

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

JOÃO PEDRO HONORATO DA CRUZ

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE CAFEIEIRO SUBMETIDO A
ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Monte Carmelo
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

JOÃO PEDRO HONORATO DA CRUZ

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE CAFEIEIRO SUBMETIDO A
ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

Monte Carmelo
2019

JOÃO PEDRO HONORATO DA CRUZ

CRESCIMENTO E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE CAFEIROSUBMETIDO A
ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo, como requisito
necessário para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 27 de junho de 2019.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior
Orientador

Prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes
Membro da Banca

Prof.(a) Dr.(a) Gleice Aparecida de Assis
Membro da Banca

Monte Carmelo
2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aquele que acreditou em mim e que me sustentou durante toda a caminhada: Deus, obrigado por cuidar de mim.

Aos meus pais Elza Galdino da Cruz Vilela e Leonardo Honorato Vilela, pela educação, apoio e incentivo, durante toda minha trajetória até os dias de hoje. Todo agradecimento e gratidão é pouco diante do sacrifício que já fizeram por mim, para que um dia eu chegasse onde estou.

Ao meu irmão, Pedro Otávio Honorato da Cruz, por todo carinho, amor e apoio nesses últimos anos, agradeço a Deus todos os dias pela vida de vocês.

Aos meus familiares que estiveram ao meu lado, e que mesmo de longe sempre incentivaram e torceram por mim.

A Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, pela oportunidade e contribuição para a minha formação profissional e pessoal, e a todo corpo docente que contribuíram para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

O meu orientador Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior pela orientação, paciência, ensinamentos e companheirismo, pelo exemplo de profissional e ser humano, sou muito grato pela oportunidade e por todo convívio durante a graduação, que Deus abençoe abundantemente sua vida.

Ao proprietário Luiz Augusto Pereira Monguilod por permitir a realização do experimento na Fazenda Fazenda Vitória II e todos os seus funcionários.

A empresa Supplant por disponibilizar seu sistema de manejo da irrigação para realização do experimento.

A todos os membros do grupo de pesquisas CinCi (Centro de Inteligência em Cultivos irrigado) que auxiliaram na condução da área experimental.

Aos membros da banca por terem aceitado o convite e contribuir com a melhoria do trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do trabalho, meu muito obrigado e gratidão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS.....	8
3. REFERENCIAL TEÓRICO	8
3.1. Cultura do cafeeiro	8
3.2.Irrigação no cafeeiro.....	9
3.3.Manejo da Irrigação	10
3.3.1.Manejo via Solo	10
3.3.2.Manejo via clima	11
3.3.3.Manejo via planta	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS	12
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6. CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

Com a crescente preocupação com a disponibilidade dos recursos hídricos e seu intenso uso na agricultura irrigada torna-se necessário a utilização de novas técnicas de manejo da irrigação, visando aumentar a eficiência no uso da água e proporcionar melhor desenvolvimento para a cultura. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do uso da água para o crescimento vegetativo do cafeeiro sob duas estratégias de manejo da irrigação. O experimento foi conduzido na Fazenda Vitória II, no município de Monte Carmelo-MG, localizada nas coordenadas geográficas de 18°71'19''S e 47°58'96''O, altitude média de 880 m. A variedade cultivada é o Topázio MG1190, plantada em 2010, em um latossolo VERMELHO. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados. O experimento tem dois tratamentos: manejo Solo-Planta-Atmosfera(MSPA) e manejo Climático(MC), divididos em 12 blocos, totalizando 24 unidades experimentais. O MSPA consiste em um sistema totalmente automatizado que correlaciona dados de sensores de umidade do solo, sensores instalados nas plantas(dendrômetros) e uma estação meteorológica, para realizar a tomada de decisão. Já o MC foi realizado com base no método do balanço hídrico climatológico de acordo com Penman-Monteith. As variáveis estudadas foram as taxas de crescimento dos ramos laterais e do número de nós do cafeeiro, avaliados mensalmente, e a eficiência no uso da água no desenvolvimento do cafeeiro. Não houve diferença significativa para as variáveis taxa de crescimento dos ramos e taxa de desenvolvimento de nós. O MC se mostrou mais eficiente no uso da água, já que economizou 25,73 mm de água em relação ao MSPA para crescer 1 cm de comprimento nos ramos plagiotrópico e também proporcionou economia de 52,94 mm para desenvolver 1 unidade de nó.

PALAVRAS-CHAVE: café, gestão dos recursos hídricos, desenvolvimento da planta.

ABSTRACT

With increasing concern about the availability of water resources and their intense use in irrigated agriculture, it is necessary to use new irrigation management techniques to increase efficiency in water use and to provide better development for the crop. Therefore, the objective of this work was to evaluate the efficiency of water use for vegetative growth of coffee under two strategies of irrigation management. The experiment was conducted at Fazenda Vitória II, in the municipality of Monte Carmelo-MG, located at the geographic coordinates of 18 ° 71'19 "S and 47 ° 58'96"O, average altitude of 880 m. The cultivated variety is Topaz MG1190, planted in 2010, on a RED Latosol. A randomized complete block design was used. The experiment has two treatments: soil-plant-atmosphere management (MSPA) and climate management (MC), divided into 12 blocks, totaling 24 experimental units. The MSPA consists of a fully automated system that correlates data from soil moisture sensors, plant sensors (dendrometers) and a weather station, to make decision making. The MC was performed based on the climatological water balance method according to Penman-Monteith. The variables studied were the growth rates of the lateral branches and the number of nodes of the coffee tree, evaluated monthly, and the efficiency in the water use in coffee development. There was no significant difference for the variables growth rate of the branches and rate of development of nodes. The MC was more efficient in the use of water, since it saved 25.73 mm of water in relation to the MSPA to grow 1 cm in length in the plagiotropic branches and also provided savings of 52.94 mm to develop 1 unit of node.

KEYWORDS: coffee, water resources management, plant development.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a cafeicultura representa uma importante fonte de renda e geração de emprego em várias regiões produtoras do país. O Brasil se destaca como o maior produtor e exportador mundial do grão, sendo o *Coffea arabica* representante de 73% da produção nacional e o *Coffea canephora*, contribuindo com os 27% restantes (CONAB, 2019). Em 2017, o país produziu de cerca de 47 milhões de sacas e exportou mais de 35,2 milhões de sacas (CECAFÉ, 2018).

A partir da década de 90, a produção de café no Brasil expandiu para áreas de cultivo consideradas marginais à produção, principalmente quanto à disponibilidade hídrica. Neste sentido, a implementação da irrigação na agricultura tornou-se ferramenta fundamental para atender as exigências hídricas da cultura em períodos de déficit hídrico (FERNANDES et al., 2012).

A irrigação é uma técnica que tem por objetivo aumentar rendimento das culturas. Perdoná et al. (2012) observaram acréscimo da produtividade de cafeeiro irrigado, na média dos dois biênios avaliados, de 34,2%, em relação ao tratamento não irrigado. Serra et al. (2013), também encontraram aumento de até 51,56% na produtividade de café irrigados em relação a cultivos em sequeiro em cultivares adensada de 11500 a 15333 plantas por hectare.

No mundo, a irrigação na agricultura é considerada fator fundamental para a produção, sendo responsável por grande parte da produção mundial. Em termos globais ela corresponde a cerca de 20% da área cultivada, porém é responsável por 40% da produção dos alimentos, fibras e culturas bioenergéticas (BORGHETTI, 2017).

No contexto atual, de crescente escassez de água em diversas regiões do país e ao mesmo tempo com expansão da área irrigada, surge a necessidade de estudo de ferramentas de tomada de decisão relacionadas à quando e quanto se deve irrigar para tornar a irrigação mais eficiente. Uma ferramenta de planejamento e tomada de decisão da irrigação deve aplicar quantidade suficiente para atender a demanda de água da planta, evitando desperdícios dos recursos hídricos e prejuízos ao desenvolvimento da cultura. Diante disso, o manejo adequado da água é fundamental para otimizar a produção agrícola, além de contribuir para a sustentabilidade do meio produtivo.

2. OBJETIVOS

Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência no uso da água no crescimento vegetativo do cafeeiro submetido a duas estratégias de manejo da irrigação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Cultura do cafeeiro

O cafeeiro é pertencente a família das *Rubiaceae*, com mais de 100 espécies do gênero *Coffea*, sendo duas as que apresentam maior destaque comercial, que são o *C. arabica* e *C. canephora* (DAVIS et al., 2006), devido às suas características biológicas e sensoriais. A espécie *C. arabica* é a de maior importância econômica do gênero. Sua origem vem da Etiópia, Sudão e Quênia, entre 1000 e 2000 metros de altitude, 5 - 8° de latitude norte e 34 – 38° de longitude leste (BRIDSON, 1982).

A planta de cafeeiro tem caule lenhoso, lignificado, reto, cilíndrico e porte arbustivo ou arbóreo. O café possui ramos ortotrópicos (ramo principal), e ramos plagiotrópicos (ramos laterais), que são os produtivos. As suas folhas são opostas, inteiras, coriáceas e persistentes (na mesma espécie), tendo coloração verde escura e aspecto coreáceo. O fruto de café é do tipo drupa, geralmente, com duas sementes plano-convexas (CARVALHO, 2008).

A fenologia do cafeeiro divide-se em dois anos. No primeiro, há a formação dos ramos vegetativos, com gemas auxiliares nos nós, durante os meses de dias longos. Quando o fotoperíodo começa a reduzir, as gemas vegetativas auxiliares se transformam em gemas reprodutivas. Essas gemas florais vão amadurecendo e, quando maduras, entram em dormência e ficam prontas para a antese, quando há um aumento do potencial hídrico nas gemas dormentes. O segundo ano fenológico inicia-se na florada, formação dos chumbinhos. Se expansão dos grãos até atingir o tamanho normal. Em seguida ocorre a granação dos frutos e a fase de maturação (CAMARGO et al., 2001).

A maturação dos grãos varia em função das condições da região de cultivo. A temperatura influi na duração da frutificação e na época da maturação, ou seja, quanto mais baixa a altitude e mais quente for à região, mais precoce será a maturação (CAMPAROTTO et al., 2012).

O cafeeiro *Coffea arabica* L. sofre efeito do fenômeno da bienalidade, que se

caracteriza pela alternância de grandes e pequenas safras ao longo do tempo. Esta alternância é própria da natureza fisiológica do café, que necessita vegetar em um ano para produzir bem no ano subsequente (MENDONÇA, 2011).

O Brasil é o maior produtor mundial de café, seguido de Vietnã e Colômbia. Em 2018, a área plantada foi de 2,16 milhões de hectares, sendo 1,749 milhões de hectares destinados ao plantio de *C. arabica*, que corresponde a 81% da área existente com lavouras de café, e 411,9 mil hectares ao de *C. canephora* (CONAB, 2019). Além de ser o maior produtor, o Brasil se destaca como o maior exportador mundial, com 35,2 milhões de sacas de 60 kg exportadas em 2018 (CECAFÉ, 2018).

Dentre os estados produtores, o estado de Minas Gerais destaca-se como o maior produtor, com participação de 54,3% da produção nacional no ano de 2018, seguido por Espírito Santo, São Paulo e Bahia (CONAB, 2018). O Cerrado Mineiro é uma região que ganha destaque no estado, sendo propícia para produção de cafés de qualidade (ORTEGA; JESUS, 2011).

3.2.Irrigação no cafeeiro

Em um primeiro momento, a cafeicultura desenvolveu-se em regiões onde não ocorre deficiência hídrica em fases fenológicas importantes da cultura. A partir da década de 90, a cafeicultura tem se expandido para regiões de baixa disponibilidade hídrica. Neste sentido, a irrigação é uma prática que proporcionou a produção de café mesmo em regiões que apresentam escassez hídrica nos estádios fenológicos de maior demanda da cultura, como na floração, verificando aumentos de produção do cafeeiro em áreas irrigadas (FERNANDES et al., 2000). O déficit hídrico na fase de chumbinho retarda o crescimento dos frutos e reduz a produtividade da cultura, pois nesta fase há uma rápida expansão celular e a falta de água pode restringi-la fortemente (DAMATTA; RENA, 2002).

Vários autores relatam a importância da irrigação na produtividade (ASSIS et al., 2014; PERDONÁ et al., 2012; SERRA et al., 2013), além disso, ela possibilita a aplicação de estresse controlado para sincronizar o florescimento e, portanto, época de colheita (MATIELLO, 2012). Em termos globais ela corresponde a cerca de 20% da área cultivada, porém é responsável por 40% da produção dos alimentos, fibras e culturas bioenergéticas (BORGHETTI, 2017). Na cafeicultura, a irrigação representa cerca de 300 mil hectares, isso corresponde a 12% do parque cafeeiro nacional, sendo responsável por 30% da produção cafeeira do país.

A implantação de medidas que venham racionalizar o uso da água se faz cada vez mais necessária. Na irrigação, isto pode representar economia de energia, menores custos de aplicação da água, maior produção e qualidade do produto final (GRANDE, 2001).

A utilização de técnicas de manejo sustentável é de grande importância para a conservação dos recursos naturais ao longo do tempo, com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de boa produtividade (WUTKE et al., 2000).

3.3. Manejo da Irrigação

O manejo da irrigação é um parâmetro que contribui para o sucesso da atividade. Segundo Shock e Wang (2011), o manejo da irrigação consiste no emprego racional da água, atendendo às necessidades hídricas das plantas e aumentando a produção, podendo ser realizado com base nos fatores climáticos, conteúdo de água no solo e no status hídrico da planta. O manejo da irrigação feito com aplicações frequentes condiciona o solo a manter-se com umidade mais elevada, favorecendo o desenvolvimento e produtividade das culturas (SOUSA et al., 1999).

O manejo da irrigação é um fator muito importante nos cultivos, levando em consideração a aplicação de água no momento e quantidade ideais com base na necessidade hídrica da cultura (TEIXEIRA, 2014). A necessidade hídrica das culturas varia conforme seu estágio de desenvolvimento. Portanto, o manejo da irrigação não pode ser de natureza fixa, mas sim de natureza flexível (COELHO et al., 2013).

O manejo adequado da água pode ser feito com a utilização do índice de eficiência de uso da água para o planejamento e a tomada de decisão da irrigação, proporcionando-se assim, maior produtividade às culturas (KARATAS et al., 2009).

3.3.1. Manejo via Solo

O manejo de irrigação via solo consiste em determinar a umidade do solo onde o sistema radicular da cultura está se desenvolvendo. A umidade do solo pode ser determinada de maneira direta e indireta. A determinação de maneira direta é feita pelo método gravimétrico. Porém, essa metodologia envolve algumas dificuldades, pois não permitir que a umidade do solo seja determinada de forma rápida, pois requer balança de precisão e um tempo em estufa de secagem, com tempo que pode variar de 24 a 72 horas, a depender do tipo de solo, para a obtenção do resultado final; devido a isso, em geral, utilizam-se métodos

indiretos, no qual se estima a umidade a partir de alguma propriedade do solo a ela relacionada (MIRANDA et al., 2007). A determinação da umidade do solo pode ser feita, de maneira indireta, usando tensiômetros, sensores eletrométricos e por dissipação térmica, sonda de nêutrons, sonda envirosca, TDR (reflectometria no domínio do tempo), tomografia computadorizada e atenuação de raios gama. O tensiômetro é um aparelho bastante difundido que mede diretamente o potencial matricial de água no solo e indiretamente o teor de umidade do solo.

3.3.2. Manejo via clima

O manejo da irrigação via clima é uma das maneiras mais simples e operacionais de manejar a irrigação da cultura do cafeeiro. As variáveis meteorológicas são utilizadas para estimar de maneira indiretamente a necessidade hídrica da cultura (FOLEGATTI; FERNANDES, 2013).

Para se estimar a necessidade hídrica da cultura em cada uma de suas fases de desenvolvimento utiliza-se a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c), que pode ser obtida através do valor da evapotranspiração de referência (ET_o) com a correção do coeficiente da cultura (K_c), que varia conforme a cultura utilizada e seu estágio de desenvolvimento (SILVA et al., 2009).

A estimativa de ET_o pode ser realizada por metodologias diretas ou indiretas. A metodologia indireta utiliza dados de estações meteorológicas aplicados em modelos matemáticos, como a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Já a determinação de maneira direta é feita com a utilização de lisímetros, aparelhos que podem apresentar custo elevado (PEREIRA et al., 2009).

A automatização da coleta dos dados das estações meteorológicas permite um monitoramento mais rápido e prático das condições atmosféricas para realizar o manejo da irrigação (TAGLIAFERRE et al., 2010). Devido a isso, as estações meteorológicas automáticas estão sendo muito utilizadas.

3.3.3. Manejo via planta

Medições do status hídrico da planta têm se tornado uma técnica promissora no manejo da irrigação, já que está diretamente relacionada com as condições climáticas e condições do solo, assim como com a produtividade da cultura (SOUZA, 2009).

O manejo via planta é feito por meio de avaliações do status hídrico da planta, como alguns exemplos de métodos que avaliam o estado hídrico da cultura estão: o potencial de água na folha, temperatura foliar, fluxo de seiva, variação do diâmetro do caule, entre outros. A variação do diâmetro é influenciada pelo gradiente de potencial da água entre o xilema e o floema. Para registrar essas variações no diâmetro do caule, que são muito sensíveis, têm sido utilizados os dendrômetros.

Os dendrômetros medem a variação no diâmetro do caule. Estes aparelhos utilizam extensômetros fixos sobre um braço de aço, onde a menor fração de movimento do braço pode ser detectada na forma de sinais elétricos que são convertidos em sinais micrométricos (SOUZA, 2009). O diâmetro do caule oscila em um ciclo de 24 horas, com valor máximo antes do nascer do sol e um valor mínimo no período da tarde, após às 12 horas (GOLDHAMER; FERERES, 2001).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

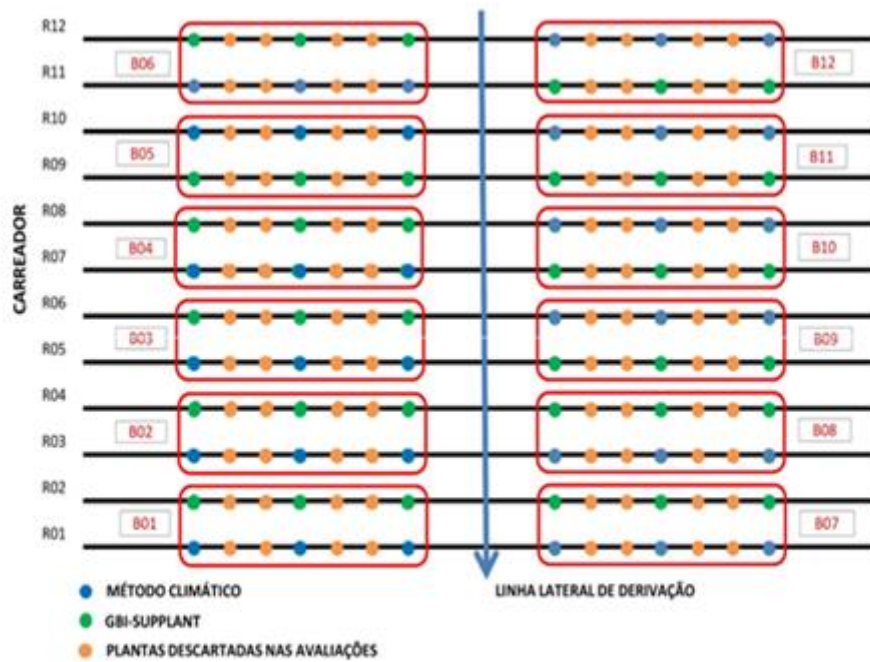
O experimento foi conduzido na Fazenda Vitória II, município de Monte Carmelo, localizada nas coordenadas geográficas de 18°71'19''S e 47°58'96''O, altitude média de 880 m. O clima local é do tipo Aw com base na classificação de Köppen e Geiger, tropical quente e úmido, com inverno frio e seco. O solo é um LATOSSOLO VERMELHO.

O plantio da lavoura de *C. arabica*, cultivar Topázio MG1190 foi realizado em 2010, no espaçamento de 3,80 x 0,60 m entre plantas, população de 4.386 plantas ha⁻¹.

A irrigação foi feita pelo sistema de gotejamento *single-line*, na vazão de 2,3 L h⁻¹, espaçados a cada 0,50 m, marca NAANDAINJAIN e modelo NAAN PC.

O delineamento experimental é o de blocos casualizados, com dois tratamentos: manejo Solo-Planta-Atmosfera (MSPA) e Manejo Climático (MC), divididos em 12 blocos de aproximadamente 32 m² e 24 parcelas, com 10 plantas espaçadas em 0,6 metros em cada parcela. Foram utilizadas 12 ruas, onde em uma mesma rua há duas parcelas com 10 plantas cada, sendo que foram utilizadas 3 plantas úteis em cada parcela para realizar as avaliações vegetativas, conforme Figura 1.

Figura 1- Croqui experimental



Legenda: R (ruas dos cafeeiros); B (blocos experimentais); linha lateral (derivação do setor 5 para o setor 4) e as 3 plantas úteis utilizadas nas avaliações, onde descartou-se 2 plantas entre as mesmas.

Fonte: Lima, 2018.

Na aplicação do MC utilizou-se a ferramenta de balanço hídrico climatológico, de acordo com Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Para a coleta dos dados meteorológicos foi utilizado a estação Davis Vantage Pro2, instalada na fazenda, que coletou os dados de: temperatura média (°C), umidade relativa do ar média (%), velocidade média do vento ($m s^{-1}$), radiação solar ($W m^{-2}$) e precipitação pluviométrica (mm), coletados diariamente. Estes dados foram extraídos da estação e lançados em uma planilha de Excel (Figura 2), onde foi estimada a evapotranspiração de referência (ET_0) em mm por dia, com auxílio da fórmula de Penman-Monteith, disposta na equação (1).

$$ET_0 = \frac{0,408 (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u^2 (E_s - E_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u^2)} \quad (1)$$

Em que:

ET_0 -evapotranspiração de referência ($mm d^{-1}$);

R_n -saldo de radiação à superfície da cultura ($MJ m^{-2}d^{-1}$);

G -densidade do fluxo de calor do solo ($MJ m^{-2}d^{-1}$);

T -temperatura média do ar a 2 m de altura (°C);

u -velocidade de vento a 2 m de altura ($m s^{-1}$);

E_s -pressão de vapor de saturação (kPa);

Ea - pressão parcial de vapor (kPa);

Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa.°C⁻¹), e

γ - coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹).

Para o cálculo da evapotranspiração real (ET_r), utilizou o coeficiente da cultura (K_c) igual a 1,1, já que as plantas apresentam mais de 3 anos de idade e densidade populacional superior a 3.333 plantas.ha⁻¹ e inferior a 6.666 plantas.ha⁻¹, segundo Santinato, Fernandes e Fernandes (1996). Como o sistema de irrigação é o gotejamento, também foi feito o ajuste do coeficiente de irrigação localizada (KI- 0,464), proposto por KELLER (1978) e detalhado por Mudrik (2005).

Por fim, utilizou-se o K_s (coeficiente de umidade do solo) igual a 1,0 (un), referenciado por Mantovani et al. (2013), devido ao sistema de gotejamento aplicar com alta frequência. A equação para o cálculo da evapotranspiração real (ET_r) segue os parâmetros da equação (3).

$$ET_r = ET_0 \cdot K_c \cdot K_s \cdot KI \quad (3)$$

Em que:

ET_r- evapotranspiração real (mm dia⁻¹);


ET₀- evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

K_c-Coeficiente de cultura;

K_s-Coeficiente de umidade do solo; e,

KI- Coeficiente de redução para irrigação localizada.

Figura 2 - Planilha de Manejo Climático

														<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ANTERIOR INÍCIO PRÓXIMA </div>					
Local: VITÓRIA 2 SETOR 5										Mês/Ano: 2018									
Propriet.: Luiz Monguilod										% AD 10									
Munic.: Monte Carmelo																			
BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO																			
Data	DJ	UR média (%)	Temp. Média (°C)	Vel. Vento (m/s)	Qg (W/m²)	ET ₀ (mm/dia)	ET ₀ calculada (mm)	K _s	ET _c	ET _r	DEF	Irrigação Manual (horas) *Se houver	Irrigação Manual (mm)	Chuva (mm)	Recomendação Irrigação (h)	Recomendação de Reposição (mm)	ARM inicial (mm)	ARM final (mm)	AD atual (%)
1/1/2018	1	67.1	24.0	1.1	209.3	5.47	5.47	1.00	2.79	2.79				2.0			72.58	71.79	95.40
1/2/2018	2	70.0	24.2	1.5	315.4	4.40	4.40	1.00	2.25	2.25							71.79	69.54	92.41
1/3/2018	3	69.8	23.4	1.1	247.4	3.00	3.00	1.00	1.53	1.53				4.0			69.54	72.01	95.69
1/4/2018	4	87.2	22.9	1.9	140.3	1.20	1.20	1.00	0.61	0.61				19.0			72.01	75.25	100.00
1/5/2018	5	90.7	21.7	2.6	120.2	0.70	0.70	1.00	0.36	0.36				10.0			75.25	75.25	100.00
1/6/2018	6	91.2	21.3	4.2	96.9	0.50	0.50	1.00	0.26	0.26				18.0			75.25	75.25	100.00
1/7/2018	7	80.5	23.6	2.0	299.0	4.00	4.00	1.00	2.04	2.04				4.0			75.25	75.25	100.00
1/8/2018	8	63.9	23.0	1.0	207.4	2.12	2.12	1.00	1.08	1.08							75.25	74.17	98.56
1/9/2018	9	72.1	23.5	1.0	289.1	3.69	3.69	1.00	1.88	1.88		2.0	1.9				74.17	74.21	98.61
1/10/2018	10	68.3	24.1	1.1	246.8	3.03	3.03	1.00	1.55	1.55							74.21	72.66	96.56
1/11/2018	11	66.6	23.8	1.3	278.8	3.65	3.65	1.00	1.86	1.86							72.66	70.79	94.08
1/12/2018	12	62.4	23.7	1.0	221.5	2.43	2.43	1.00	1.24	1.24							70.79	69.55	92.43
1/13/2018	13	67.2	23.0	1.0	276.5	3.36	3.36	1.00	1.72	1.72							69.55	67.84	90.15
1/14/2018	14	69.5	22.2	0.9	133.3	0.72	0.72	1.00	0.37	0.37				15.0			67.84	75.25	100.00
1/15/2018	15	68.3	23.6	1.1	317.4	4.20	4.20	1.00	2.15	2.15		1.0	1.0				75.25	74.07	98.43
1/16/2018	16	68.9	23.5	1.6	229.8	2.90	2.90	1.00	1.48	1.48				14.0			74.07	75.25	100.00
1/17/2018	17	57.9	25.8	1.0	342.1	4.90	4.90	1.00	2.50	2.50							75.25	72.75	96.67
1/18/2018	18	55.9	25.1	1.2	350.5	5.05	5.05	1.00	2.58	2.58							72.75	70.17	93.25
1/19/2018	19	58.8	24.9	1.3	329.8	4.69	4.69	1.00	2.40	2.40		2.0	1.9				70.17	69.70	92.62
1/20/2018	20	56.5	25.2	1.0	340.0	4.77	4.77	1.00	2.44	2.44							69.70	67.26	89.38
1/21/2018	21	54.7	25.5	1.2	307.1	4.29	4.29	1.00	2.19	2.19							67.26	65.07	86.47
1/22/2018	22	52.5	25.7	0.8	319.7	4.26	4.26	1.00	2.18	2.18							65.07	62.89	83.58
1/23/2018	23	60.1	25.3	0.9	290.8	3.84	3.84	1.00	1.96	1.96		3.0	2.9				62.89	63.82	84.81
1/24/2018	24	66.6	25.0	1.4	272.2	3.64	3.64	1.00	1.90	1.90							63.82	75.25	92.77

Fonte: Planilha de Manejo da Fazenda Vitória II (2018).

O MSPA utilizou a irrigação baseada no crescimento da planta. Trata-se de um método baseado em um conjunto de algoritmos inovadores que analisam dados coletados de sensores: solo, clima e, mais importante, baseado em plantas (SUPPLANT, 2018).

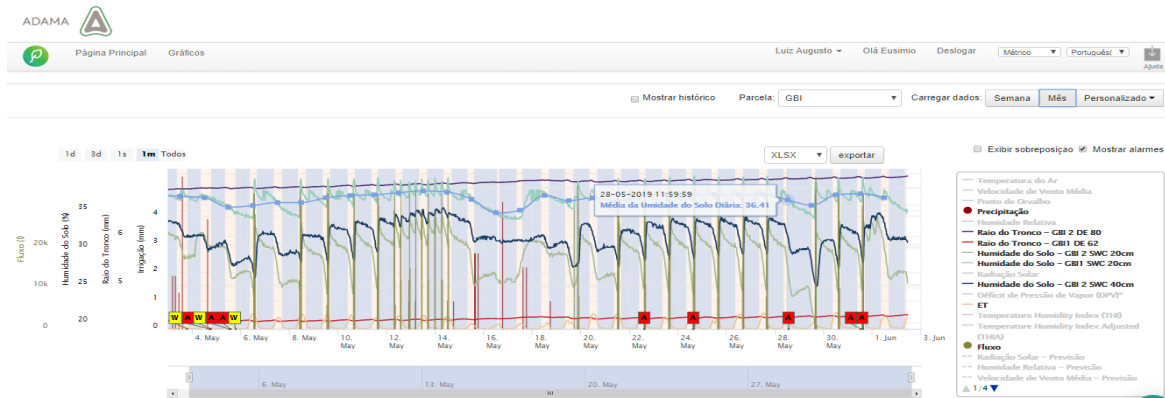
Foram correlacionados dados provenientes da estação meteorológica (mesma do Manejo Climático), sensores de solo e planta para realizar a tomada de decisão. Para o monitoramento das plantas, inseriram-se dois dendrômetros modelo DE-1M em 2 plantas de cafeeiros deste tratamento.

Para o monitoramento da umidade do solo, foram instalados sensores analógicos de umidade do solo, modelo MAS-1 Decagon Devices, com saídas de 4-20 mA (miliampères). Estes sensores determinam o conteúdo volumétrico de água (CVA) medindo a constante dielétrica do meio, usando tecnologia de domínio de capacitância e frequência. Os dois sensores MAS-1, ficaram próximos às plantas monitoradas pelos dendrômetros, sendo 1 sensor enterrado no solo a 0,2 m e o outro a 0,4 m.

As informações coletadas por ambos os sensores foram retransmitidas para a casa de máquinas via antenas de rádio, onde está instalado o painel controlador BERMAD BIC 2500. Do painel controlador BERMAD BIC 2500, os dados foram enviados para a nuvem e o servidor de web TALGIL fazia a interpretação dos dados e as recomendações em tempo real. Após a recomendação, o comando de irrigação era dado e a abertura e fechamento das válvulas do sistema de irrigação aconteceram de maneira automática.

O MSPA possui um sistema de alerta em tempo real em uma ampla gama de informações relevantes para o produtor. Combinado com gráficos e notificações, fornece uma ferramenta precisa para a tomada de decisões. Pode ser usado por meio de um aplicativo ou site da empresa Supplant. As informações coletadas pelos sensores e os eventos de irrigação são disponibilizados em uma plataforma online, conforme Figura 3.

Figura 3 - Plataforma de manejo do sistema MSPA



Fonte: Plataforma Manejo Solo-planta-atmosfera

Também foi instalada uma bateria de tensiômetro por tratamento nas profundidades de 0,2; 0,4 e 0,6 m do solo em ambos os tratamentos para efeito de comparação da umidade do solo nos dois tratamentos.

A avaliações de uniformidade do sistema de irrigação foi feita através da fórmula do Us (coeficiente de uniformidade estatística), referenciado por Mantovani et al. (2001), onde para o tratamento MC apresentou 94,57% de uniformidade de distribuição e vazão média 2,54 L h⁻¹ e o tratamento MSPA apresentou 92,13% e vazão média de 2,53 L h⁻¹. Segundo tais autores estes valores de uniformidade são considerados excelentes.

As avaliações vegetativas dos tratamentos foram feitas utilizando como plantas úteis os 1º, 4º e 7º cafeeiros, e descartadas as 2ª, 3ª, 5ª e 6ª plantas. Nestas três plantas úteis, foram demarcados dois ramos na mesma inserção do caule principal, localizados no terço médio da planta para a realização de avaliações mensais de taxa de crescimento do ramo e taxa de desenvolvimento do número de nós, entre setembro de 2017 e junho de 2018.

Neste experimento, as variáveis estudadas foram: a taxa de crescimento dos ramos a taxa de desenvolvimento de nós e a eficiência no uso da água.

O cálculo da eficiência do uso da água foi estimado pela razão entre a água de irrigação mais precipitação no período pela variável estudada, expresso em mm/cm para a variável taxa de crescimento dos ramos e mm/un para a variável taxa de desenvolvimento do número de nós, conforme as equações (4) e (5), respectivamente.

$$EU_{comp} = \frac{\text{Irrigação} + \text{Precipitação efetiva (mm)}}{\text{Taxa de crescimento dos ramos (cm)}} \quad (4)$$

$$EUAnó = \frac{\text{Irrigação} + \text{Precipitação efetiva(mm)}}{\text{Taxa de desenvolvimento de nós(un)}} \quad (5)$$

Para o cálculo da chuva efetiva foi utilizado à equação (6), considerando a condição (7) e (8). Utilizou-se a profundidade efetiva do sistema radicular de 40 cm.

$$Nac = \left(\text{prof.} - \left(\frac{AD}{100} \right) \times \text{prof.} \right) \quad (6)$$

$$\text{Se } C_{\text{total}} > Nac, \text{ então } C_{\text{efetiva}} = Nac \quad (7)$$

$$\text{Se } C_{\text{total}} < Nac, \text{ então } C_{\text{efetiva}} = C_{\text{total}} \quad (8)$$

Em que:

Nac- necessidade de água até a capacidade de campo (mm);

Prof- profundidade efetiva do sistema radicular (cm);

AD- água disponível (%);

C_{total}-chuva total (mm);

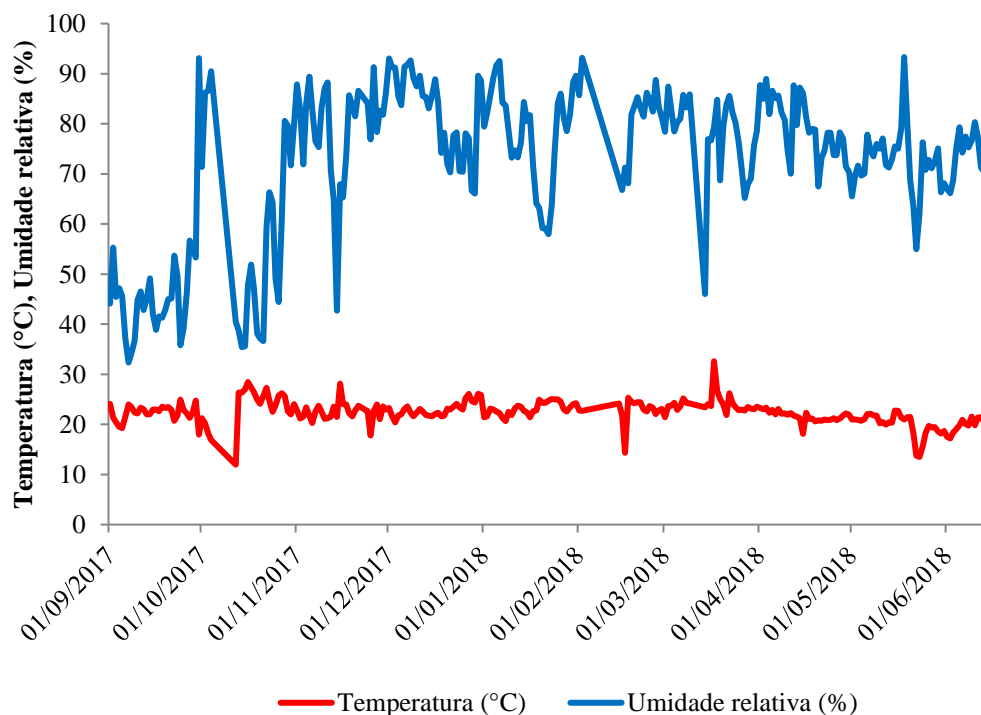
C_{efetiva}- chuva efetiva (mm)

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com a aplicação do teste de F, a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa Sisvar (FERREIRA, 2014).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os parâmetros climáticos, a temperatura é um fator muito importante, pois tem reflexo direto no desenvolvimento da cultura e também atua na duração do ciclo reprodutivo da cultura (PEZZOPANE et al., 2003). A caracterização das exigências térmicas das cultivares de café arábica para completar o ciclo fenológico, com a utilização de graus-dia, pode ser uma ferramenta importante na identificação de cultivares com diferentes épocas de maturação. As temperaturas médias anuais ideais para o desenvolvimento do cafeeiro giram em torno de 17°C a 23°C. Temperaturas médias anuais muito baixas, inferiores a 17°C, provocam atraso demasiado no desenvolvimento dos frutos, podendo até prejudicar a vegetação e a produção das safras subsequentes. Já temperaturas médias anuais muito elevadas causam efeito inverso, antecipando demasiadamente a maturação dos frutos (ASSAD et al. 2001). A temperatura média do ar durante o período experimental foi de 22,37°C, enquadrada na faixa considerada ótima para o crescimento do cafeeiro, demonstrando então que este parâmetro não limitou o desenvolvimento da cultura (Figura 4).

Figura 4 - Parâmetros climáticos de Umidade Relativa (%), temperatura média diária(°C),coletados pela estação meteorológica no período de setembro de 2017 a junho de 2018



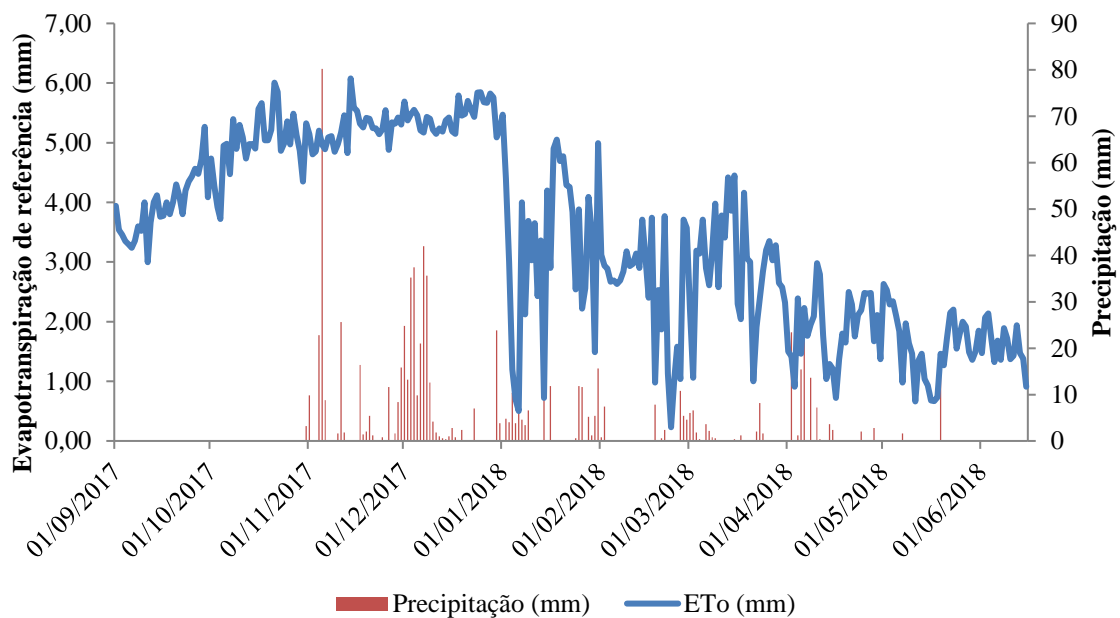
Fonte: Plataforma Manejo Solo-planta-atmosfera e Planilha de Manejo Climático.

A umidade relativa variou entre 35% e 93%, sendo que os valores próximos ao limite inferior do intervalo coincidiram com os períodos de maior temperatura e menor precipitação.

A precipitação total durante o período de 10 meses do experimento foi de 830 mm, sendo que as maiores lâminas precipitadas foram nos meses de novembro, dezembro e janeiro com 215,6, 281,6 e 141 mm registrados, respectivamente. A lâmina de precipitação dos três meses correspondeu a 76% de todo o período. De acordo com Marcuzzo (2012), na região do Cerrado a precipitação média mensal apresenta grande estacionalidade, concentrando-se nos meses de primavera-verão (outubro a março), que é a estação mais chuvosa. Nos períodos de maio a setembro a precipitação mensal reduz bastante, podendo chegar à zero.

A estimativa de evapotranspiração é utilizada para definir a recomendação de irrigação baseada nas variações temporais, elementos como: temperatura do ar, radiação solar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento são avaliados para a cultura estudada (ALLEN et al., 1998). A evapotranspiração de referência alcançou os valores máximos entre e os meses de novembro e dezembro. O mês de junho foi o de menor evapotranspiração média do ano, com ETo média de 1,59 mm, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método Penman-FAO, e precipitação (mm) no período de setembro de 2017 a junho de 2018



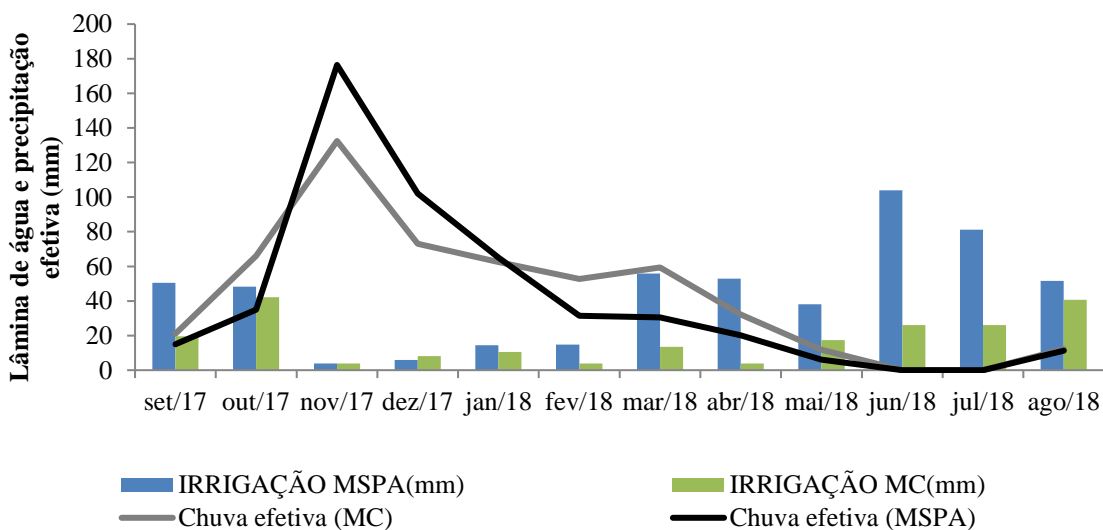
Fonte: autor (2018).

A precipitação efetiva considera a fração da precipitação total que fica à disposição

das plantas, quando a mesma ocorre sobre uma área a uma dada profundidade de solo. Em regiões onde se pratica irrigação ela é importante, pois deve ser levada em conta na lâmina aplicada por irrigação.

No MSPA a precipitação efetiva durante o período experimental foi de 492,98 mm, já no MC climático foi de 523,11 mm, isso demonstra que o MC teve maior aproveitamento da água vinda da chuva. Esse fato está relacionado ao menor volume de água aplicado via irrigação na maior parte dos meses do período avaliado. Os valores totais de lâminas de água aplicadas nos tratamentos MC e MSPA, durante o período e setembro de 2017 a agosto de 2018, foram de 215,50 e 521,30 mm, respectivamente. As irrigações e precipitações mensais dos dois tratamentos estão representadas na Figura 6.

Figura 6 - Precipitação efetiva (mm) e lâmina de irrigação aplicada nos dois tratamentos no período de setembro de 2017 a agosto de 2018.



Fonte: Plataforma Manejo Solo-planta-atmosfera e Planilha de Manejo Climático

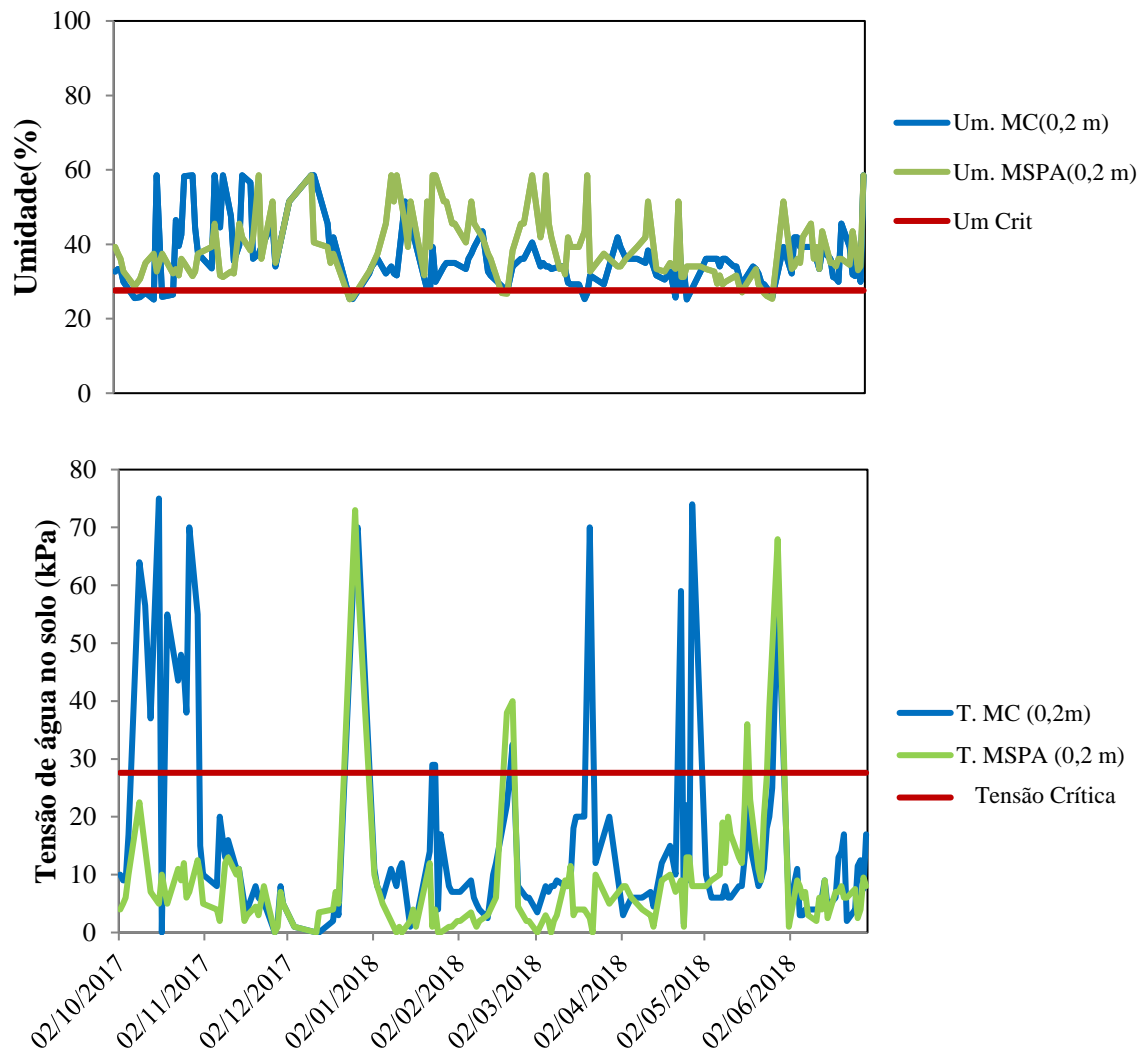
O acompanhamento sistemático da umidade do solo é um importante indicador das condições hídricas a que as plantas estão submetidas (CARVALHO, 2011). Os dados de tensão de água no solo foram utilizados para obter, indiretamente, o teor de água no solo. Nas Figura 7, 8 e 9 constam o comportamento da umidade volumétrica e da tensão de água no solo nas profundidades de 0,2, 0,4 e 0,6 m expressos em porcentagem e kPa, respectivamente, para os tratamentos analisados.

Ao comparar a umidade no solo em ambos os tratamentos, percebe-se que valores no MSPA são consideravelmente maiores do que no MC. Isso se justifica pela estratégia adotada pelo MSPA, que se baseia em manter os teores de umidade do solo em níveis elevados com

aplicações mais frequentes que MC. Diante disso, é fundamental o estudo comparativo da eficiência no uso da água para variáveis de desenvolvimento cultura para saber se esse volume superior de água no solo favoreceu o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro.

Observa-se que no MC a umidade volumétrica ficou abaixo da umidade crítica (27,6%) em alguns dias isolados, isso acontece porque essa estratégia trabalha com turnos de rega mais longos que o MSPA, que variam entre 2 e 4 dias. De acordo com Morgan et al. (2001), a umidade do solo deve ser mantida entre certos limites específicos, em que a água disponível para a planta não seja limitada enquanto a lixiviação é prevenida. Assis et al. (2014), identificou em experimento conduzido em Lavras-MG que a irrigação com base na tensão de 60 kPa foi suficiente para suprir a demanda hídrica do cafeeiro.

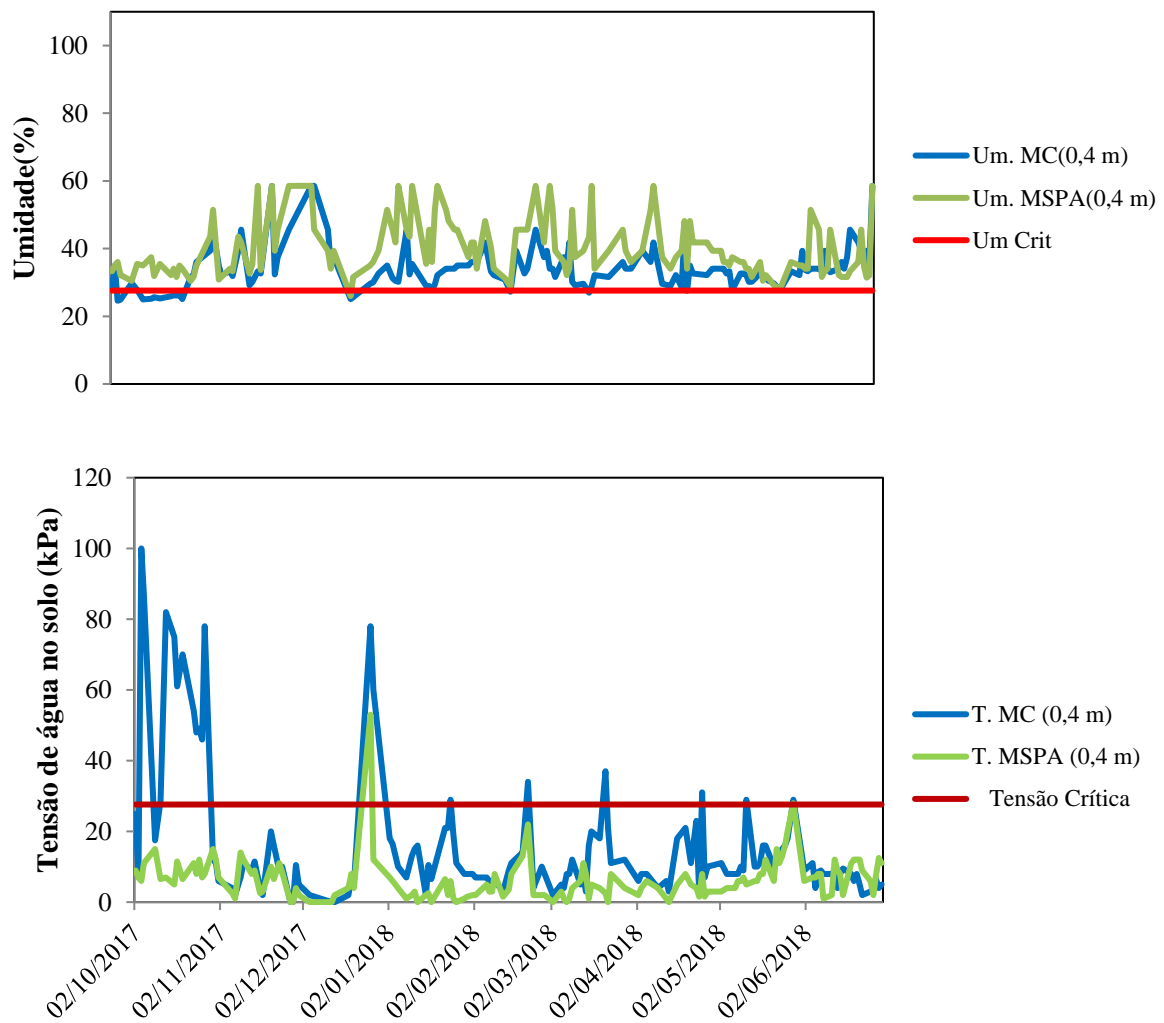
Figura 7 - Umidade volumétrica (%) e tensão de água no solo (kPa) na camada de 0 a 0,20 m de profundidade do solo para os tratamentos testados durante o período de 01/09/2017 a 15/03/2018



Fonte: autor (2018).

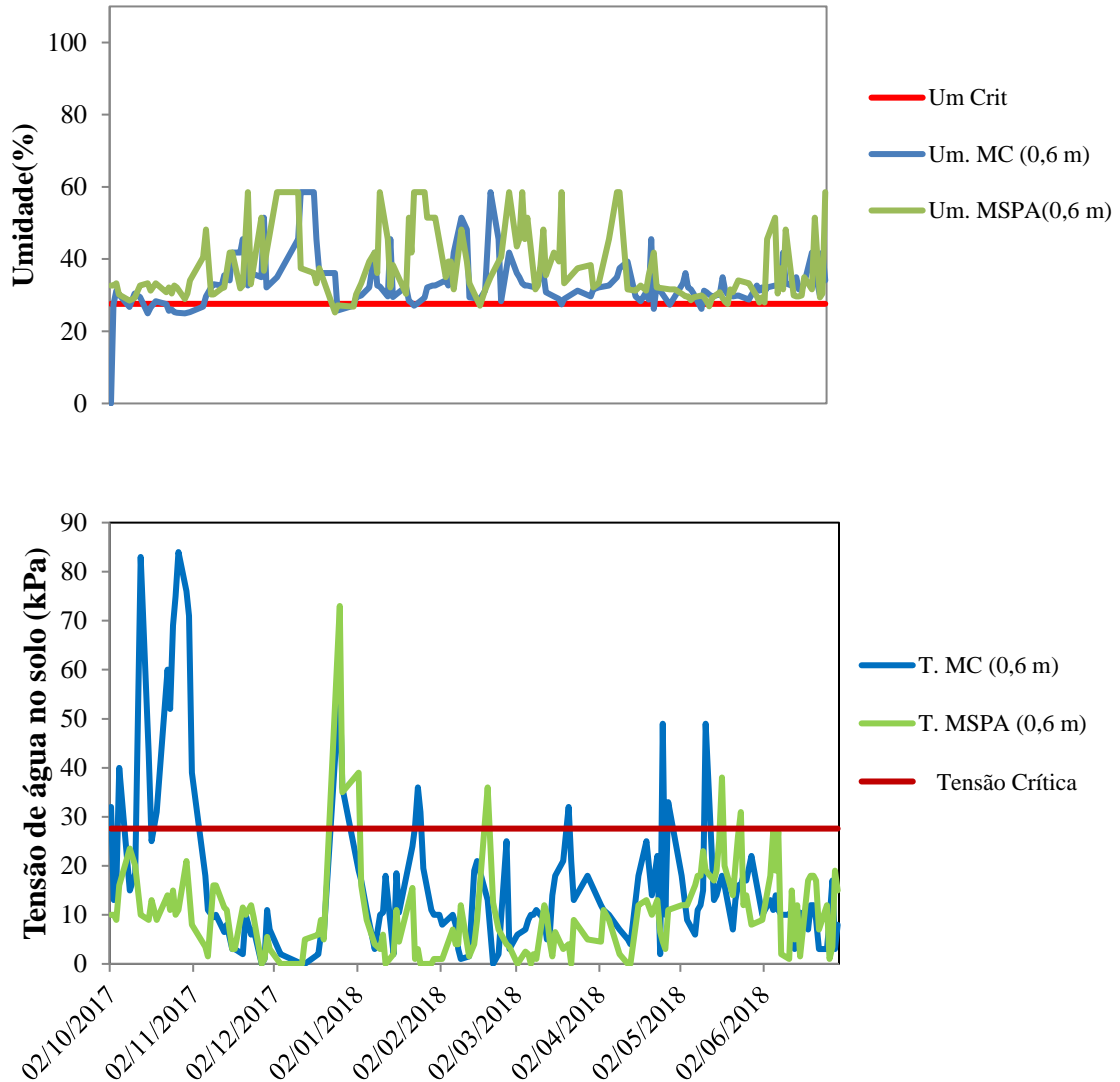
Outro aspecto importante a ser observado é que no mês outubro de 2017 a umidade do solo no tratamento MC ficou abaixo do nível de umidade crítica, submetendo as plantas à déficit hídrico. Neste período houve restrição hídrica e a propriedade não conseguiu captar o volume de água necessário para irrigar, sendo necessário interromper a irrigação manual da fazenda. O MSPA por se tratar de um sistema autônomo recebeu água conforme a recomendação. Entre os meses de novembro a dezembro a umidade do solo se manteve elevada em ambos os tratamentos, já que este foi um período de elevado volume precipitado. O estudo do desenvolvimento da planta se faz necessário para sabermos se esses pontos de umidade que ficaram abaixo da umidade crítica foram suficientes para comprometer o crescimento do cafeeiro.

Figura 8 - Umidade volumétrica (%) e tensão de água no solo (kPa) na camada de 0,2 a 0,4 m de profundidade do solo para os tratamentos testados durante o período de 01/09/2017 a 15/03/2018



Fonte: autor (2018).

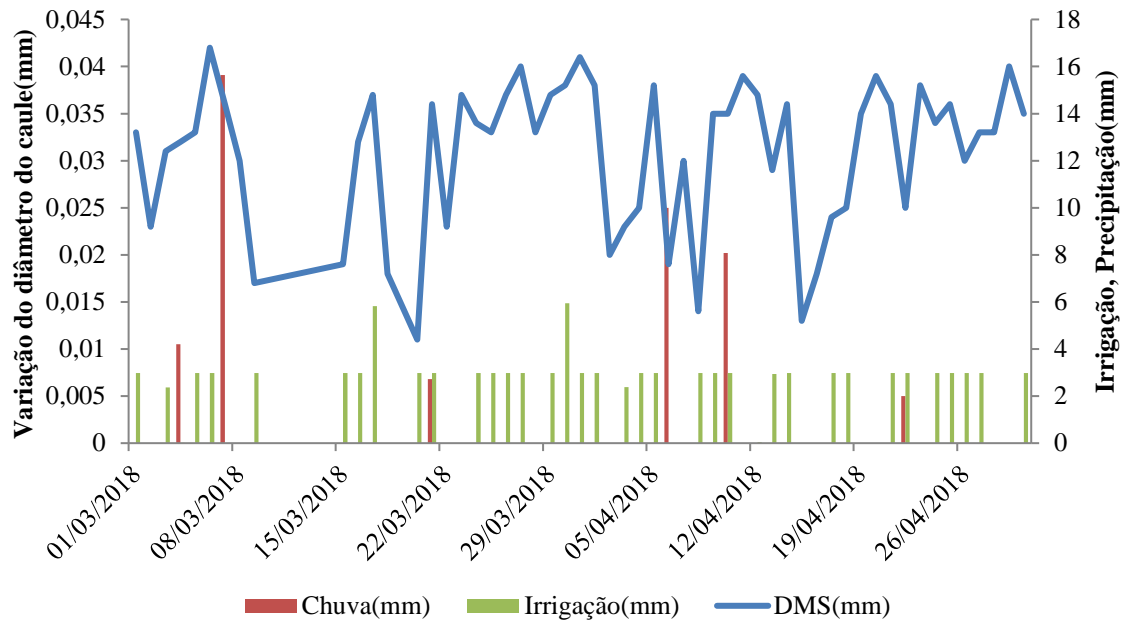
Figura 9 - Umidade volumétrica (%) e tensão de água no solo(kPa) na camada de 0,4 a 0,6 m de profundidade do solo para os tratamentos testados durante o período de 01/09/2017 a 15/03/2018



Fonte: autor (2018)

A variação diária do diâmetro do caule tem sido utilizada como um indicador de status hídrico da planta. Essa variação se dá devido a perda de água por transpiração das plantas que reduz o fluxo de água no xilema. O diâmetro do caule oscila em um ciclo de 24 horas, alcançando um valor máximo logo após o nascer do e sol e um valor mínimo no período da tarde (GOLDHAMER; FERERES, 2001). No MSPA o dendrômetro foi uma ferramenta utilizada na recomendação da lâmina aplicada. Na Figura 10, a variação do diâmetro do caule está associada à precipitação e irrigação, visando estabelecer padrões de contração radial que indicam o momento de irrigar.

Figura 10 - Variação do diâmetro do caule, precipitação efetiva e irrigação, expressos em mm. Dados utilizados para recomendação da lâmina aplicada no tratamento MSPA, referentes aos meses de março a abril de 2018.



Analisando os dados da Figura 9, não foi possível encontrar padrões fixos entre a variação do diâmetro do caule com a recomendação de irrigação no MSPA. Porém as aplicações de água estão associadas aos períodos em que o caule apresentou maior contração radial.

Na Tabela 2 apresentam-se as médias para taxa de crescimento de ramos plagiotrópicos e taxa de emissão de nós para os tratamentos estudados, entre setembro de 2017 a junho de 2018. A taxa de crescimento média dos ramos foi de 10,46 cm, já a taxa de desenvolvimento de nós foi de 5,035 un. De acordo com Silva (2007), o crescimento de ramos plagiotrópicos é um parâmetro importante a ser estudado, já que ele é um indicativo de produtividade, pois favorece a emissão de novos ramos secundários e terciários, aumentando a quantidade de gemas e a produtividade das plantas. Soares et al. (2000) constataram que a irrigação promoveu aumento médio no número de internódios do cafeeiro de até 3,37 unidades, podendo assim elevar sua produtividade.

Tabela 1 - Análise de variância para taxa de crescimento dos ramos e taxa de emissão de nós, para os tratamentos estudados na safra 2017/2018.

FV	GL	QM	
		Taxa de Comprimento dos ramos	Taxa de emissão de nós
Tratamentos	1	0,0741 ^{ns}	0,0011 ^{ns}
Blocos	11	4,1899 ^{ns}	1,1223 ^{ns}
Erro	11	1,8133	0,7764
CV (%)		12,87	20,88

ns -não significativo, pelo teste F; FV - fonte de variação; GL - grau de liberdade; QM - quadrado médio; CV - coeficiente de variação.

Tabela 2 - Taxa de crescimento dos ramos plagiotrópicos em centímetros e taxa de emissão de nós em unidades para os tratamentos estudados na safra 2017/2018.

Tratamentos	Taxa Cresc. dos ramos (cm)	Taxa de emissão de nós (un)
MC	10,41 a	5,04 a
MSPA	10,52 a	5,03 a
CV(%)	12,87	20,88

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de significância, pelo teste F.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos para as variáveis taxa de crescimento dos ramos e taxa de emissão de nós, evidenciando que ambos os tratamentos favoreceram volume de água suficiente para favorecer o desenvolvimento vegetativo da cultura. Serra et al. (2013) verificaram efeito benéfico de irrigações e identificou por meio da utilização de instrumentos para aferir a tensão no solo para realizar o manejo da irrigação, que as tensões de 60 kPa a 100 kPa foram suficientes para atender a demanda hídrica do cafeeiro em plantios adensados. Silva (2007) identificou em experimento conduzido em Uberlândia-MG com utilização do tanque “classe A” para avaliar quais lâminas promoveram maior desenvolvimento vegetativo no cafeeiro e observaram que as lâminas de irrigação variando 136,3% a 132,2% da Evaporação do tanque “Classe A”(ECA)obtiveram maiores valores de ramos plagiotrópicos e números de nós. Já Rotondano (2014) obteve ramos plagiotrópicos de até 67,5 e 86,3 cm nas suas medições mediante a aplicação de 142% e 137,7% da ECA.

Antunes (2000) utilizando o programa computacional SISDA 3 para realizar o manejo da irrigação, analisou o crescimento do cafeeiro com um tratamento em que se aplicou uma lâmina 25% maior que a recomendada pelo SISDA 3 e observou, em cultivar Catuaí

Vermelho IAC 99, que o tratamento que a recomendação foi realizada pelo SISDA 3 obteve um número de nós superior de cerca de 1,5 unidades enquanto no 'Acaia Cerrado' MG1454 o desempenho dos dois tratamentos foi praticamente igual. Essa condição comprova que a aplicação da lâmina superior à recomendada pelo programa SISDA 3 não alterou sensivelmente o padrão de crescimento.

Tabela 3: Análise de variância para Eficiência no uso da água no crescimento dos ramos e Eficiência no uso da água na emissão de nós para os tratamentos estudados na safra 2017/2018.

FV	GL	QM	
		EUAC Comprimento	EUANó
Tratamentos	1	3972,1**	16819,0**
Blocos	11	233,0*	914,65 ^{ns}
Erro	11	76,1	555,5
CV (%)		11,65	15,05

ns,* e **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; FV: fonte de variação; GL - grau de liberdade; QM - quadrado médio; CV - coeficiente de variação.

Tabela 4: Eficiência no uso da água no crescimento de ramos plagiotrópicos e emissão de nós para os tratamentos estudados na safra 2017/2018.

Tratamentos	EUAC Comprimento (mm cm ⁻¹)	EUANó (mm un ⁻¹)
MC	61,99 a	130,10 a
MSPA	87,72 b	183,04 b
CV (%)	11,65	15,05

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de significância, pelo teste F.

Segundo Folegatti e Fernandes (2013) um programa de manejo da irrigação deve-se basear na eficiência no uso da água, sem prejuízo dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, e de fitossanidade para o bom desenvolvimento do cafeeiro. A gestão correta da irrigação pode refletir em economias de água, energia e trabalho que, podendo assim, reduzir custos de produção de café (SILVA et al., 2013).

Para a variável eficiência no uso da água no crescimento dos ramos plagiotrópicos houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que, o tratamento MC utilizou 61,99 mm de água para desenvolver 1 cm no comprimento do ramo plagiotrópico, já no tratamento MSPA foi utilizado 87,72 mm para crescer 1 cm. Portanto, o tratamento MC economizou 25,73 mm de água em relação ao outro tratamento para crescer 1 cm de comprimento no ramo plagiotrópico.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a variável eficiência no uso

da água no desenvolvimento de nós. O tratamento MC necessitou de 130,10 mm de água para desenvolver 1 unidade de nó, enquanto o MSPA exigiu 183,04 mm para desenvolver 1 nó. Isso representa uma economia de 52,94 mm para desenvolver uma unidade de nó. Assis *et al.* 2014 comparando o balanço climatológico com irrigação nas tensões de 20 e 60 kPa em diferentes densidades de plantio sobre o crescimento vegetativo e a produtividade média de cafeeiros *C. arabica* L, observou que na densidade 10.000 plantas ha⁻¹ e irrigação com base na tensão de 60 kPa, a economia na aplicação foi 73,2% (equivalente a 573,1 mm por ano) comparado ao aplicado pelo balanço hídrico climatológico, sendo que ambos os regimes apresentaram rendimento semelhante em sacas de café beneficiado. Na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, essa redução foi de 50,5% (427,1 mm por ano).

O Manejo Solo-Planta-Atmosfera utiliza uma estratégia, na qual tende a manter o solo com teores de umidade mais elevados, de modo que facilite a absorção pela planta. Esse sistema está difundido em 14 grandes mercados agrícolas mundiais e consegue reduzir o consumo de água em 30%, quando comparado a outros métodos, além de ganhos em rendimento, entre 5 – 10% (SUPPLANT, 2018). Os resultados experimentais contrastam com tais informações fornecidas pela empresa, possivelmente pelo método adotado pela empresa, no qual faz aplicações mais frequentes e em vários períodos do dia, resultando em maior lâmina aplicada e também por possível descalibração dos sensores na safra estudada.

6. CONCLUSÕES

Considerando que o período avaliado foi de uma safra agrícola e da necessidade da pesquisa para as safras subsequentes, pode-se concluir que:

- As estratégias de manejo da irrigação estudadas favoreceram o crescimento vegetativo do cafeeiro.
- O Manejo Climático foi mais eficiente no uso da água no crescimento do cafeeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO. **Irrigation and Drainage Paper**, Rome FAO, 1998.
- ANTUNES, R. C. B. **Determinação da evapotranspiração e influência da irrigação e da fertirrigação em componentes vegetativos, reprodutivos e nutricionais do café arábica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, p.162, 2000.
- ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M. da; CUNHA S. A. R. da; ALVES, E. R.; LOPES, T. S. de S.; PINTO, H. S.; ZULLO J. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.510-518, 2001
- ASSIS G. A., SCALCO M. S., GUIMARÃES R. J., COLOMBO A., DOMINGHETTI A. W., MATOS N. M. S. Drip irrigation in coffee crop under different planting densities: Growth and yield in southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.11, p.1116–1123, 2014.
- BRIDSON, D. M. Studies in *Coffea* and *Psilanthus* (Rubiaceae subfam. Cinchonoideae) for part 2 of flora of tropical East Africa: Rubiaceae. **Kew Bulletin**, Estados Unidos da América, n.1, v.4:p.817- 859, 1982.
- CAMARGO, A. P. de. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeiras) do Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**., Brasília, v. 20, n. 7, p.831-839, 1985.
- CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68, 2001.
- CAMPAROTTO, L. B.; CAMARGO, M. B. P. de ; MORAES, J. F. L. de. Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, p.594-599, abr, 2012.
- CARVALHO, C. H. S. de. Morfologia do cafeeiro. Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: **Embrapa Café**. v. 1. p.157-226, 2008.
- CECAFÉ. Conselho dos Exportadores de Café do Brasil. **Relatório Mensal – Dezembro, 2018**, p.1-16, Dez.2018. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/CECAFE_Relatorio_Mensal_DEZEMBRO_2018.pdf> Acesso em: 20 fev. 2019.
- COELHO, E. F.; OLIVEIRA, R. C.; PAMPONET, A. J. M. Necessidades hídricas de bananeira tipo Terra em condições de tabuleiros costeiros. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.48, n.9, p.1260-1268, set. 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira, **Café v.5 - Safra 2019**, n.2 - Segundo Levantamento, Brasília, p. 1-70, mai.2019. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>> Acesso em: 20 fev. 2019.

DAVIS, A. P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D. M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 152, n. 4, p. 465-512, 2006.

BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHIANCA, G. K. Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias. **FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura**, Brasília, p. 1-5. 2017.

FERNANDES, A. L. T.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240. 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A guild for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.38, n.2, 2014.

FOLEGATTI, M. V.; FERNANDES A. L. T. Irrigação do cafeeiro: quando, quanto e por que se deve utilizar. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n.12, p. 43-46, 2013.

GOLDHAMER, D.A., FERERES, E. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. **Irrigation Science**. v. 1, n.20, p.115-125, 2001.

GRANDE M. A. **Estudo de viabilidade da irrigação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) baseado em um ensaio conduzido em Campinas, SP**. Tese (Mestre em Agricultura tropical e subtropical), Campinas-SP, 2001.

JAMES, L. G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: John Wiley & Sons, Krieger Publishing Company, p.543, 1988.

KARATAS, B. S.; AKKUZU, E.; UNAL, H. B.; ASIK, S.; AVCI, M. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in water user associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. **Agricultural Water Management**. v. 96, p. 982-990, 2009.

KELLER, J.B. Sprinkle and trickle irrigation. **Avibook**, New York. 649p, 1990.

LIMA, J. V. O. **Manejo de irrigação com sensores IoT em três fases fenológicas da cultura do café** (Tese de Mestrado). Instituto Federal do Triângulo Mineiro- IFTM, 2018.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada**. Viçosa-MG: UFV, 2001.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D.; FARIA, T.G. Chuvas no cerrado da Região Centro-Oeste do Brasil: Análise histórica e tendência futura. **Ateliê Geográfico**, Goiânia-GO, v. 6, n. 2, p.112-130, 2012.

MATIELLO, J. B. Estiagem prolongada prejudica café na Bahia. Varginha: **PROCAFÉ**, 2012. 4 p. (Folha Técnica, 140). Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=44776&estiagem-prolongada-prejudica-caf--da-bahia-por-jose-braz-matiello.html>. Acesso em: 04 fevereiro 2019.

MENDOÇA, R. F. de.; RODRIGUES, W. N.; LIMA, D. M.; TOMAZ, M. A. Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.13, 2011.

MORGAN, K. T.; PARSONS, L. R.; WHEATON, T. A. Comparison of laboratory and field, derived soil water retention curves for a fine sand soil using tensiometric resistance and capacitance methods. **Plant and Soil**, v.234, p.153-157, 2001.

MIRANDA, F. R. et al. Calibração do sensor dielétrico ECH2O em dois tipos de solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.3, p.317-321, 2007.

MUDRIK, A. S. **Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas do cerrado mineiro** (Tese de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. p.32-34. 2005.

ORTEGA, A. C.; JESUS, M. C. Café e território. A cafeicultura no Cerrado Mineiro. Campinas, SP: **Alínea**. p. 49-56. 2012

PERDONÁ M. J., SORATTO R. P., SUGUINO E., MARTINS A. N., MANCUSO M. A. C. Irrigação e certificação da cafeicultura na Região Centro-Oeste de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p.377-384, 2012.

PEREIRA, D. R. et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p. 2488-2493, 2009.

PEZZOPANE, J. R. M.; JUNIOR, P.M.J.; PAES DE CAMARGO, M.B.; FAZUOLI, L.C. Temperatura-Base e graus-dia com correção pela disponibilidade hídrica para o cafeeiro 'Mundo Novo' no período florescimento-colheita. **Congresso brasileiro de agrometeorologia**, n.14, Campinas, SP. Anais... Campinas, 2005.

RENA, A. B.; MAESTRI. Relações hídricas no cafeeiro. **Irrigação & Tecnologia Moderna, Brasília**, n. 48, p. 34-41, 2000.

ROTONDANO, A. K. F.; TEODORO, R.E.F; MELO, B.de.; SEVERINO, G.M. Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade dos grãos do cafeeiro (Coffearábica L.) sob diferentes lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 65-75, 2005.

SERRA, E. L.; SCALCO, M. S.; GUIMARÃES, R. J.; COLOMBO, A.; MORAIS, A. R.; CARVALHO, C. H. M. Production functions of irrigated coffee under different Planting densities. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 149 - 157, abr./jun. 2013.

SHOCK, C. C.; WANG, F. X. Soil water tension, a powerful measurement for productivity and stewardship. **Hortscience**, Alexandria, v. 46, n. 2, p. 178-185, 2011.

SILVA, A. C. **Respostado cafeeiro (*Coffea arabica* L.) à lâmina de irrigação por gotejamento**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2007

SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, Campina Grande, Brazil, v.1, n.120, p.467-472, 2009.

SOARES, A. R.; MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; SOARES, A. A.; BONOMO, R. Estudo comparativo de fontes de nitrogênio e potássio empregados na fertirrigação do cafeeiro. In: **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 1., 2000, Poços de Caldas - MG. Resumos... Brasília: Embrapa café, v. 2, p. 852-855, 2000.

SOUZA, L. F. de. **Utilização da variação dendrométrica como indicador para o manejo da irrigação de plantas de café**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF Campos dos Goytacazes – RJ, 2009.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; SOUZA, V. A. B. de. Frequência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 34, n. 4, p. 659-664, 1999.

SUPLANT. Growth Based Irrigation – GBI, 2019. Disponível em: <https://suplant.me>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

TAGLIAFERRE, C.; JESUS SILVA, R. A.; ROCHA, F. A.; SANTOS, L. C.; SILVA, C. S. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis, BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.

TEIXEIRA, A. G. **Comportamento de cultivares de café arábica com e sem irrigação nas regiões das montanhas do estado do espírito santo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.621-33, 2000.

YODER, R. E.; JOHNSON, D. L.; WILKERSON, J. B.; YODER, D. C. Soil water sensor performance. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.14, n.2, p.121-133, 1998.