas de plantio para verificar a influência do regime de chuva no ARM. Todas as simulações tinham 155 dias (duração do ciclo vegetativo do lúpulo), sendo que o cultivo precoce se iniciava 15 de agosto, o cultivo normal 15 de setembro e o tardio 15 de outubro.

Na distribuição de frequência, cada valor diário de  $r$  foi classificado em seis classes que estão mostradas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Classes de valores da razão  $r$

Classes	Valor de $r$
1	$0,00 \leq r < 0,10$
2	$0,10 \leq r < 0,25$
3	$0,25 \leq r < 0,50$

4	$0,50 \leq r < 0,75$
5	$0,75 \leq r < 0,90$
6	$0,90 \leq r < 1,00$

Após a classificação dos valores, gerou-se um histograma de distribuição de frequência para identificar quais as classes com maior frequência em cada fase de desenvolvimento: fase inicial, fase de crescimento rápido, fase intermediária e fase final. Os dados de  $r$  de cada fase e cada ano foram agregados na mesma série de dados para fazer a distribuição de frequência por fase de desenvolvimento. A distribuição foi feita para os três tipos de cultivo (precoce, normal e tardio), o que gerou uma combinação total de 12 histogramas.

Cada classe da distribuição tem uma probabilidade associada, por exemplo:

$$Pc(i) = \frac{\text{número de valores de " r " na classe i}}{\text{número total de estimações de r na fase}} \quad \text{Eq. (62)}$$

Equação (22)

O número total de estimações de  $r$  em cada fase está relacionado com a duração da fase (em dias) e o espaço amostral da mesma no período onde o balanço hídrico será avaliado. Como o balanço hídrico será feito de forma anual, o número de estimações de  $r$  será repetido em cada ano.

Sabe-se que o fator de depleção ( $f$ ) é fixo em 0,50, logo a probabilidade da planta se encontrar em estresse hídrico é dada pelo somatório das probabilidades associadas às classes 1, 2 e 3; pois essas classes englobam todos os valores de  $r$  menores que 0,50. Desta forma, pode-se especificar a probabilidade da planta estar em estresse hídrico numa determinada fase.

$$P(r < f) = P_{c1} + P_{c2} + P_{c3} \quad \text{Equação (23)}$$

### Estimativa da produtividade

A taxa de transpiração está intimamente relacionada com a produção de biomassa de uma planta. Fandiño et al. (2015) realizou um estudo para avaliar a influência da transpiração na produtividade de lúpulo em cultivo realizado na região da Galícia, Espanha. O estudo conclui que existe relação direta entre a transpiração da planta acumulada no período vegetativo e a produtividade. A relação entre transpiração e produtividade foi apresentada pela seguinte regressão linear:

$$Y = 8,0039 * X + 1362,1 \quad \text{Equação (24)}$$

em que,  $Y$  é a produtividade [Kg hectare<sup>-1</sup>];  $X$  é a transpiração acumulada no período vegetativo [mm].

Para estimar a produtividade na região de Resende-RJ, calculou-se a média dos dados diários de transpiração simulados no balanço hídrico para os três tipos de cultivo. Em seguida, as médias foram somadas para obter a transpiração acumulada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO / RESULTS AND DISCUSSION

### Análise da distribuição de frequência por tipo de cultivo

#### • i) Cultivo precoce

O balanço de água do solo no cultivo precoce mostrou que ocorre déficit hídrico na fase inicial de desenvolvimento da planta. A maior frequência dos valores de  $r$  para o plantio precoce (Figura 1a) se encontram dentro da classe 1 ( $0 < r < 0,1$ ). As classes 3 e 4, concentraram a maior frequência de  $r$ , e representaram, aproximadamente, 27 e 32% dos valores de  $r$ , respectivamente (Figura 1b). Na fase de crescimento, observou-se que as classes 5 e 6 também apresentaram frequências significativas, mas elas não caracterizam o déficit hídrico porque representam valores acima de  $f = 0,5$  (fator de depleção), conforme Figura 1b.

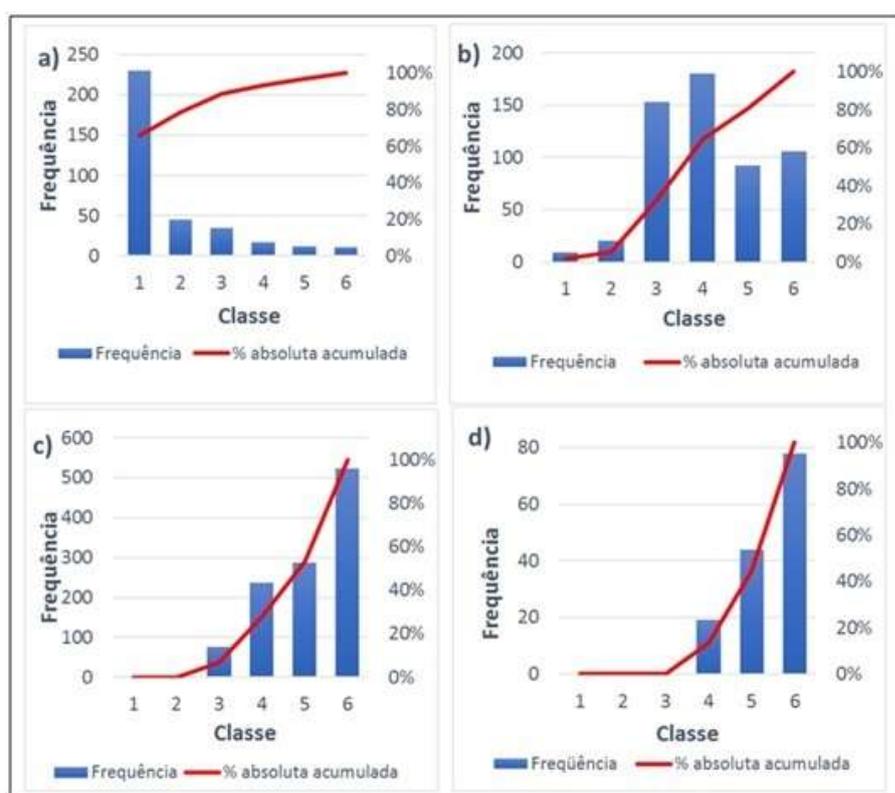


Figura 1. Distribuição de frequência da razão  $r$  por fase de desenvolvimento no cultivo precoce: (a) inicial, (b) crescimento, (c) intermediária e (d) final, no município de Resende, Rio de Janeiro.

**Tabela 4.** Probabilidade de déficit hídrico (cultivo precoce)

Fases de desenvolvimento	Probabilidade (%)
Inicial	88,57
Crescimento	32,50
Intermediária	6,70
Final	0,00

Nas fases intermediária e final,  $r$  apresentou padrões similares, o que caracterizou o mesmo perfil em termos de necessidade hídrica nessas duas fases (Figuras 1c e 1d). A distribuição de frequência para o plantio precoce indicou concentração dos valores de  $r$  nas classes 4, 5 e 6. Tal concentração, mostrou que não existe necessidade de irrigação nessas fases, sendo

coerente com os padrões sazonais da região, onde as fases intermediária e final se encontram dentro das estações de primavera e verão, que costumam ser mais úmidas (LYRA et al., 2017).

Com base nos balanços hídricos simulados para o cultivo precoce, notou-se que o armazenamento de água do solo (ARM) se encontrou abaixo do limite da água facilmente disponível (AFD) na fase inicial do desenvolvimento da planta (Figura 2). Esse padrão é esperado, devido às poucas chuvas observadas na região Sudeste nos meses de agosto e setembro (BRITO et al., 2016). Os baixos valores de ARM caracterizaram a necessidade de irrigação e os baixos valores de  $r$  observados na distribuição de frequência (Figura 1a). A probabilidade de déficit hídrico foi cerca de 88,57% (Tabela 4).

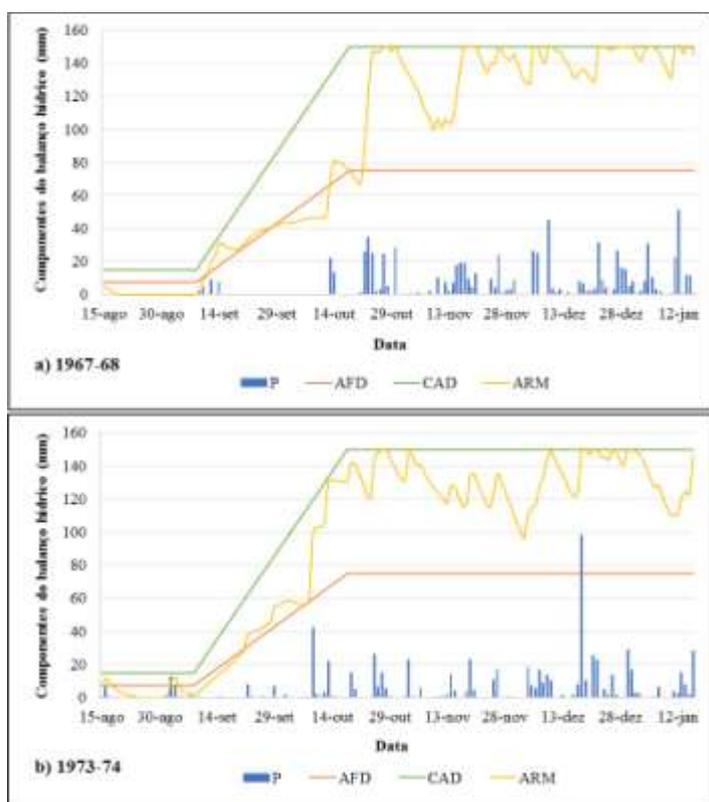


Figura 2. Balanço hídrico do solo para o cultivo precoce no período de: (a) 1967-68 e (b) 1973-74.

Observou-se que, no balanço do período 1967-68, o ARM na fase de crescimento apresentou valores baixos próximos de zero, caracterizando déficit hídrico. O mesmo comportamento está presente no balanço do período 1973-74 e, além disso, nas duas simulações (1967-68 e 1973-74) a curva de ARM não se aproxima do ponto de murcha permanente (valores de ARM próximos a zero) e nem na curva da capacidade de água disponível (CAD) (Figura 2). Isso mostrou, que a distribuição de frequência está coerente com esses balanços, pois as classes 3 e 4 de valores  $r$  apresentaram maior frequência em relação às outras. O uso de irrigação nesta fase de desenvolvimento deve ser avaliado, caso o agricultor opte pelo cultivo precoce.

Por fim, o comportamento de ARM nas fases intermediária e final do cultivo indicaram a não necessidade do uso da irrigação. A partir de outubro, a frequência de chuvas aumenta e o solo fica mais úmido, sendo adequado para o cultivo de lúpulo (BRITO et al., 2016).

Percebeu-se, que o ARM coincide com a CAD e tal fato caracteriza umidade na capacidade de campo em ambas as fases.

Este comportamento também foi observado nas Figuras 1c e 1d de distribuição de frequência, nos quais as classes 5 e 6 (valores de  $r$  mais altos) apresentaram as maiores frequências. As probabilidades de déficit hídrico nas fases intermediária e final foram 6,7 e 0%, respectivamente. Isso é adequado para a cultura, pois é na fase intermediária que ocorre a floração e que o estresse hídrico pode reduzir a produção de alfa-ácidos (SRE<sup>?</sup>EC et al., 2008).

• **ii) Cultivo normal**

No balanço de água do solo no cultivo normal, observou-se que há necessidade hídrica na fase inicial de desenvolvimento da planta. A distribuição de frequência dos valores de  $r$  na fase inicial, onde observou-se que a maioria dos valores se encontram na classe 1 (entre 0 e 0,1), no entanto, outras classes (2, 3, 4, 5 e 6) apresentaram frequências mais expressivas em comparação com o cultivo precoce (Figura 3). A probabilidade de déficit hídrico na fase inicial foi aproximadamente 63%. Os valores de  $r$  na fase de crescimento se encontraram distribuídos preferencialmente nas classes 4, 5 e 6, o que reflete o começo do período chuvoso no mês de outubro (Figura 3b). A baixa frequência de valores de  $r$  na classe 3, indicou pequena probabilidade de déficit hídrico na fase de crescimento rápido, cerca de 7,32 % (Tabela 5).

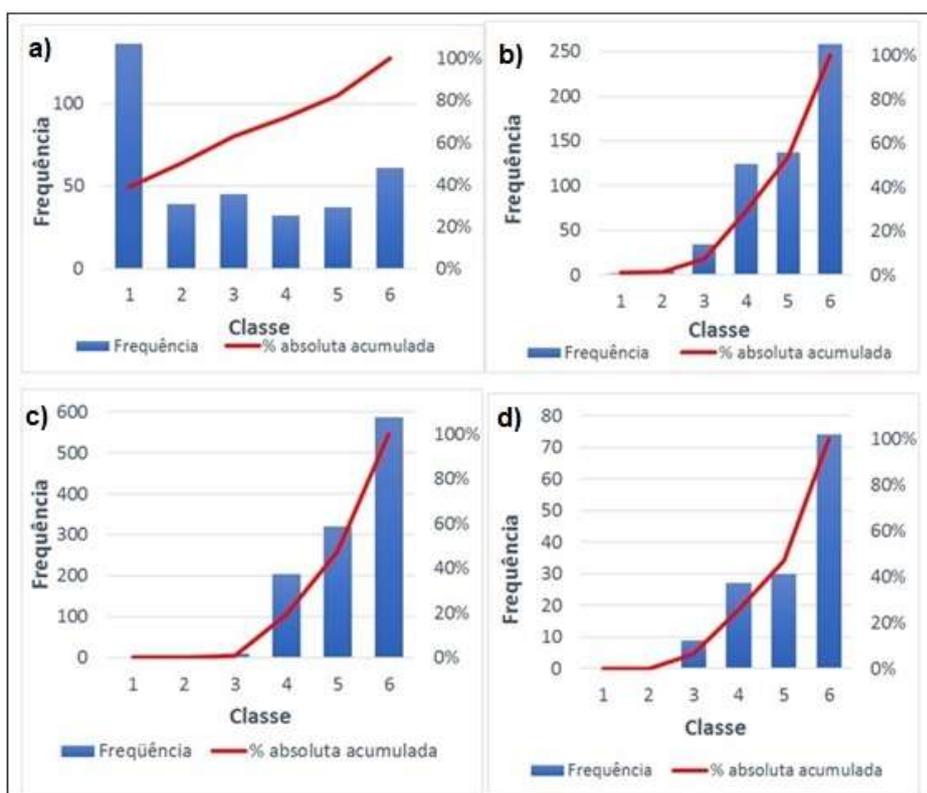


Figura 3. Distribuição de frequência da razão  $r$  por fase de desenvolvimento no cultivo normal: (a) inicial, (b) crescimento, (c) intermediária e (d) final, no município de Resende, Rio de Janeiro.

**Tabela 5.** Probabilidade de déficit hídrico (cultivo normal)

Fases de desenvolvimento	Probabilidade (%)
Inicial	62,86
Crescimento	7,32
Intermediária	0,80
Final	6,43

As distribuições de frequências nas fases intermediária e final apresentaram padrões similares, o que caracteriza o mesmo perfil em termos de necessidade hídrica nas fases intermediária e final. Os dois histogramas de frequência mostraram concentração dos valores de  $r$  nas classes 4, 5 e 6 (Figura 3c e 3d). Essa concentração, indicou que não há necessidade de irrigação nessas fases, e tal resultado já era esperado pois, as fases intermediária e final estão dentro do período chuvoso. Isso também foi visível nas probabilidades de déficit hídrico, que foram baixas nas duas fases (0,8 e 6,43%, respectivamente), conforme Tabela 5.

O balanço hídrico simulado referente ao período 1971-1972 mostrou que o armazenamento de água do solo (ARM) permaneceu abaixo do limite da água facilmente disponível (AFD) no começo da fase inicial e depois aumenta devido aos dias de chuva no fim de setembro (Figura 4). Tais valores baixos de ARM, resultaram nos baixos valores de  $r$  observados na Figura 3a de distribuição de frequência. O balanço hídrico referente ao período 1976-1977, o comportamento de ARM na fase inicial é oscilatório, porém dentro da faixa viável para o cultivo sem estresse hídrico (Figura 4) e representa os valores  $r$  distribuídos nas classes 4, 5 e 6 (Figura 3a).

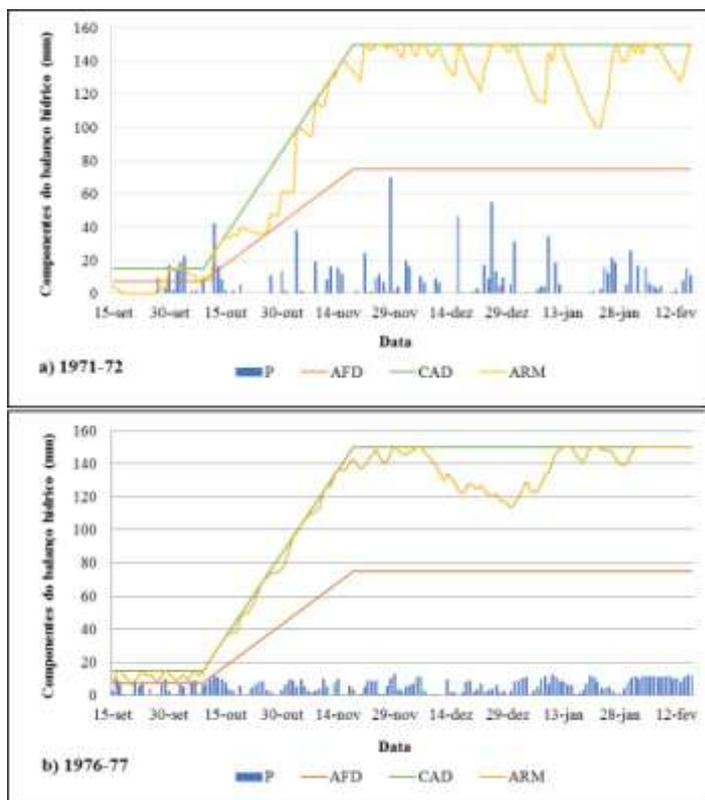


Figura 4. Balanço hídrico do solo para o cultivo normal no período de: (a) 1971-72 e (b) 1976-77.

Com relação a fase de crescimento, os dois balanços apresentaram similaridade. O armazenamento do solo aumentou, devido à alta intensidade das chuvas, de forma que ARM

mantivesse na capacidade de água disponível (CAD) (Figura 4). Este comportamento, representou que as chuvas nessa época foram suficientes para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, o que levou à altos valores de  $r$ . A distribuição de frequência desta fase foi coerente com esses balanços, porque a classe 6 teve a maior frequência, seguida pelas classes 5 e 4 respectivamente (Figura 3b). A probabilidade de uso irrigação nesta fase de desenvolvimento foi pequena (7,32 %) e, portanto, não deve ser preocupação para o agricultor caso ele opte pelo cultivo normal (Tabela 5).

Nas fases intermediária e final do cultivo, o comportamento de ARM indicou que não seria necessário o uso da irrigação, em ambos os balanços hídricos (Figura 4). Novembro se encontra no período chuvoso da região Sudeste (BRITO et al., 2016) e o solo fica úmido e adequado para o cultivo de lúpulo. O solo permaneceu saturado de água em ambas as fases, visto que a curva de ARM encosta na curva de CAD mais de uma vez. A distribuição de frequência, onde as classes 5 e 6 (valores de  $r$  mais altos) apresentaram as maiores frequências, esta saturação do solo também pode ser observada (Figura 3c e 3d).

### iii) Cultivo tardio

O balanço de água do solo simulado para o cultivo tardio também mostrou a necessidade de uso de irrigação na fase inicial de desenvolvimento da planta.

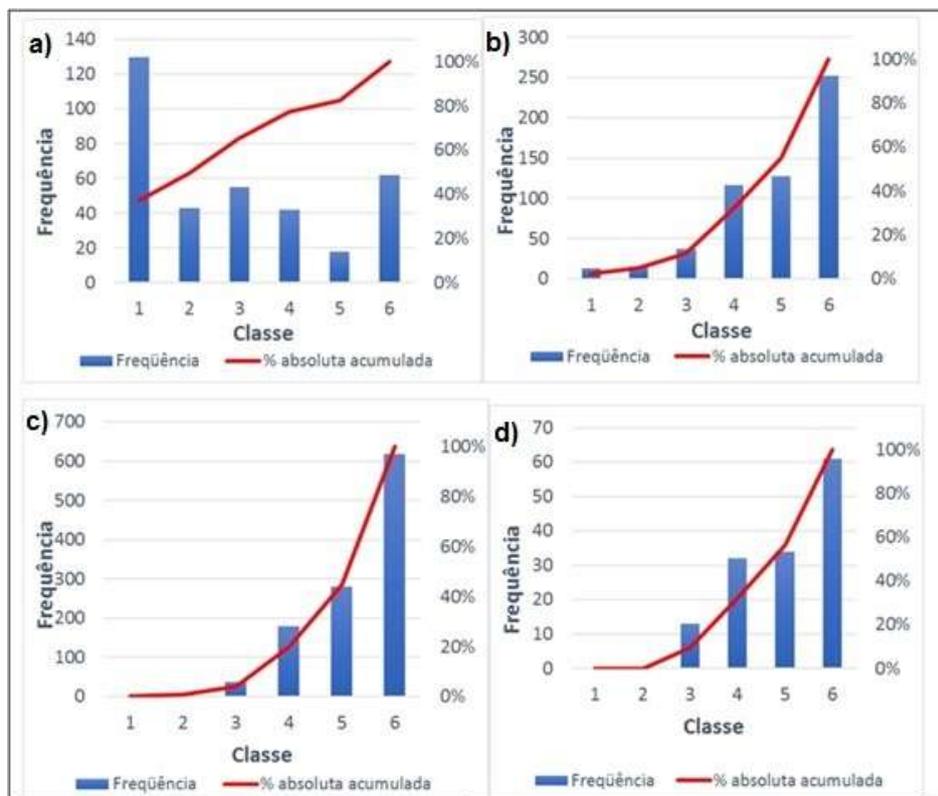


Figura 5. Distribuição de frequência da razão  $r$  por fase de desenvolvimento no cultivo tardio: (a) inicial, (b) crescimento, (c) intermediária e (d) final, no município de Resende, Rio de Janeiro.

**Tabela 6.** Probabilidade de déficit hídrico (cultivo tardio)

Fases de desenvolvimento

Probabilidade (%)

Inicial	65,15
Crescimento	11,61
Intermediária	4,02
Final	9,29

A distribuição de frequência dos valores de  $r$  na fase inicial ilustrou que maioria dos valores estão dentro da classe 1 (entre 0 e 0,1) (Figura 5a), porém outras classes (2, 3, 4, 5 e 6) também tiveram frequências mais expressivas, resultado similar ao cultivo normal (Figura 5a). A probabilidade de déficit hídrico nesta fase foi aproximadamente 65% (Tabela 6).

A distribuição de frequência de  $r$  na fase de crescimento rápido mostrou que valores estão presentes nas classes 4, 5 e 6, com destaque para a classe 6 que representa valores  $r$  entre 0,9 e 1 (Figura 5b). A fase de crescimento rápido abrange os meses de novembro e dezembro, que são meses chuvosos na região Sudeste. A baixa frequência de valores de  $r$  nas classes 1, 2 e 3 revelou a pequena probabilidade de déficit hídrico na fase de crescimento rápido (cerca de 11%).

As distribuições de frequência de  $r$  nas fases intermediária e final apresentaram comportamento similar, o que caracteriza o mesmo perfil em termos de necessidade hídrica nas fases intermediária e final. Os dois histogramas de distribuição de frequência apresentaram a concentração dos valores de  $r$  nas classes 4, 5 e 6 (Figura 5c e Figura 5d); com a pequena diferença da fase final que apresentou maior frequência na classe 3 (valores de  $r$  entre 0,25 e 0,5) (Figura 5d). De qualquer forma, ambas figuras mostraram maiores frequências na classe 6, o que representou que não há necessidade de irrigação nessas fases. As probabilidades de déficit hídrico nas fases foram baixas, cerca de 4% na fase intermediária e cerca de 9% na fase final (Tabela 6). Este resultado era esperado, devido as fases se encontrarem dentro dos meses de janeiro, fevereiro e março, que são meses do período chuvoso da região Sudeste (BRITO et al., 2016).

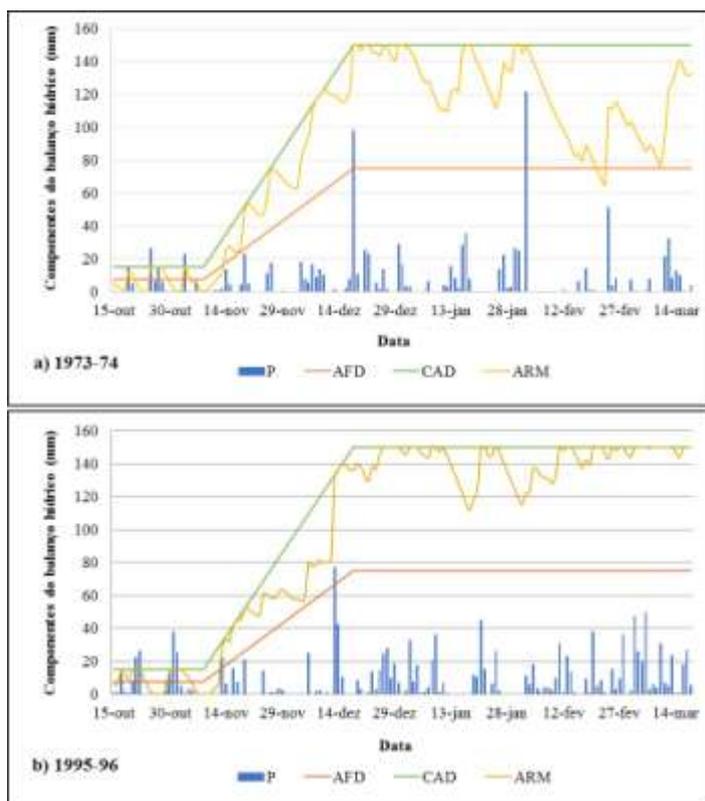


Figura 6. Balanço hídrico do solo para o cultivo tardio no período de: (a) 1973-74 e (b) 1995-96.

O balanço hídrico do solo simulado no período 1973-1974, ARM apresentou comportamento oscilatório no qual ele aumentava em resposta às precipitações, que são irregulares na fase inicial de desenvolvimento. Mesmo com a oscilação de ARM, baixos valores de  $r$  foram observados na distribuição de frequência (Figura 5a) e isso caracteriza a alta de frequência de valores de  $r$  na classe 1. O balanço hídrico referente ao período 1995-1996 mostrou que o comportamento de ARM foi semelhante, e esta oscilação entre o eixo 0 e a curva da CAD (limite de saturação do solo) representou a distribuição de frequência dos valores de  $r$  nas classes 2, 3, 4, 5 e 6 (Figura 5a). De qualquer forma, a maior frequência de valores de  $r$  foi na classe 1, o que caracteriza a necessidade de eventuais irrigações nesta fase.

Na fase de crescimento rápido, o armazenamento do solo aumentou e permaneceu acima de AFD nos dois balanços hídricos. Isso ocorreu em função do aumento do regime pluviométrico nos meses de novembro e dezembro. Em alguns dias dos balanços, ARM foi igual a CAD, pois o regime de chuva foi suficiente para a elevar a água no solo a capacidade de campo. A distribuição de frequência está coerente com os balanços, porque a classe 6 teve a maior frequência, seguida pelas classes 5 e 4 respectivamente (Figura 5b).

Nas fases intermediária e final do cultivo, o comportamento de ARM indicou que não há necessidade da irrigação em ambos os balanços hídricos (Figura 6). Os meses de janeiro, fevereiro e março se encontram no período chuvoso da região Sudeste (BRITO et al., 2016) e o solo fica mais úmido e adequado para o cultivo de lúpulo. O estresse hídrico no estágio da floração pode diminuir a quantidade de alfa-ácidos no lúpulo e comprometer a qualidade do cultivo (SRE?EC et al., 2008). A floração ocorre na fase intermediária e o estresse hídrico deve ser evitado nesta fase. Na Figura 6, o balanço hídrico do período 1973-1974

mostrou que as chuvas nessas fases foram irregulares, e assim o ARM diminuiu para valores abaixo da curva da AFD em meados de fevereiro. No balanço hídrico do período 1995-1996, as chuvas foram mais frequentes, o que deixou o solo saturado em mais de uma oportunidade, tanto que a curva de ARM se igualou a CAD mais de uma vez. As Figura 5c e 5d foram coerentes com os balanços apresentados, porque as classes 4, 5 e 6 (valores de  $r$  mais altos) tiveram as maiores frequências.

De maneira geral, observou-se que a fase inicial do desenvolvimento mostrou as maiores chances de uso de irrigação para os três tipos de cultivo simulados (precoce, normal e tardio). Ao compararmos os três tipos de cultivo, observou-se que as probabilidades de déficit hídrico do cultivo normal foram menores do que as probabilidades do cultivo precoce e tardio em quase todas as fases de desenvolvimento.

Na fase inicial, a probabilidade de déficit hídrico para o cultivo normal foi 62,86 % (Tabela 5). E as probabilidades de déficit hídrico para o cultivo precoce e tardio foram 88,57 % e 65,15 %, respectivamente (Tabelas 4 e 6).

Na fase de crescimento rápido, a probabilidade de déficit hídrico para o cultivo normal foi de 7,32 % (Tabela 5). E as probabilidades de déficit hídrico para o cultivo precoce e tardio foram 32,50 % e 11,61 %, respectivamente (Tabelas 4 e 6).

Na fase intermediária, a probabilidade de déficit hídrico para o cultivo normal foi 0,80 % (Tabela 5). E as probabilidades de déficit hídrico para o cultivo precoce e tardio foram 6,70 % e 4,02 %, respectivamente (Tabelas 4 e 6).

Apenas na fase final houve uma exceção em que tem a probabilidade de déficit hídrico de 0% no cultivo precoce (Tabela 4) e 6,4 % (Tabela 6) no cultivo normal. E a probabilidade de déficit hídrico no cultivo normal foi 6,43 % (Tabela 5).

Por isso, o cultivo normal, iniciando na segunda semana de setembro é recomendado para o agricultor.

### Estimativa da produtividade

Conforme as estimações apresentadas, o cultivo normal foi o que apresentou maior produtividade, devido à maior transpiração acumulada. A estimativa para o cultivo normal foi 2501 kg/hectare, enquanto as estimativas de produtividade para o cultivo precoce e tardio foram 2229,1 kg/hectare e 2445,3 kg/hectare (Tabela 7). Esse resultado corrobora com os resultados apresentados no tópico anterior, no qual o cultivo normal também foi o que apresentou maiores frequências em classes maiores ( $r > 0,5$ ), e assim espera-se maior probabilidade de atendimento das necessidades hídricas do lúpulo.

**Tabela 7.** Estimativa da produtividade do lúpulo para o município de Resende, Rio de Janeiro

Tipos de cultivo	Transpiração acumulada (mm)	Regressão linear	Produção por área (Kg/hectare)
Precoce	448,68		2229,1
Normal	482,65	$Y = 8,0039 * X + 1362,1$	2501,0
Tardio	475,69		2445,3

Cabe ressaltar que os presentes resultados baseados no balanço hídrico são válidos apenas para região de Resende. Estudos adicionais referentes a outras regiões de risco moderado ou baixo para o plantio podem ser realizados, na medida em que mais dados meteorológicos estejam disponíveis para realização do balanço hídrico.

## **CONCLUSÃO / CONCLUSION**

Com base no balanço hídrico, a fase inicial de desenvolvimento é o período mais crítico em termos de necessidades hídricas para a cultura do lúpulo em área de risco moderado, e pode demandar o uso de irrigação. Quando comparados as três épocas de plantio simuladas (precoce, normal e tardio), as probabilidades de déficit hídrico no cultivo normal são menores do que as probabilidades do cultivo precoce e tardio em quase todas as fases de desenvolvimento. Portanto, recomenda-se que o lúpulo seja planta em meados de 15 de setembro. Além disso, as probabilidades de déficit hídrico nas fases intermediária e final são muito baixas e, por isso, o uso de irrigação nesta fase (para o cultivo normal) não é necessário. As estimativas de produção por área indicam que o cultivo normal é o tipo de cultivo com maior produtividade, devido à maior transpiração acumulada.

## **REFERÊNCIAS / REFERENCES**

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In: UNITED NATIONS FAO, IRRIGATIONS AND DRAINAGE PAPER 56. Roma, Itália: Ed. FAO, 1998.

ARAÚJO, N., **Variedade brasileira de lúpulo é descoberta na Serra da Mantiqueira**. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/05/variedade-brasileira-de-lupulo-e-descoberta-na-serra-da-mantiqueira.html>>. Acesso em 21 de julho de 2016.

BECKER, L. 2016. **Em expansão, produção de cervejas artesanais tem importação de matéria-prima como maior desafio**. 2015. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/campo-e-lavoura/noticia/2015/06/em-expansao-producao-de-cervejas-artesanais-tem-importacao-de-materia-prima-como-maior-desafio-4781933.html>>. Acesso em 20 de agosto de 2016.

BRITO, T. T.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B.; GOIS, G.; ZERI, M.; Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 129, n. 5, p. 469-478, 2016.

CARVALHO, V. P.; **Zoneamento agroclimático para o cultivo de lúpulo no estado do Rio de Janeiro: uma aplicação da lógica fuzzy**. [Dissertação de Mestrado]. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2018.

DE KEUKELEIRE, J., JANSSENS, I., HEYERICK, A., GHEKIERE, G., CAMBIE, J., ROLDAN-RUIZ, I., VAN BOCKSTAELE, E., DE KEUKELEIRE, D. Relevance of organic farming and effect of climatological conditions on the formation of r-Acids, â-Acids, Desmethylxanthohumol, and Xanthohumol in Hop (*Humulus lupulus* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 61–66, 2007. EMBRAPA, 1980. **Estudo Expediente de Solos do Estado do Rio de Janeiro para Fins de Classificação, Correlação, e Legenda Preliminar**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SOLOS.

EVANS, R., 2003. Hop management in water-short periods. **Washington State University Fact Sheet: EM4816, Drought Advisory**. Disponível em: <<http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/em4816.pdf>>. Acessado em 10 de junho de 2018.

FANDIÑO, M.; OLMEDO, J. L.; MARTÍNEZ, E. M., VALLADARES, J.; PAREDES, P.; REY, B. J.; MOTA, M.; CANCELA, J. J.; PEREIRA, L. S.; Assessing and modelling water use and the partition of evapotranspiration of irrigated hop (*Humulus lupulus*), and relations of transpirations with hops yield and alpha-acids, **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 204-217, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2010. Disponível em: <[www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)>. Acessado em 20 de agosto de 2017.

MOIR, M. Hops: A millennium review. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 58, n. 4, p. 131–146, 2000.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; NOVA, N.A. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2012. 323 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A., **Meteorologia e Climatologia**. INMET, Ministério da Agricultura e Abastecimento, Brasília: Stilo. 515 p. 2000