

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CURSO SUPERIOR DE AGRONOMIA**

FILIFE BRIDI GHISOLFI

**IRRIGAÇÃO DO CAFÉ CONILON COM USO DE PLANILHA
ELETRÔNICA**

Santa Teresa

2022

FILIFE BRIDI GHISOLFI

**IRRIGAÇÃO DO CAFÉ CONILON COM USO DE PLANILHA
ELETRÔNICA**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de
Agronomia do Instituto Federal
do Espírito Santo como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr.
Gustavo Haddad Souza Vieira

Santa Teresa

2022

(Biblioteca Major Bley do Instituto Federal do Espírito Santo)

G427i Ghisolfi, Filipe Bridi.

Irrigação do café conilon com uso de planilha eletrônica /
Filipe Bridi Ghisolfi. – 2022.

30 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Haddad Souza Vieira

Monografia (graduação em Agronomia) – Instituto Federal do
Espírito Santo, Coordenadoria do Curso de Agronomia. Santa
Teresa, 2022.

Inclui bibliografias.

1. Planilhas eletrônicas. 2. Manejo de irrigação. 3. Café
conilon. 4. Pequena propriedade. I. Vieira, Gustavo Haddad
Souza. II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 23 – 631.587

FILIPE BRIDI GHISOLFI

IRRIGAÇÃO DO CAFÉ CONILON COM USO DE PLANILHA ELETRÔNICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenadoria do Curso de
Agronomia do Instituto Federal do Espírito
Santo como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovado em 29 de julho de 2022

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. D.Sc. Gustavo Haddad Souza Vieira
Instituto Federal do Espírito Santo Orientador



Prof. D. Sc. José Roberto Brito Pereira
Instituto Federal do Espírito Santo



Prof. D. Sc. Robson Selestino Meireles
Instituto Federal do Espírito Santo

RESUMO

Em razão das condições de distribuição irregular das chuvas no estado do Espírito Santo, o cultivo de café Conilon (*Coffea canephora*) tem sido feito predominantemente sob irrigação. Após a implantação do sistema de irrigação torna-se fundamental ao sucesso do projeto a implementação de um sistema de manejo de irrigação, de acordo com as necessidades da cultura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade da cultura do café, utilizando da irrigação do café Conilon com o uso de planilha eletrônica. O experimento foi instalado em uma pequena propriedade rural, localizada na comunidade de São Francisco de Assis, distrito de Alto Santa Júlia, município de São Roque do Canaã, Espírito Santo. O sistema de manejo da irrigação foi implantado em uma lavoura de café Conilon com três anos de idade. Foram cadastrados na planilha, as características físico-hídricas do solo (capacidade de campo e ponto de murcha permanente e densidade do solo) e fenológicas da cultura (coeficiente cultural, coeficiente de estresse, fator de disponibilidade hídrica, profundidade radicular e espaçamento entre plantas), assim como as do equipamento de irrigação (espaçamento entre emissores, eficiência e vazão). Paralelamente ao trabalho com manejo da irrigação, foi selecionada uma área próxima ao experimento, com 5000 plantas, com os mesmo clones e plantas da mesma idade para que seja feita a irrigação como sempre foi feita pelo produtor, ou seja, com base em sua experiência, sem o uso da planilha. Ao final do período de estudo do manejo da irrigação, foram feitas determinações da produtividade da cultura, com quatro repetições de seis plantas cada, escolhidas ao acaso, e estas foram comparadas com as testemunhas selecionadas também ao acaso dentro do outro talhão, onde foi feita a irrigação sem a utilização da planilha. Houve diferença significativa de produtividade entre as áreas de manejo de irrigação com planilha e sem planilha, sendo a área com planilha com uma produtividade de 170 sacas por há, e na área sem manejo 120 sacas por há. Na área com manejo foram gastos um total de 5.810.400 litros de água, e 3518 kWh de eletricidade. Já na área sem manejo foram gastos um total de 6.840.000 litros de água, e 3982 kWh de eletricidade.

Palavras-chave: Planilhas eletrônicas. Manejo de irrigação. Café conilon. Pequenas propriedades.

ABSTRACT

Due to the irregular distribution of rainfall in the state of Espírito Santo, the cultivation of Conilon coffee (*Coffea canephora*) has been predominantly carried out under irrigation. After the implementation of the irrigation system, the implementation of an irrigation management system, according to the needs of the crop, becomes fundamental to the success of the project. The present work had as objective to evaluate the productivity of the coffee culture, using simplified electronic spreadsheets for the irrigation management. The experiment was installed in a small rural property, located in the community of São Francisco de Assis, district of Alto Santa Júlia, municipality of São Roque do Canaã, Espírito Santo. The irrigation management system was implemented in a three-year-old Conilon coffee plantation. The physical-hydric characteristics of the soil (field capacity and permanent wilting point and soil density) and phenological characteristics of the crop (cultural coefficient, stress coefficient, water availability factor, root depth and spacing between plants) were registered in the spreadsheet. , as well as irrigation equipment (spacing between emitters, efficiency and flow). In parallel with the work with irrigation management, an area close to the experiment was selected, with 5000 plants, with the same clones and plants of the same age, so that irrigation can be carried out as always done by the producer, that is, based on his experience. , without using the spreadsheet. At the end of the irrigation management study period, crop productivity determinations were made, with four replications of six plants each, chosen at random, and these were compared with the randomly selected controls within the other plot, where irrigation without using the spreadsheet. There was a significant difference in productivity between the irrigation management areas with a spreadsheet and without a spreadsheet, with the area with a spreadsheet having a productivity of 170 bags per ha, and in the area without management, 120 bags per ha. In the managed area, a total of 5,810,400 liters of water and 3518 kWh of electricity were used. In the unmanaged area, a total of 6,840,000 liters of water and 3982 kWh of electricity were used.

Keywords: Electronic spreadsheets. Irrigation management. Conilon coffee. Small properties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	06
2	DESENVOLVIMENTO.....	10
2.1	OBJETIVO GERAL.....	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2.3	MATERIAIS DE MÉTODOS.....	11
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4	CONCLUSÃO.....	28
	REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

A área destinada à cafeicultura no país em 2021, ano de bienalidade negativa, totaliza 2.214,2 mil hectares de acordo com o terceiro levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), aumento de 2,4% sobre a área da safra anterior, com 1.800,6 mil hectares para as lavouras em produção (redução de 4,4% em relação ao ano anterior) e 413,6 mil hectares em formação (acréscimo de 49,2% em comparação ao ciclo anterior). Para o café Conilon, a estimativa é de aumento de 2,3% na área total cultivada, alcançando 410,8 mil hectares. Desse total, 376,4 mil hectares estão em produção e 34,4 mil hectares em formação (CONAB, 2021).

No Espírito Santo está a maior área destinada ao café Conilon do país. Estima-se 273,7 mil hectares no estado, seguido por Rondônia, com 69,2 mil hectares e a Bahia, com 41,9 mil hectares (CONAB, 2021).

O café Conilon está inserido no estado em 230,3 mil hectares (IBGE, 2017), conferindo-lhe uma produtividade média de 39,07 sacas por hectare, valor aquém às tecnologias existentes e acessíveis para serem incorporadas ao processo produtivo, porém superior à média de 34,7 sacas por hectare em relação aos números da safra 2016/2017.

A área irrigada de cafezais Conilon no estado, segundo estimativas do Censo Agropecuário (IBGE, 2017), localiza-se majoritariamente no Centro-Norte capixaba. Tal região apresenta profundos riscos climatológicos ao atendimento hídrico necessário do Conilon, sobretudo em nas fases fenológicas essenciais: floração, vingamento da flor e granação. Portanto, uma das preocupações quanto ao regime pluviométrico são seus efeitos sucessíveis e prejudiciais referentes a excesso ou escassez, que interfere negativamente o setor agropecuário, segmento que é peça chave para a produção de riquezas capixaba (GUERRA et. al., 2006).

Em razão das condições de distribuição irregular das chuvas nesta região e ocorrência de elevados déficits hídricos (Pezzopane et al., 2010), o cultivo tem sido feito

predominantemente sob irrigação, com lavouras altamente produtivas com destaque na produção cafeeira brasileira.

De acordo com Marcolan e Spindula (2015), os produtores rurais instalam sistemas de irrigação em suas lavouras, visando o suprimento da sua demanda hídrica. Porém, a grande maioria das propriedades possui fatores limitantes ao seu funcionamento, podendo-se citar: a ausência de projeto técnico elaborado por profissional treinado e capacitado; a ausência de manutenção preventiva e avaliações de desempenho e uniformidade; a baixa oferta de métodos que deem suporte ao agricultor na tomada de decisão quanto ao momento de se irrigar e ao tempo de irrigação adequado.

Apesar da disponibilidade de alguns métodos para a realização do manejo de irrigação, ainda é pequena a adoção dos mesmos por agricultores, sendo a irrigação muitas vezes realizada com base na experiência prática do produtor, sem adoção de qualquer estratégia de uso e manejo racional da água (COSTA, 2006).

Para estimar a exigência hídrica pelas plantas, podem ser adotadas metodologias distintas ou a integração delas, ou seja, pela demanda atmosférica, pelo monitoramento da umidade do solo e por meio de medidas diretas do fluxo de água na planta. Essas metodologias objetivam apresentar alternativas do manejo da água nas culturas irrigadas em qualquer estágio fenológico da planta (BARRETO et al., 2004).

O manejo da irrigação requer o conhecimento da transferência de água, na forma de vapor, da superfície vegetada para a atmosfera. Essa transferência pode ser determinada através da evapotranspiração de referência (ET_o). A evapotranspiração de referência foi inicialmente definida como a evapotranspiração de uma superfície extensiva, totalmente coberta com grama de tamanho uniforme, com 8 a 15 cm de altura e em fase de crescimento ativo, em um solo com ótimas condições de umidade (BERNARDO et al., 2019). Existem diversos métodos recomendados para a estimativa da ET_o, que proporcionam valores diferentes, sendo essa diferença dependente também do local e da estação do ano. Inúmeros são os métodos para se estimar a ET_o, os mais simplificados apresentam limitações quanto à precisão dos resultados obtidos e os mais complexos apontam para a dificuldade de se dispor de

todos os dados necessários ao cálculo. Segundo Pereira et al. (2002), os principais fatores climáticos que afetam a taxa de evapotranspiração são radiação líquida, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Pesquisas conduzidas em diferentes localidades e condições climáticas, indicam que o método de Penman-Monteith tem apresentado estimativas de ETo para a grama, bem correlacionadas com valores obtidos em lisímetros. Portanto, este método pode ser utilizado satisfatoriamente na determinação da ETo, sendo recomendado para calibrar outros métodos (OLIVEIRA; CARVALHO, 1998).

A escolha de um método de estimativa da evapotranspiração das culturas depende de uma série de fatores (PEREIRA et al., 2002), destacando-se a disponibilidade de dados meteorológicos, pois métodos complexos, que exigem grande número de variáveis, somente terão aplicabilidade quando houver disponibilidade de todos os dados necessários.

No caso dos métodos empíricos, é necessário que se conheça as condições climáticas para as quais foram desenvolvidos, pois normalmente não são de aplicação universal. Desse modo, métodos como os de Thornthwaite e de Camargo aplicam-se a regiões de clima úmido (CUNHA et al., 2003), não apresentando boas estimativas para regiões de clima seco (semi-árido), onde eles tendem a subestimativas. Nessa situação, o método de Hargreaves adapta-se melhor, pois foi desenvolvido para esse tipo de clima (ALLEN et al., 1998).

A calibração da ETo estimada pelo método de Hargreaves permite, na ausência de informação meteorológica completa, ou de qualidade duvidosa, proceder à disponibilização de informação sobre a ETo, equivalente à informação disponibilizada pelo método da FAO (Penman-Monteith), recorrendo apenas à informação referente à temperatura do ar e dados de radiação solar que são obtidos através de tabelas ou fórmulas matemáticas (SANTOS; MAIA, 2006).

No entanto, Doorenbos e Pruitt (1997) ressaltam que, ao se fazer o uso dessas fórmulas em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas em que foram inicialmente testadas, pode haver diferenças ao empregá-las em outras regiões.

Portanto, é de extrema importância que seja comprovada a exatidão dessas fórmulas antes de utilizá-las em novas condições climatológicas. Não é somente o grau de exatidão da estimativa da evapotranspiração, mas também a escolha da fórmula que está condicionada pelas variáveis climáticas que, por sua vez, devem ser medidas com grande precisão durante certo número de anos para uma maior representabilidade do clima da região. Dito isso, é extremamente importante que o produtor realize o manejo da irrigação de forma eficiente, para que todas as ações listadas acima sejam atendidas.

Apesar de já existirem programas computacionais que realizem o cálculo das necessidades hídricas das culturas (ALBUQUERQUE et al., 2014; COELHO et al., 2005; LIMA, 2019; MELO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2019; LOPES et al., 2017), os aplicativos são na sua maioria, de difícil manuseio. Além disso, os trabalhos relatando a validação destes aplicativos são escassos. Para o desenvolvimento de aplicativos deve ser levado em consideração a maneira como o usuário entende o significado dos ícones e a maneira como vai acessar os componentes de controle e executar a tarefa. É na interface com os produtos, que podem ocorrer os principais problemas de usabilidade, levando muitas vezes, ao abandono de algumas funções importantes, por demora, erros e perda de eficiência e eficácia (SILVA et al., 2015).

O manejo ineficiente realizado pela maior parte dos produtores rurais é indicado como um dos fatores que mais contribui para a escassez dos recursos hídricos. Segundo Albuquerque e Andrade (2001), entre 40 e 60% da água que é aplicada à cultura são efetivamente usados pela mesma (a maior parcela na forma de transpiração), sendo o restante é perdido no sistema, na propriedade e no campo, por meio da evaporação direta, do escoamento superficial ou da percolação.

Diante do grande avanço das tecnologias de informação, ferramentas computacionais foram desenvolvidas para o controle no manejo da irrigação. No entanto, muitas dessas tecnologias ainda são de difícil acesso aos agricultores, os quais necessitam que sejam fornecidas técnicas simples, mas com precisão suficiente para possibilitarem, no campo, a determinação criteriosa do momento e da quantidade de água a ser aplicada (LOPES et al., 2004).

Com os recursos hídricos cada vez mais escassos nas propriedades agrícolas, a necessidade da apresentação de ferramentas que auxiliem o produtor rural a realizar o manejo de irrigação também é crescente.

A implantação de um programa de manejo requer conscientização, com visão integrada, tecnologia de ponta e operacionalidade, a fim de que se torne possível a otimização do uso dos insumos, aumento da produtividade, rentabilidade e ampliação da área irrigada nos locais com limitação dos recursos hídricos (BERNARDO et al., 2019).

A abordagem do tema visa a utilização da planilha simplificada de manejo da irrigação. A viabilização do uso dessa da planilha seria de grande importância para pequenos produtores, por ser uma ferramenta de baixo custo e de simples manuseio.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avalliar o uso de planilhas eletrônicas simplificadas para o manejo da irrigação na cultura do café Conilon, em propriedade rural de base familiar.

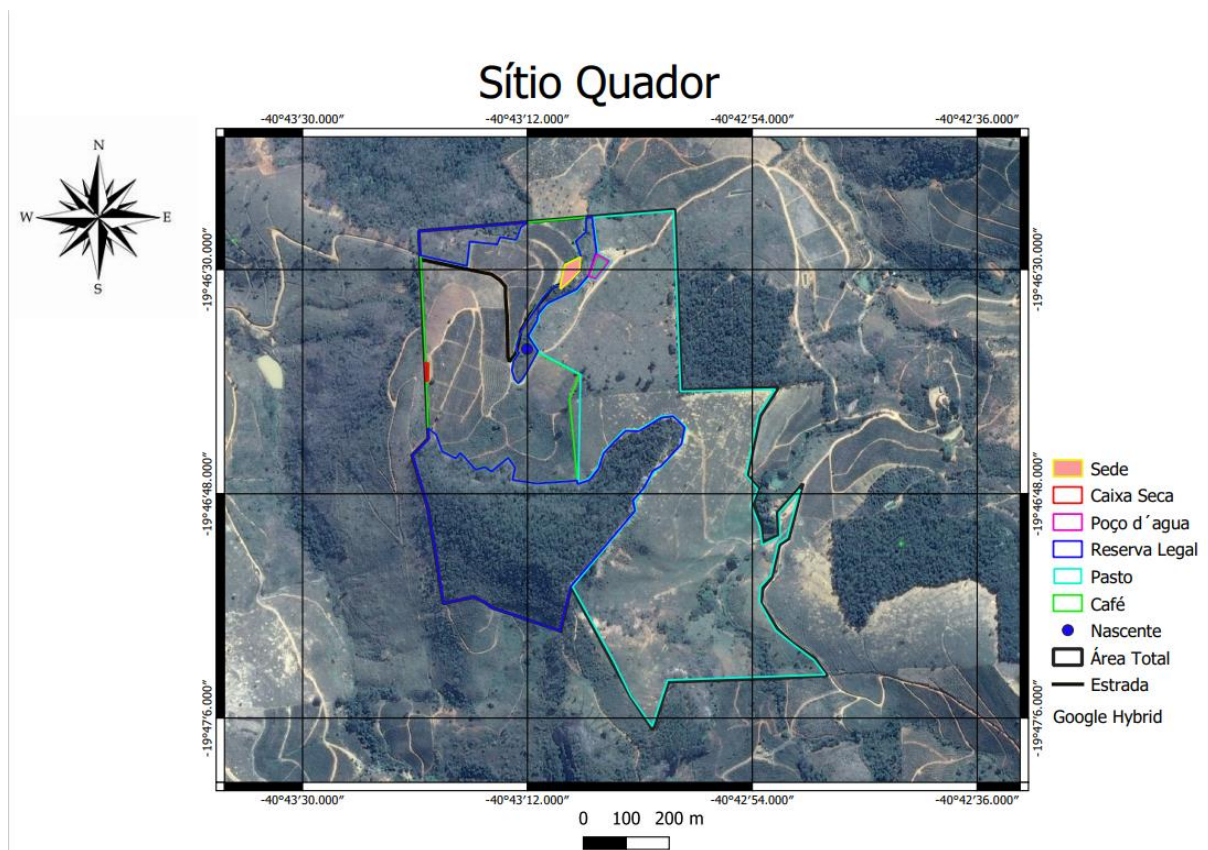
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar planilha eletrônica simplificada para o manejo da irrigação localizada;
- Comparar os resultados obtidos com e sem o uso de planilha eletrônica;
- Divulgar o sistema de manejo como incentivo à adoção do manejo da irrigação pelos produtores rurais da região.

2.3 MATERIAIS DE MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma pequena propriedade rural, de coordenadas geográficas $-19^{\circ}46'30''\text{S}$ $-40^{\circ}43'12''\text{W}$, com uma altitude de 450 metros, localizada na comunidade de São Francisco de Assis, município de São Roque do Canaã, Espírito Santo, (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área experimental.




Fonte: Própria do autor (2022).

O sistema de manejo da irrigação foi implantado em uma lavoura de café Conilon com três anos de idade, iniciando em 02/09/2021 e finalizando em 15/06/2022, com duração de dez meses.

Inicialmente foram desenvolvidas planilhas eletrônicas que fornecem a informação do momento de se irrigar e laminado tempo de irrigação recomendado. As planilhas foram divididas em sub-planilhas, de modo a facilitar a organização dos dados de entrada (Figura 2) e os espaços necessários à realização dos cálculos, além de permitir mecanismos de proteção do código fonte, evitando-se alterações indesejadas, o que poderiam comprometer a integridade dos cálculos. O mesmo vale para a sub-planilha de manejo de irrigação (Figura 3).

Figura 2 - Planilha de entrada de dados.

Manejo de irrigação localizada / Hargreaves-Samani		Permitidos a distribuição e o uso gratuito, desde que citada a fonte ghsvieira@gmail.com																																											
 <p>Planilha desenvolvida por Gustavo Haddad Souza Vieira Professor Titular do IFES campus Santa Teresa Grupo de Pesquisa em Irrigação do Ifes Rod. ES 080, km 91, São João de Petrópolis Santa Teresa - ES CEP 29.660-000</p>		<p>Versão v.2022.03.10 HS</p> <p>(27) 99697-5987</p>																																											
Células amarelas = entrada manual de dados																																													
Dados locais		Dados do equipamento	Correção da Equação de Eto																																										
<p>Latitude 19 46 Graus Minutos Hemisfério S</p> <p>Área 5000 m²</p>		<p>Vazão do emissor 1,8 L/h Espaçamento entre emissores 0,5 m Espaçamento entre LL 2,5 m CUC 89,8 % PAM 24 % IA 1,4 mm/h</p>	<p>Equação de Hargreaves-Samani (1985) $ET_o = 0.0023(T_{media} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a$ Correção da equação (Y = A + B X) A 0 B 1</p>																																										
Solo		<p>CTA 50,5 mm CRA 4,8 mm ITN 5,4 mm</p>																																											
<p>Capacidade de campo 18 % Ponto de Murcha Permanente 8 % Densidade do solo 1,262 g/cm³ Fator F 0,4 Profundidade das raízes 40 cm</p>																																													
Dados da cultura		Cultura Café																																											
<p>Estádio de desenvolvimento</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kc</th> <th>Kc valor</th> <th>Data de início</th> <th>Duração (dias)</th> <th>Kc constante?</th> <th>PAS (%)</th> <th>PAM(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,6</td> <td>02/09/2021</td> <td>100</td> <td>sim</td> <td>50</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>11/12/2021</td> <td>100</td> <td>não</td> <td>65</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,95</td> <td>21/03/2022</td> <td>100</td> <td>sim</td> <td>85</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>29/06/2022</td> <td>65</td> <td>não</td> <td>65</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Kc final</td> <td>0,7</td> <td>02/09/2022</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table> <p>Duração do Ciclo 365 Dias</p>		Kc	Kc valor	Data de início	Duração (dias)	Kc constante?	PAS (%)	PAM(%)	1	0,6	02/09/2021	100	sim	50	24	2		11/12/2021	100	não	65	24	3	0,95	21/03/2022	100	sim	85	24	4		29/06/2022	65	não	65	24	Kc final		0,7	02/09/2022				<p>Espaçamento entre plantas 1 Espaçamento entre fileiras 2,5</p>	
Kc	Kc valor	Data de início	Duração (dias)	Kc constante?	PAS (%)	PAM(%)																																							
1	0,6	02/09/2021	100	sim	50	24																																							
2		11/12/2021	100	não	65	24																																							
3	0,95	21/03/2022	100	sim	85	24																																							
4		29/06/2022	65	não	65	24																																							
Kc final		0,7	02/09/2022																																										

Fonte: Própria do autor (2022).

Figura 3 - Planilha de entrada de dados meteorológicos e manejo da irrigação.

Data	Tmax (°C)	Tmin (°C)	ETc (mm/dia)	Tempo irrigado (minutos)	Chuva (mm)	Tempo de irrigação recomendado (minutos)	Umidade do solo medida (%)	Umidade atual do solo - Calculada (%)
09/04/2022	30,20	20,70	3,4			311		16,7
10/04/2022	30,20	20,70	3,3	400,0		65		17,7
11/04/2022	30,90	21,30	3,3			219		17,1
12/04/2022	31,10	21,30	3,4	400,0		0		18,0
13/04/2022	32,20	22,80	3,4			156		17,3
14/04/2022	33,60	22,80	3,7			330		16,6
15/04/2022	26,50	21,00	2,3		40,0	0		18,0
16/04/2022	27,40	17,70	3,0			137		17,4
17/04/2022	28,70	19,20	3,1			283		16,8
18/04/2022	28,30	18,60	3,0	400,0		24		17,9
19/04/2022	28,90	17,00	3,3			175		17,3
20/04/2022	30,00	17,00	3,5	400,0		0		18,0
21/04/2022	29,60	18,60	3,2			149		17,4
22/04/2022	29,60	18,60	3,3			300		16,7
23/04/2022	31,30	19,70	3,4	450,0		6		18,0
24/04/2022	32,00	22,50	3,1			150		17,4
25/04/2022	28,10	22,50	2,3			258		16,9
26/04/2022	30,00	20,10	3,0	400,0		0		18,0

Fonte: Própria do autor (2022).

Foram cadastrados na planilha, as características físico-hídricas do solo (capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade do solo e percentagem de área molhada) e fenológicas da cultura (coeficiente cultural - Kc, coeficiente de umidade do solo - Ks, coeficiente de localização da irrigação – KL, fator de disponibilidade hídrica - f, profundidade radicular – Z, espaçamento entre plantas e entre fileiras, percentagem de área molhada – PAM e percentagem de área sombreada – PAS. Assim como as do equipamento de irrigação (espaçamento entre emissores, eficiência e vazão). Os dados foram obtidos em visitas e avaliações realizadas na propriedade, com medições na cultura e nos equipamentos de irrigação.

Para o manejo da irrigação no cafezal, foi necessário estudar as características do solo e determinar a Capacidade de Campo (Cc) e Ponto de Murcha Permanente (Pmp). Os valores de capacidade de campo foram obtidos em nível de campo, pelo método da bacia, seguindo a metodologia proposta por Bernardo et al. (2019) e os valores de ponto de murcha, obtidos por meio de tabelas com valores médios disponibilizadas juntamente com as planilhas eletrônicas, tomando-se como referência os valores de capacidade de campo e de textura do solo da área

monitorada.

Para determinação da Densidade do solo (D_s), fez-se uso do método do anel volumétrico, onde foram retiradas três amostras de 0-20 cm de profundidade, e para a secagem, foi utilizado o método do micro-ondas. Após a secagem as amostras foram pesadas para realizar a determinação da Densidade do solo (D_s), utilizando-se a Equação 1 (BERNARDO et al., 2019).

$$D_s = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Em que,

D_s = densidade do solo;

M = massa da amostra de solo seco, em g;

v = volume do anel, em cm^3 .

A água armazenada no solo que está disponível para as plantas é definida pelo intervalo entre a capacidade de campo e ponto de murcha permanente do solo (MANTOVANI et al., 2009). Para calcular a capacidade total de água no solo (CTA), foi aplicada a Equação 2.

$$CTA = \frac{(C_c - P_{mp})}{10} \times D_s Z \quad (2)$$

Em que,

DTA = disponibilidade total de água do solo, em mm cm^{-1} ;

C_c = capacidade de campo, % em peso;

P_{mp} = ponto de murcha permanente, % em peso;

D_s = densidade do solo, em g cm^{-3} ; e

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, em cm.

A capacidade real de água no solo (CRA) (Equação 3), representa uma parte da CTA,

pois, do ponto de vista da agricultura irrigada, não interessa a utilização da água até o ponto de murcha permanente. Assim define-se um limite entre C_c e P_{mp} , denominado fator “f”, que representa quanto do valor será utilizado:

$$CRA = CTA f \quad (3)$$

Em que,

CRA = capacidade real de água do solo em mm; e

f = fator de disponibilidade hídrica, sempre menor que 1.

Mantovani et al. (2009) descrevem o fator de disponibilidade de água no solo (f), como um parâmetro que limita a parte da água disponível do solo que a planta pode utilizar, sem causar maiores prejuízos à produtividade. Ele também é o fator de segurança que tem sua proporção definida segundo o valor econômico e a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico. A irrigação real necessária (IRN) (Equação 4), expressa a quantidade de água requerida pelo sistema para que a cultura se desenvolva sem déficit naquele determinado solo, sendo sempre inferior ou igual à capacidade real de água no solo, $IRN \leq CRA$.

$$IRN < \frac{(C_c - P_{mp})}{10} D_s Z f \frac{PAM}{100} \quad (4)$$

Em que,

IRN = irrigação real necessária, em mm;

C_c = capacidade de campo, em % em peso;

P_{mp} = ponto de murcha permanente, em % em peso;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, em cm; e

PAM = percentagem de área molhada, em %.

A evapotranspiração de referência (ET_o), foi calculada, na base diária, utilizando-se

o modelo de Hargreaves e Samani (Allen et al., 1998), apresentado na Equação 5.

$$ET_o = 0,0023Ra (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0,5} (T_{med} + 17,8) \quad (5)$$

Em que,

ET_o = Evapotranspiração de referência, em mm dia⁻¹;

Ra = Radiação no topo da atmosfera, em mm dia⁻¹;

$T_{m\acute{a}x}$ = temperatura máxima do ar, em °C;

$T_{m\acute{i}n}$ = temperatura mínima do ar, em °C;

T_{med} = temperatura média do ar, em °C.

Determinou-se a evapotranspiração da cultura pelo modelo GESAI (MANTOVANI et al, 2009), com a Equação 6.

$$ET_c = ET_o K_c K_s K_L \quad (6)$$

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm/dia;

ET_o = evapotranspiração de referência, em mm/dia;

K_c = coeficiente da cultura;

K_s = coeficiente de umidade do solo; e

K_L = coeficiente devido à irrigação localizada.

Os valores do coeficiente de umidade do solo (K_s), calculado pelo modelo logarítmico(BERNARDO et al., 2019), apresentado na Equação 7. Dependendo da frequência de irrigação, a ET_c pode aumentar ou diminuir, e o K_s é usado para corrigir esses valores(MANTOVANI et al, 2009).

$$K_s = \frac{LN(LAA+1)}{LN(CTA+1)} \quad (7)$$

Em que,

K_s = Coeficiente de umidade do solo;

LAA = lâmina de água armazenada no solo, em mm; e

CTA = capacidade total de água do solo, mm.

Devido à forma de molhamento da irrigação localizada, em que não se molha toda a área, se faz necessária uma correção que reduza a evapotranspiração, por influência da redução das evaporações diretas do solo na área não molhada, descrita na equação 8.

$$KL = 0,1 \sqrt{P} \quad (8)$$

Em que,

KL = Fator de correção devido a localização da irrigação; e

P = percentagem de área molhada ou sombreada (%), o que for maior.

A percentagem de área molhada (PAM, em relação a área total ocupada pela planta, depende de características do emissor (vazão, espaçamento e raio irrigado) e da planta (espaçamento e desenvolvimento). Para determinação do valor de PAM, utilizou-se da Equação 9.

$$PAM = \frac{AMe}{AT} \quad (9)$$

Em que,

PAM = percentagem de área molhada;

AMe = área molhada pelo emissor, m²; e

AT = área total da planta, m².

A percentagem de área sombreada (PAS), expressa a relação entre a área sombreada pela planta e a área total ocupada pela mesma e foi calculada com Equação 10.

$$PAS = \frac{AS}{AT} \quad (10)$$

Em que,

PAS = percentagem de área sombreada;

AS = área sombreada pela planta, m²; e

AT = área total da planta, m².

A irrigação total necessária (Equação 11) foi determinada considerando a eficiência de irrigação, representada pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (KELLER; BLIESNER,1990).

$$ITN = \frac{IRN}{Ei} \quad (11)$$

Em que,

ITN = irrigação total necessária, em mm;

IRN = irrigação real necessária, em mm; e

Ei = eficiência de irrigação, em %.

Em outra sub-planilha é apresentado um gráfico com informações de limites de armazenamento (capacidade de campo e ponto de murcha permanente), umidade de segurança, umidade atual do solo calculada, umidade atual do solo medida, lâminas brutas de irrigação e chuva. Com essas informações, o usuário pode visualizar a dinâmica do balanço de água no solo, podendo tomar a decisão de se irrigar ou não suas lavouras.

Os dados de temperatura e chuva diários, necessários aos cálculos do balanço hídrico, foram obtidos com termômetro de máxima e mínima e pluviômetro instalado na propriedade. Os dados coletados e armazenados compõem um banco de dados climáticos da propriedade e servirão para estimativas e experimentos futuros.

O experimento foi realizado em um talhão da área de café Conilon, que corresponde a um setor do sistema de irrigação, de aproximadamente 5.000 plantas, com 3 anos de idade. Os clones presentes nesse talhão são A1, K61, VERDIN, e LB1, o espaçamento utilizado é de 2,5 m x 1,0 m e devido ao espaçamento da lavoura, a mesma é conduzida com duas haste por planta, totalizando 4000 plantas por hectare.

A irrigação é feita de forma localizada por meio de mangueiras gotejadoras, com espaçamento de 2,5 m entre mangueiras e de 0,5 m entre emissores, com vazão média de $1,8 \text{ L h}^{-1}$.

Paralelamente ao trabalho com manejo da irrigação, foi selecionada uma área como testemunha, contendo 5.000 plantas com a mesma idade e os mesmos clones, onde se fez a irrigação sem o uso da planilha, utilizando os critérios utilizados antes da implantação do experimento, ou seja, o manejo adotado pelo próprio produtor, com base em sua experiência, sendo essa irrigação de duas horas diárias durante 7 dias da semana.

As plantas foram avaliadas ao final do ciclo, e após dez meses de estudo do manejo da irrigação, determinou-se a produtividade da cultura, por meio da mensuração da produção por hectare, e a colheita de 24 plantas, escolhidas ao acaso, e estas foram comparadas com as testemunhas selecionadas também ao acaso dentro da outra área onde se fez a irrigação sem o uso da planilha.

Além da produtividade, foram calculados e comparados os montantes de água utilizados nos tratamentos com planilha e sem planilha durante o experimento. Para obtenção desses valores, foram utilizados os seguintes dados para cálculos:

Vazão do emissor, em L/h;

Espaçamento dos emissores, em m;

Número e espaçamento de plantas, em m/m.

Portanto:

$$\text{Vazão do setor} = \text{Número de emissores} \times \text{Vazão dos emissores, em L/h.}$$

De acordo com a planilha de manejo, foram obtidos os valores de tempo irrigados. Sendo assim:

$$\text{Quantidade de água gasta} = \text{Tempo irrigado} \times \text{Vazão do setor, em L; e}$$

Quantidade de água por planta = Quantidade de água gasta / Número de plantas,
em L/Planta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as produtividades obtidas em cada tratamento com e sem manejo de irrigação. Onde foram avaliados dois talhões com mesma área e mesma quantidade de plantas.

Tabela 1 – Produtividade e rendimento de café das áreas com planilha (CP) e sem planilha (SP) de irrigação.

	Produtividade			
	CP		SP	
Total	10370 kg/ha	170 sc/ha	7320 kg/ha	120 sc/ha
Amostra 24 plantas	60 kg	1 sc	41 kg	0,68 sc
Rendimento	4 : 1		4,4 : 1	

Fonte: Própria do autor (2022).

Na primeira linha observam-se as produtividades totais de cada área em kg beneficiados por hectare com planilha e sem planilha de manejo da irrigação. Em cada área foram escolhidas 24 plantas ao acaso e realizada a amostragem das mesmas, estas representadas na segunda linha, também representadas em kg beneficiados.

Assim como encontrado na presente pesquisa, Schwan et al. (2020), também verificaram um aumento na produtividade do café conilon ao utilizar um manejo da irrigação específico para o local de implantação da cultura. A irrigação atuou beneficentemente sobre o cafeeiro, sendo o manejo irrigado com 100% de ETc, com melhor índice de produtividade em relação ao manejo não irrigado e irrigado com 50% de ETc. Os índices entre café maduro e beneficiado no tratamento com 100% ETc encontrados pelos autores ficaram próximos aos verificados nesta pesquisa, sendo respectivamente 4,03:1 e 4:1.

Já na terceira linha, está representado o rendimento da quantidade de sacos de café maduro (80 L) para uma saca de café beneficiado (60 kg). Na área com manejo 1 saco de 80 L de café maduro correspondeu a 15 kg de café beneficiado. Estes dados também são superiores aos dados de produtividade encontrados por Matiello et al.

(2012), em sua avaliação da produtividade do cafeeiro conilon no município de Alegre-ES, cultivado em sistema de irrigação convencional, no qual, a produtividade encontrada no café beneficiado foi de 13,8 kg apartir de 1 saco de café maduro.

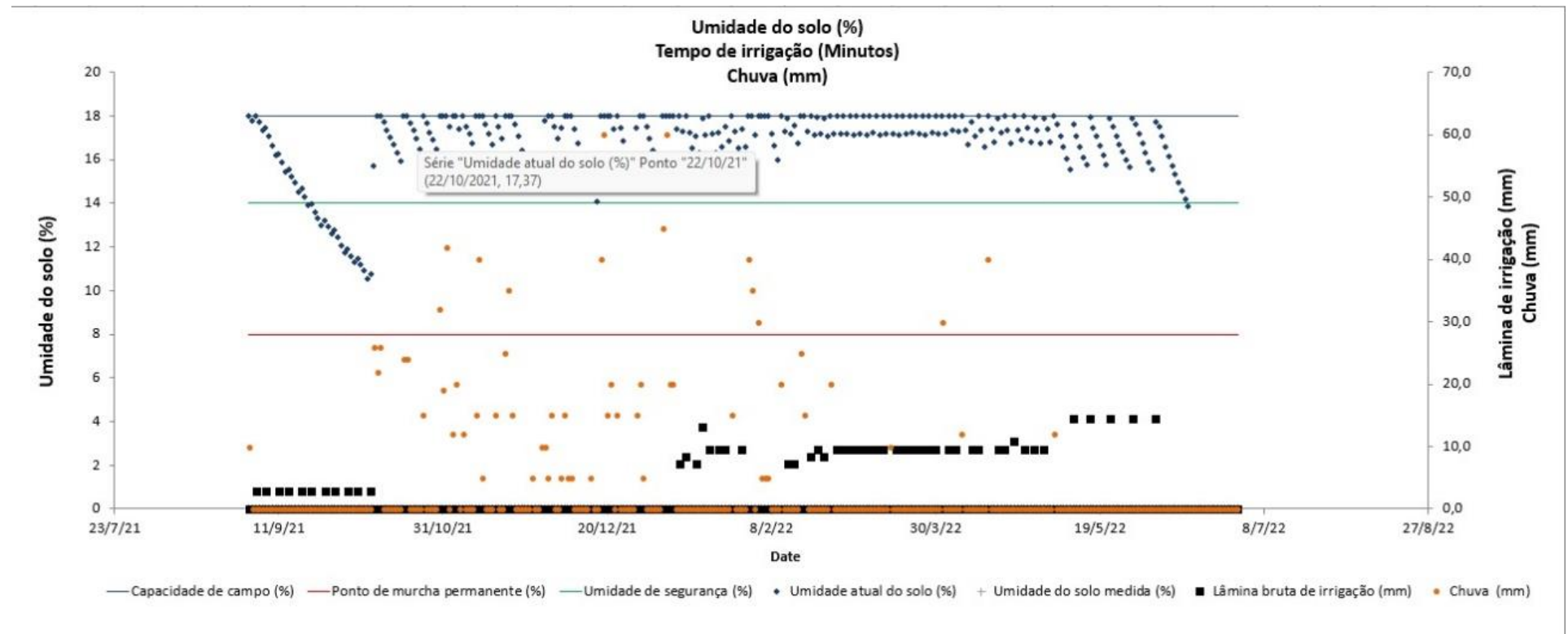
Assim, tendo uma diferença expressiva no tipo de manejo da irrigação adotado (pela planilha ou pelo produtor rural) interferiu diretamente na produtividade das plantas durante o período estudado.

Esse acréscimo na produtividade se dá pois no manejo com a planilha foi fornecido água na quantidade correta e no momento necessário em que a planta necessitava para completar o seu ciclo, ocorrendo assim, ganho de produtividade expressivo em relação à área sem manejo, e ganho também no rendimento em peso. Nascimento, Bassoi e Paz (2012) em seu trabalho com videira, evidenciaram a importância da planilha eletrônica na tomada de decisão quanto ao manejo da irrigação ao longo de todo ciclo da cultura, principalmente no que diz respeito ao momento de irrigar e as quantidades de água necessárias.

A produtividade na área onde foi realizado o manejo foi 29,5% maior em relação a área testemunha, em valores atuais, isso representa cerca de R\$ 35.000,00 a mais para o produtor, considerando-se o preço pago pela saca de café beneficiado, em 26 de julho de 2022, no valor de R\$ 700,00.

Nas figuras 4 e 5 observam-se as informações de limites de armazenamento (capacidade de campo e ponto de murcha permanente), umidade de segurança, umidade atual do solo calculada, umidade atual do solo medida, lâminas brutas de irrigação e chuva nas áreas com e sem manejo, respectivamente.

Figura 4 – Gráfico de umidade do solo (%), tempo de irrigação (min) e chuva (mm), com planilha.

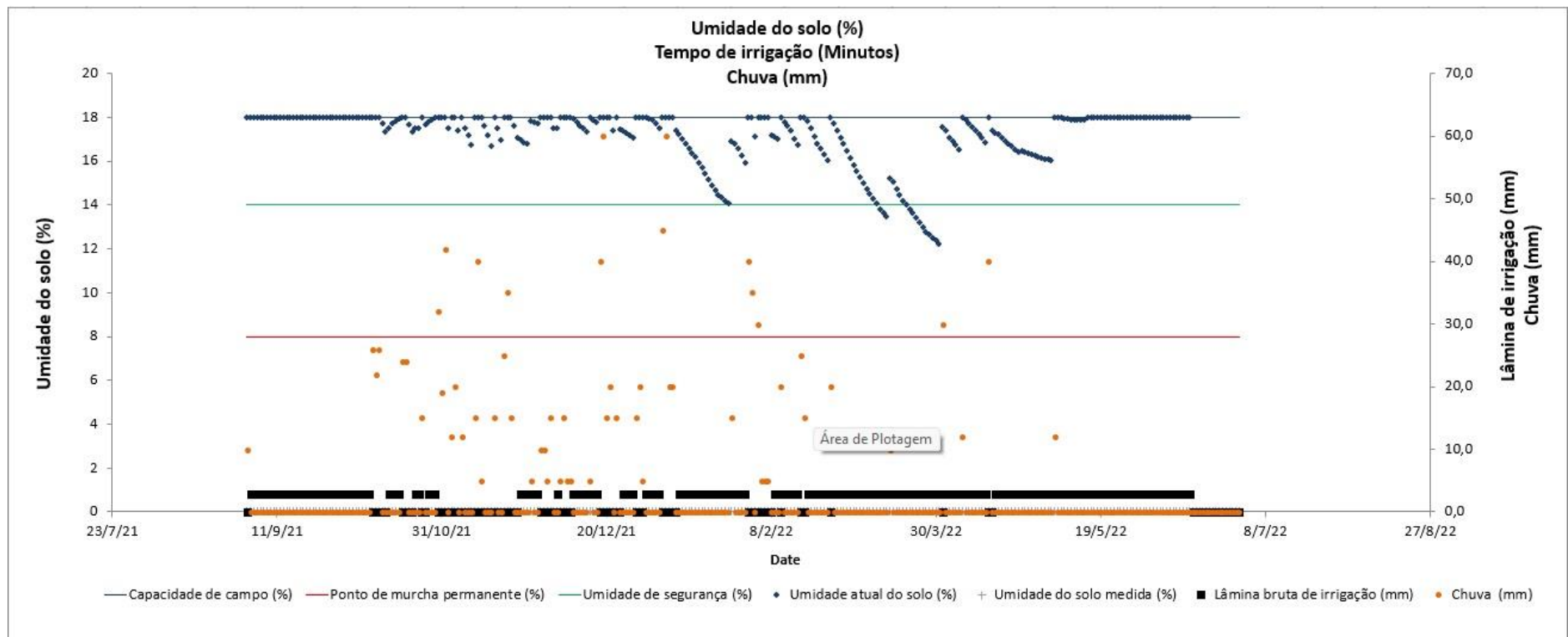


Fonte: Própria do autor (2022).

Observa-se que, após o início do manejo, a umidade do solo permaneceu sempre acima do ponto de murcha permanente, e na maioria das vezes próxima a capacidade de campo. Pode-se ver também como o período avaliado foi de chuvas constantes, mas nos intervalos de uma chuva e outra, sempre era necessário realizar a irrigação para que não houvesse grande decréscimo da umidade do solo, porém, na parte inicial do manejo as irrigações efetuadas não foram suficientes para manter a umidade do solo

a cima da umidade de segurança, sendo essa estabilizada após as primeiras chuvas.

Figura 5 – Gráfico de umidade do solo (%), tempo de irrigação (min) e chuva (mm), com planilha, sem planilha.



Fonte: Própria do autor (2022).

Na área sem o manejo, observa-se maior número de irrigações realizadas no período experimental. As irrigações possuíam tempo fixo de 2 horas, diariamente. Nos meses de janeiro a março, período mais quente, houve decréscimo da umidade do solo, atingindo valores de umidade do solo abaixo da umidade de segurança. Isso promoveu estresse hídrico nas plantas levando a queda de chumbinhos de café e interferindo diretamente na granação dos grãos de café, fazendo com que ocorresse menor rendimento de peso na saca de café beneficiado.

Na tabela 2 são apresentados o tempo irrigado e a quantidade de água utilizada nos tratamentos.

Tabela 2: Água utilizada com planilha (CP) e sem planilha (SP) de irrigação.

	Tempo irrigado (h).	Total de água utilizada (L).	Total de água por planta (L).
CP	32 2,8	5.810.400	1.162,08
SP	38 0	6.840.000	1.368

Fonte: Própria do autor (2022).

Com o uso do manejos, a quantidade de água aplicada na área foi inferior à área sem o uso do manejo. Foram calculadas a quantidade de água total utilizadas em cada área e também a quantidade de água por planta. A quantidade calculada de água em propriedades que dependem de motobomba para irrigar irá impactar no consumo de energia, aumentando assim o custo da irrigação.

Na área com manejo foram utilizados cerca de 15% menos água do que na área sem manejo, isso ocorreu devido que o produtor irrigava de acordo com seus critérios, sem técnica ou auxílio de qualquer método para que a mesma fosse realizada, Na área em que foi utilizada a planilha, foi fornecido água na quantidade e no momento correto, evitando perda e excesso de água aplicada.

Como consequência, houve irrigação feita sem critérios, perda de produtividade e também o gasto elevado de quantidade de água e também no acréscimo de energia utilizada para mover a água do reservatório até a área de irrigação.

Na Tabela 3 são apresentados dados de eletricidade consumida na área com manejo da planilha e sem o manejo da planilha.

Tabela 3: Eletricidade utilizada com planilha (CP) e sem planilha (SP) de irrigação.

Mês	Eletricidade consumida CP (kWh)	Eletricidade consumida SP (kWh)	Eletricidade total consumida (kWh)
Setembro	176	616	792
Outubro	66	198	264
Novembro	0	0	0
Dezembro	0	0	0
Janeiro	572	550	1122
Fevereiro	385	352	737
Março	1027	660	1687
Abril	669	616	1285
Mai	513	660	1173
Junho	110	330	440
Total	3518	3982	7500
Total (R\$)	801,71	907,45	1.709,16

Fonte: Própria do autor (2022).

Avaliando-se a quantidade de energia consumida pela moto-bomba, tendo o valor do kWh calculado em R\$ 0,227892 devido à tarifa de energia verde, para movimentar água do reservatório até a área irrigada, pode-se observar os meses em que foram necessários maior número de irrigações, e também o consumo de eletricidade por cada manejo, onde podemos observar que na área com manejo utilizou-se cerca de 12% a menos de energia que na área sem manejo. Isso e equivale a aproximadamente R\$ 106,00 de diferença.

Vale lembrar que o método de manejo fazendo uso da planilha eletrônica apresentada neste estudo ainda é recente, e a mesma está em constante atualização e aprimoramento, para buscar cálculos mais assertivos.

Mendes et al. (2015) também verificaram uma redução nos custos com eletricidade para irrigação ao utilizar uma metodologia análoga (web ECCI) à planilha eletrônica.

4 CONCLUSÃO

Houve diferença significativa de produtividade entre as áreas de manejo de irrigação com planilha e sem planilha, tendo em vista a produtividade da área com manejo em 170 sacas por hectare com um consumo de eletricidade de 3518 kWh equivalente a R\$ 801,75. Já na área sem manejo a produtividade foi de 120 sacas por hectare com um consumo de eletricidade de 3982 kWh equivalente a R\$ 907,45.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Planilha Eletrônica para a Programação da Irrigação de Culturas Anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2001. 14p. Circular Técnica, 10.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. de; GUIMARAES, D. P.; LANDAU, E. C.; COELHO, E. A.; FARIA, C. M. de. **Aplicativo computacional "Irrigafácil" versão 2.1 implementado via web para o manejo de irrigação de algumas culturas anuais no Brasil**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2014. 4 p.
- ALLEN, R. G; PEREIRA, L. S; RAES, D; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/290988983_Crop_evapotranspiration_guidelines_for_computing_crop_requirements_FAO_Irrig_Drain_Report_modeling_and_application. Acesso em: 24 nov. 2021.
- BARRETO, A.N.; FACIOLI, G.G.; SILVA, A.A. Operação e o manje dos sistemas de irrigação. In: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental x sustentabilidade**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. cap.5, p.173-204.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D. da; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV. 9 Ed. 2019. 545 p.
- COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água**. Bahia Agrícola, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, DF, v.8 safra 2020/21, n. 3, setembro 2021.
- COSTA, M. B. da. **Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (Coffea canephora L.) e na cultura do mamoeiro (Carica papaya L.) no município de Pinheiros – ES**. Tese (Doutorado em Agronomia). Piracicaba: ESALQ, 2006. 88 p.
- CUNHA, T. C.; RABELO, J. L. R.; WENDLAND, E. **Monitoramento de lisímetro volumétrico para validação de estimativas de evapotranspiração**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 2003, Curitiba-PR. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2003.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Tradução de: GHEYI, H.R. METRI, J.E. C; DAMASCENO, F.A. V. **Necessidade hídricas das culturas**. Campina Grande: UFPB. 1997. 204 p.
- GASPAR SCHWAN, M.; STEILL DE OLIVEIRA, P. H.; AMARAL VALLIM COSTA, G. M.; QUEIROZ DE OLIVEIRA, A. .; ROSA PEREIRA, L.; FIALHO DOS REIS, E. **YIELD OF CONILON COFFEE UNDER DIFFERENT IRRIGATION**

MANAGEMENTS. **IRRIGA**, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 704–712, 2020. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n4p704-712. Acesso em: 24 nov. 2021.

GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; SANZONOWICZ, C. Manejo de irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In: ZAMBOLIM, L. In: **Boas práticas agrícolas na produção do café**. Viçosa, MG. Editora UFV, 2006.

IBGE (Brasília). **Censo Agropecuário 2017**. Café - Grão Verde Canephora.

LIMA, R. A. de S. **Aplicativo para o manejo de irrigação e indicadores de déficit hídrico em videira**. 2019. 74 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ.

LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORÁ, J. E.; ZANINI J. R.; MIRANDA, H. A. **Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, p.89-100, 2004.

LOPES, M. P.; SOARES, L. T. M.; ALMEIDA, A. O. **Desenvolvimento de aplicativo móvel para gestão e controle de sistemas de irrigação**. In: Anais... Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2017, Hangar Convenções e Feiras da Amazônia - Belém – PA. p. 1-5, 2017.

MARCOLAN, A. L.; SPÍNDULA, M. C. **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Cap. 15. 474 p.

MATIELLO, J. B.; OLIVEIRA, E. G.; SIQUEIRA, J. H. **Rendimento de frutos verdes e maduros de cafeeiros Conillon nas diversas fases do preparo pós colheita**. 2007.

MENDES, A.C.P.; DIAS, P.B.; DOS SANTOS, R.M.; VICENTE, M.R.; LEITE, C.V. **Ferramenta Web para Estimativa do Consumo e Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Irrigação**. In: III INOVAGRI International Meeting. Fortaleza – SC, 2015.

MELO, D. P.; VIEIRA, G. H. S.; MIRANDA, L. Q.; REDIGHIERI, T. **Aplicativo web para cálculo de balanço hídrico no manejo da irrigação**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 11, n. 2, p. 1302 - 1309, 2017.

NASCIMENTO, P. S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. S. **Planilha eletrônica para auxílio à tomada de decisão em manejo de irrigação**. Irriga, v. 17, n. 1, p. 1-15, 2012.

OLIVEIRA, M. A. A; CARVALHO, F.D. **Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (zea mays l.) em Seropédica e Campos, estado do Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.2, p.132-135, 1998.

OLIVEIRA, R. M.; REIS, R. A.; SILVA, R. P.; OLIVEIRA, G. O. N.; REIS, I. M. C. PROMAI - **Programa para Manejo da Irrigação**. In: Anais... X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória – ES. p. 1-6. 2019.

PEREIRA, A. R; ANGELOCCI, L. R; SENTELLHAS, P. C. **Agrometeorologia (fundamentos e aplicações práticas)**. Livraria e editora agropecuária. Guaíba, RS. 2002. 478 p.

PEZZOPANE, J.R.M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. **Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo**. Revista Ciência Agronômica, v. 41, p. 341-348, 2010.

SANTOS, M; MAIA, J. **Calibração da ETo estimada pelo método de Hargreaves e tina evaporimétrica classe A**. Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Quinta da Saúde Apartado, 2006.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. DE S.; CARMO, F. F.; LÊDO, E. R. F.; SILVA FILHO, J. A. **Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Hargreaves-Samani no estado do Ceará**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 9, n. 2, p. 132-141, 2015.