

IRRIGAÇÃO EM CAFÉ CONILON: ANÁLISE DA TENSIOMETRIA REMOTA NO MANEJO HÍDRICO NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Irrigation in conilon coffee: analysis of remote tensiometry in water management in the north of Espírito Santo

Riego en café conilon: análisis de la tensiometría remota en el manejo hídrico em el norte de Espírito Santo

DOI: 10.23900/artefactum.v25i1.2536

Submitted on: 1.19.2026

Accepted on: 2.12.2026

Published on: 2.20.2026

André Cayô Cavalcanti

Doutor em Zootecnia

E-mail: andrecavalcanti@professor.multivix.edu.br

Emanoel Chequetto

Graduado em Engenharia Agrônômica

E-mail: emmanuel.chequetto@gmail.com

Edion Maiquel Dubberstein

Graduado em Engenharia Agrônômica

E-mail: edionmd@gmail.com

Jean Carlos Gava

Graduado em Engenharia Agrônômica

E-mail: jean_otep@hotmail.com

Wanderson Alves Ferreira

Graduando em Agronomia

E-mail: wandersonc3ko@gmail.com

Bruno Silva Emerick

Doutor em Engenharia e Ciências Térmicas

E-mail: brunosemerick@gmail.com

RESUMO

A produção de café conilon é uma atividade de fundamental importância socioeconômica no Espírito Santo. A região norte é impactada fortemente por variações climáticas e períodos de seca. Portanto, o manejo eficiente da irrigação torna-se essencial para garantir produtividade e sustentabilidade. Embora haja avanços tecnológicos, existem obstáculos à adoção de sistemas automatizados de irrigação. O estudo avaliou a eficiência do manejo de irrigação baseado em tensiometria remota em uma lavoura de café conilon localizada em São Mateus-ES. A metodologia envolveu o monitoramento diário da lâmina bruta de irrigação aplicada via rádio pelo sistema da empresa 3Dr Agro Systems comparando a

lâmina bruta demandada, sendo calculada com base na evapotranspiração de referência (ET_o), obtida via dados da estação agroclimatológica localizada no município, e coeficiente de cultura (K_c) já predefinido em 0,8. Os dados foram analisados estatisticamente comparando as duas lâminas em todo o período e mensalmente. Foram encontrados medianas de 3,03 mm/dia para lâmina demandada e 3,05 mm/dia para aplicada para todo o período, além de 3,32 e 3,42 para janeiro, 3,46 e 3,67 para fevereiro, 2,95 e 3,05 para março 2,32 e 2,44 para abril. Os resultados demonstraram forte correlação entre as variáveis e ausência de diferença significativa, indicando precisão do sistema em atender à demanda hídrica da cultura, além da adaptação do sistema às variações climáticas sazonais. Conclui-se que a utilização da tensiometria remota constitui uma ferramenta promissora para o manejo racional da irrigação no café conilon, promovendo sustentabilidade hídrica e produtiva.

Palavras-chave: café conilon, irrigação, manejo eficiente, tecnologia remota, sustentabilidade.

ABSTRACT

The production of conilon coffee is an activity of fundamental socioeconomic importance in Espírito Santo. The northern region is strongly impacted by climate variations and periods of drought. Therefore, efficient irrigation management becomes essential to ensure productivity and sustainability. Although there are technological advances, there are obstacles to the adoption of automated irrigation systems. The study evaluated the efficiency of irrigation management based on remote tensiometry in a conilon coffee plantation located in São Mateus-ES. The methodology involved daily monitoring of the gross irrigation depth applied via radio by the system of the company 3Dr Agro Systems, comparing it with the gross demanded depth, which was calculated based on the reference evapotranspiration (ET_o), obtained via data from the agroclimatological station located in the municipality, and a crop coefficient (K_c) already predefined at 0,8. The data were statistically analyzed by comparing the two depths over the entire period and monthly. Medians of 3,03 mm/day for demanded depth and 3,05 mm/day for applied for the entire period were found, in addition to 3,32 and 3,42 for January, 3,46 and 3,67 for February, 2,95 and 3,05 for March 2,32 and 2,44 for April. The results showed a strong correlation between the variables and no significant difference, indicating the accuracy of the system in meeting the crop's water demand, as well as the adaptation of the system to seasonal climatic variations. It is concluded that the use of remote tensiometry constitutes a promising tool for the rational management of irrigation in conilon coffee, promoting water and productive sustainability.

Keywords: conilon coffee, irrigation, efficient management, remote technology, sustainability.

RESUMEN

La producción de café conilon es una actividad de fundamental importancia socioeconómica en Espírito Santo. La región norte está fuertemente impactada por variaciones climáticas y períodos de sequía. Por lo tanto, el manejo eficiente del riego se vuelve esencial para garantizar productividad y sostenibilidad. Aunque hay avances tecnológicos, existen obstáculos para la adopción de sistemas automatizados de riego. El estudio evaluó la eficiencia del manejo del riego basado en tensiometría remota en una plantación de café

conilon ubicada en São Mateus-ES. La metodología involucró el monitoreo diario de la lámina bruta de riego aplicada vía radio por el sistema de la empresa 3Dr Agro Systems, comparándola con la lámina bruta demandada, calculada con base en la evapotranspiración de referencia (ET_o), obtenida mediante datos de la estación agroclimatológica localizada en el municipio, y coeficiente de cultivo (K_c) ya predefinido en 0,8. Los datos fueron analizados estadísticamente comparando las dos láminas en todo el período y mensualmente. Se encontraron medianas de 3,03 mm/día para la lámina demandada y 3,05 mm/día para la aplicada para todo el período, además de 3,32 y 3,42 para enero, 3,46 y 3,67 para febrero, 2,95 y 3,05 para marzo 2,32 y 2,44 para abril. Los resultados demostraron una fuerte correlación entre las variables y ausencia de diferencia significativa, indicando la precisión del sistema para atender la demanda hídrica del cultivo, además de la adaptación del sistema a las variaciones climáticas estacionales. Se concluye que la utilización de la tensiometría remota constituye una herramienta promisorio para el manejo racional del riego en café conilon, promoviendo la sostenibilidad hídrica y productiva.

Palabras clave: café conilon, riego, manejo eficiente, tecnología remota, sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura de conilon exerceu papel fundamental no desenvolvimento do estado do Espírito Santo. Podemos destacar que representa aproximadamente 30% da renda rural, estando presente em 64 dos 78 municípios, sendo sua produção crucial para a criação de empregos e renda, auxiliando na manutenção do agricultor familiar no campo. Além disso, toda a cadeia produtiva, que engloba produção, agroindustrialização, insumos, distribuição e logística, emprega cerca de 400 mil trabalhadores, o que exprime ainda mais a relevância social e econômica do produto (Ferrão *et al.*, 2017).

A região norte do Espírito Santo sofre constantemente com períodos de estiagem. Quando as funções fisiológicas do café são comprometidas, isso reflete negativamente, resultando em menores produtividades (Rodrigues *et al.* 2015). Portanto, é imprescindível analisar a quantidade e determinar o momento da aplicação de água durante o cultivo do café, garantindo que as plantas não sofram estresse hídrico ou sobrecarga de água. Contudo, um dos desafios na irrigação do café é determinar corretamente a quantidade de água necessária durante os períodos críticos (Venturin, 2016).

Nas últimas décadas, houve uma importante revolução no setor da irrigação para café conilon, principalmente atrelada ao crédito rural que se ampliou consideravelmente. Desse modo, a irrigação é tão crucial para o cultivo do café que já o coloca entre as

principais culturas irrigadas do Brasil. Estudos iniciais sugerem que 10% da área de café no Brasil é irrigada, concentrada no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais, no oeste da Bahia, e no norte do Espírito Santo, com estimativa de cerca de 250 mil hectares (Fernandes, 2011).

A contemporaneidade do agronegócio brasileiro visa buscar o desenvolvimento por intermédio da pesquisa e inovação. Dentre esse incremento tecnológico, a implantação de sistemas de irrigação com a utilização da automação em cultivos tem sido empregada para atender às necessidades durante períodos de seca, além de aumentar a produtividade e a lucratividade dos agricultores, especialmente aqueles que cultivam em regiões com restrições de água, como é o caso do estado do Espírito Santo (Ferrari; Reis; Lima, 2020).

No Espírito Santo, podemos constatar uma forte expansão das áreas de café conilon em regiões com escassez de água, influenciando diretamente no aumento do uso da irrigação. Este aumento também segue impulsionado pela variabilidade climática notada nas áreas produtoras de café. Além disso, certas alterações nas temperaturas e na distribuição das precipitações tornam o clima mais seco em áreas que, antes, não apresentavam problemas relevantes de abastecimento de água para o cultivo (Ferrão *et al.*, 2017).

Entre as várias vantagens no uso da irrigação, destacam-se o crescimento expressivo da produtividade em comparação com a agricultura de sequeiro, a redução da demanda por novas áreas agrícolas, a otimização do uso do solo e de recursos, a ampliação e regularidade na disponibilidade de produtos agrícolas, o incentivo à instalação de agroindústrias e a redução de riscos climáticos. Apesar de ser o maior e mais ativo setor em relação a demanda por água, a irrigação ainda não possui um arcabouço de dados e informações suficientes (ANA, 2019).

Entretanto, a água para irrigação está envolta em um delicado debate devido a uma demanda crescente e extremamente desafiadora em termos de quantidade e qualidade, vinculada a fatores sociais, políticos, ambientais e econômicos. A utilização adequada pode resultar em um aumento na produtividade em plantações de café de pequeno, médio e grande porte, ao facilitar a disponibilidade dos nutrientes presentes no solo e no fornecimento de fertilizantes e defensivos necessários à cultura (Ferrão *et al.*, 2017).

Atualmente, em um mundo baseado na sustentabilidade, a utilização eficaz da água pelo irrigante requer conhecimento técnico e gestão de informações que possibilitem a

mensuração e tomada de decisões para administrar os processos de irrigação de maneira adequada, especialmente sob a perspectiva da sustentabilidade financeira. Assim, com o início do acesso à internet no campo, a tensiometria remota desponta como uma alternativa importante para o manejo de irrigação do café conilon. Contudo, neste cenário, surgem os desafios contemporâneos da pesquisa, inovação e avanço tecnológico. Portanto, é crucial respeitar essa perspectiva e adicioná-la a outros pontos de interesse, focando nos fatores e variáveis que realmente têm relevância no uso da água em lavouras irrigadas (Rodrigues *et al*, 2022).

O trabalho foi desenvolvido de modo a avaliar um sistema de irrigação por gotejamento em uma lavoura de café conilon no município de São Mateus, norte do estado do Espírito Santo, o qual utiliza o sistema de monitoramento remoto da empresa 3Dr Agro Systems em seu conjunto de irrigação através de aplicativo disponibilizado para celular. O foco foi o manejo da irrigação na cultura, avaliando se a quantidade de água determinada pelo sistema de monitoramento da tensiometria remota é adequada em relação a quantidade de água demandada pela evapotranspiração potencial da cultura obtida através da estação agrometeorológica localizada no município. Diante deste cenário, a questão que orientou este trabalho foi avaliar se adoção da tensiometria remota para o manejo da irrigação pode suprir as necessidades hídricas da lavoura de café conilon.

O estudo teve como principal objetivo verificar se a lavoura de café conilon manejada com o sistema de irrigação automatizado, com interface de monitoramento remoto da empresa 3Dr Agro Systems, atende de forma adequada às exigências hídricas da cultura, conforme os valores de evapotranspiração potencial estimados para a região. Quantificar a demanda de água utilizada no sistema de irrigação monitorado remotamente e a demanda em relação a quantidade de água requerida pela cultura do café conilon estimada pela evapotranspiração potencial da cultura calculadas para a região, no período de janeiro a março de 2025, e estimar a sua eficiência. Além destes, realizar um aprofundamento sobre o tema manejo de irrigação em café conilon; esclarecer sobre as especificidades das áreas irrigadas de café conilon manejadas remotamente; quantificar a necessidade hídrica determinada pelo sistema de monitoramento remoto; e comparar o volume de irrigação aplicado pelo sistema em relação ao determinado pela estação meteorológica do município.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CAFÉ CONILON

Como descrito pelo Centro de Comércio Café de Vitória (2024), ao final da década de 1920, o café robusta foi introduzido no Espírito Santo. As sementes foram plantadas na cidade de Cachoeiro de Itapemirim. A disponibilidade de recursos subsidiados e a tradição dos produtores de café deram origem a uma mobilização para que o IBC (Instituto Brasileiro do Café) financiasse plantações de café robusta. Essas sementes seguiram para antiga Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa (EAFST), sendo posteriormente transferidas para São Gabriel da Palha.

Para 2024, a estimativa da receita bruta dos cafés do Brasil é de R\$ 70,30 bilhões, posicionando-o na quarta colocação entre as principais plantações brasileiras. O café arábica é responsável por 72,9% da produção total de café no Brasil, enquanto o café canéfora (conilon) contribui com 27,1%. Minas Gerais lidera a produção de café, representando 52% da receita total do Brasil, enquanto o Espírito Santo contribui com 24,4% (Consórcio de Pesquisa Cafeeira, 2024).

Recentemente, como apontado por Souza (2017) o café conilon ganhou maior destaque devido à sua presença cada vez mais frequente em blends de café torrado e moído e, globalmente, houve um aumento do consumo de café solúvel e o surgimento de várias formas de consumo atraentes para as indústrias, devido à sua maior lucratividade. Isso se soma ao fato de ser uma espécie mais resistente, o que permite a produção de um produto economicamente mais vantajoso (Fonseca *et al.*, 2015).

Atualmente, essa importância se traduz em pelo menos 50 mil propriedades no Espírito Santo que mantém no café conilon sua principal atividade econômica (SEAG, 2024). Mensuravelmente, o conilon, representa para o Estado uma produção estimada para o ano 2024, de 9,96 milhões de sacas, com uma área de 262,98 mil hectares em produção, resultando em uma produtividade média estimada por hectare em 37,9 sacas (CONAB, 2024).

No município de São Mateus o café conilon responde por 52,75% das lavouras permanentes em relação à área plantada. Cultivado em cerca de 60% dos estabelecimentos rurais, figurando, em termos de renda e emprego de mão de obra, entre

as principais atividades agrícolas (PROATER, 2020). Para o ano de 2023, área de café conilon colhida foi de 12,5 mil hectares, com um rendimento médio de 2,4 mil quilos por hectares, o que representa 40 sacas beneficiadas por hectares, resultando em uma produção total de 500 mil sacas (IBGE, 2024).

Podemos destacar que na espécie *Coffea canephora* existem dois conjuntos genéticos distintos, conhecidos como Congolense e Guineano. O grupo Congolense, originária da África Central (República Centro-Africana, Congo e Camarões) engloba o cultivo de café conhecido como "Robusta". O grupo Guineano, originário do oeste africano (Guiné e Costa do Marfim) inclui o café do tipo "Kouillou", conhecido como conilon no Brasil, por causa da troca das letras "K" e "U" por "C" e "N" após a sua introdução no país pelo estado do Espírito Santo (Fazuoli, 1986; Ferrão *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2011; Venturin, 2016).

Em consonância com Matiello (1998) a espécie *Coffea canephora* Pierre, seção eucoffea, subseção erythrocoffea, é conhecida popularmente como café robusta, devido ao seu vigor (robustez) notável. O *Coffea canephora* é a segunda espécie mais cultivada do gênero em todo o mundo. No Brasil, é cultivada em áreas baixas, geralmente localizadas abaixo dos 500 metros de altitude, onde as temperaturas médias oscilam entre 22°C e 26°C, com o Espírito Santo se sobressaindo nessas condições (Ferrão *et al.*, 2007).

É válido destacar que em genótipos de *Coffea canephora*, os principais mecanismos fisiológicos de adaptação ao déficit hídrico incluem a eficácia na extração de água do solo, o controle estomático e a diminuição da área foliar para a continuidade da transpiração (Pinheiro *et al.*, 2004; Marraccini *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2013). Conforme afirma Silva *et al.* (2010), os genótipos com alta produção, quando expostos a um déficit hídrico, conseguem manter níveis adequados de água nas folhas, através da combinação entre o aprofundamento do sistema radicular e o incremento do controle estomático.

Ainda sobre a aptidão hídrica do café robusta, delimita-se que as áreas com déficit hídrico anual entre 150 e 200 mm são vistas como propícias para a produção, embora possam necessitar de irrigação ocasionais. Embora as áreas com déficit entre 200 e 400 mm, possam ser consideradas como aptas, nesta situação, é obrigatório que seja feita irrigação complementar. Em áreas com déficit de 400 mm, o cultivo de café robusta só será viável através do uso de irrigação (Santinato; Fernandes, A; Fernandes, D., 1996).

Diante disso, é importante ressaltar que a disponibilidade de água no solo tem um impacto direto sobre a cultura, pois, além de afetar fatores fisiológico das plantas, ela favorece, dentre outros, a absorção mais eficiente dos nutrientes presentes na solução do solo. Outro fator a ser levado em conta é o crescimento quantitativo e qualitativo do sistema radicular da planta, que pode resultar em uma menor ou maior habilidade da planta para lidar com uma redução na disponibilidade hídrica (Ferrão *et al.*, 2007).

Quanto à produtividade do café conilon é consenso entre vários autores, existir elevada produtividade e crescimento da planta, mesmo com lâminas de irrigação abaixo da evapotranspiração da cultura (ETc), permitindo assim um uso eficaz da água (Almeida *et al.*, 2019; Vicente *et al.*, 2017). Neste contexto, é importante e crucial determinar a estimativa da produtividade em áreas irrigadas, para definirmos a eficácia do uso da água, vinculando a produção de biomassa seca ou a produção comercial à quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pelo café conilon (Souza *et al.*, 2014).

2.2 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Historicamente, o primeiro sistema de irrigação mais evoluído a ser adotado no meio rural no Norte do Espírito Santo foi a irrigação por aspersão. Neste, vários fatores afetavam a eficácia dos sistemas, incluindo a qualidade do projeto, as manutenções corretivas e preventivas efetuadas, a topografia dos terrenos, entre outros. Segundo Marouelli (2011) a eficiência da irrigação por aspersão convencional fixa oscila entre 70 e 85%. Por se um método de gestão simples e de baixo custo, ainda é largamente usado em propriedades de pequeno e médio porte (Mantovani; Bernardo; Paloretti, 2013).

Como resposta as mudanças climáticas enfrentadas pela região, a ampla utilização deste sistema gerou diversos desafios, desde a concepção, implantação e operação do projeto (Ferrão *et al.*, 2017). Essa técnica assemelha-se à chuva, pois a água é despejada sobre as plantas e a superfície do solo em forma de gotas (Testezlaf, 2017). Contudo, foi necessário repensar o modelo de irrigação para que, além de garantir a expansão da área cafeeira, pudessemos utilizar de forma racional a água disponível.

Comumente nos deparamos com diversas situações de desperdício de água durante a irrigação. Ademais, essas circunstâncias, contribuem para aumentar os gastos de produção, resultando em custos ambientais devido à diminuição da disponibilidade e da

qualidade da água. Esta problemática está conduzindo diversos projetos de irrigação a uma condição de redução da sustentabilidade econômica e socioambiental (Marouelli *et al*, 2011).

Diante da apresentação deste panorama, descreve Ferrão *et al.* (2017), que o sistema de irrigação localizada é o que mais se adapta de maneira eficaz à cultura do café conilon. Este método de irrigação é fundamentado no conceito de distribuição "localizada" de água. Isto significa que a água é aplicada perto do sistema radicular das plantas, favorecendo um aproveitamento satisfatório. A irrigação localizada é marcada pela utilização de volumes reduzidos de água com uma frequência de aplicação elevada, visando-se manter a umidade do solo no limiar da capacidade de campo, destacando-se que apenas uma parte da superfície do solo recebe água (Biscaro, 2014; Testezlaf, 2017).

No estado do Espírito Santo, os sistemas de irrigação localizada mais utilizados comercialmente incluem gotejamento, microspray e microaspersão (Ferrão *et al.*, 2017). Podemos dividir a irrigação localizada em dois principais sistemas: irrigação por gotejamento refere-se aos sistemas onde a aplicação de água e produtos químicos é feita em gotas por um ponto específico, conhecido como gotejador, onde emissores funcionam sob pressões que oscilam entre 50 e 200 kPa, com fluxos variando de 0,5 a 12 L/h; e a irrigação por microaspersão é o método que se distingue pela aplicação de água em uma parte do volume de solo utilizado pelas raízes das plantas, de maneira circular ou contínua, através de microaspersores, que são aspersores de dimensões reduzidas, podendo ser rotativos ou fixo e possibilitam a implantação em regiões com topografia irregular e, normalmente, neste sistema as pressões oscilam entre 100 e 300 kPa, com fluxos variando de 30 a 200 L/h (Testezlaf, 2017).

Podemos elencar importantes vantagens deste sistema que são maior eficiência no uso da água, redução do custo com eletricidade, obtém-se maior produtividade em virtude da menor oscilação da quantidade de água no solo. Esse sistema traz ainda maior eficiência na adubação, permitindo uma fertirrigação direcionada na rizosfera. Além disso, atua de forma importante na redução de problemas fitossanitários já que não molha a parte aérea da planta. Outro ponto relevante para se destacar, em especial na cultura do café conilon, é que as plantas daninhas não são irrigadas entre as fileiras, evitando assim a sua proliferação e resultado em redução no uso de capinas, seja manual ou química. Por fim,

existe enorme economia de mão de obra, pelo arranjo fixo dos equipamentos, quando comparados a outros sistemas de irrigação (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006).

Todavia, este sistema possui algumas desvantagens que necessitamos considerar. Entre elas, podemos citar o elevado custo inicial de implantação, o entupimento dos emissores devido ao orifício de pequeno diâmetro, a necessidade de um sistema de filtragem rigorosamente dimensionado e eficiente, exigindo comprometimento em uma manutenção rigorosa. Outra condição relevante sobre o entupimento dos emissores é que este pode estar relacionado a partículas físicas presentes na água, precipitados como ferro e desenvolvimento de microrganismos. Para este caso, o ideal é a construção de um tanque de decantação para que as partículas dissolvidas na água possam sedimentar no fundo do tanque. Após este processo, devemos adicionar filtros eficientes para garantir uma ótima filtragem da água (SENAR, 2019; Mantovani; Bernardo; Palaretti, 2007).

Os sistemas de irrigação localizados possuem maior facilidade para automação, visto que não possuem partes móveis, são confiáveis quanto a montagem, vida útil e tendem a ter maior eficiência na utilização da água. Diante disso, com advento da internet das coisas (IoT), do inglês *Internet of Things*, e todos os seus inegáveis benefícios, pode contribuir e muito para administração inteligente do recurso tão importante como a água (Kamienski; Visoli, 2018).

2.3 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

A utilização da irrigação tem se mostrado uma estratégia crucial para aprimorar a produção alimentar global, pois tende a promover o desenvolvimento sustentável no campo, gerando empregos e renda de maneira constante (Ferrão *et al.*, 2017). Neste cenário, Mantovani, Bernardo e Palaretti (2013) demonstram a relevância da utilização de irrigação ao apontarem que 17% da área destinada à produção de alimentos é irrigada, representando 40% da produção alimentar. Suas estimativas apontam que 5% das terras cultivadas no Brasil são irrigadas, contribuindo para 16% da produção alimentar e para 35% do valor econômico gerado pela produção.

Antigamente, em uma visão simplista, a irrigação era um método de aplicação de água voltado principalmente para o combate à seca. Atualmente, no contexto do agronegócio, a irrigação está inserida em uma concepção mais abrangente de agricultura

irrigada. Trata-se de uma técnica para incrementar a produção, a produtividade e a lucratividade na propriedade rural, de maneira sustentável, protegendo o meio ambiente e assegurando a permanência dos agricultores no campo por meio da criação de postos de trabalho permanentes e duradouros (Ferrão *et al.*, 2017).

No cenário contemporâneo, embora a agricultura irrigada seja frequentemente vinculada ao emprego de elevado grau de tecnologia, é consenso que no Brasil é realizada de maneira inapropriada, o que resulta em um grande desperdício de água (Mantovani; Bernardo; Palaretti, 2006; Marouelli; Silva; Silva, 2008). Diante disto, prevê-se que apenas 50% da água captada para irrigação seja eficazmente utilizada pelas plantas (Christofidis, 2004).

Assim, mesmo com os recentes avanços tecnológicos que se estenderam até o campo, a questão de quando irrigar e quanto irrigar demonstra-se um gargalo de alto poder de impacto para a produção do café conilon. Na visão de Rodrigues *et al.* (2022) necessitamos na agricultura irrigada de pesquisa e desenvolvimento passando pela automação, equipamentos de baixo consumo de energia, desenvolvimento de *softwares*, ferramentas de previsão climáticas, dentre outros, mas de forma acessível para adoção dos irrigantes.

A irrigação pode ser caracterizada como um processo artificial que determina a necessidade e quantidade de água a ser ofertada para a planta, levando em conta suas perdas por evapotranspiração, com a finalidade de atender às necessidades hídricas totais ou suplementares durante a ausência de precipitação. Portanto, adequar a irrigação para suprir estes déficits, conduz a lavoura a estabilizar altas produtividades, mantendo-se acima do nível de insuficiência da evapotranspiração da cultura, com o objetivo de aumentar a eficiência da irrigação (Ferreira, 2011; Geerts; Raes, 2009; Garcia, 2021).

Segundo Marouelli (2008) a falta de dados completos sobre parâmetros de gestão de irrigação são fortes indicativos da presença de lacunas nos resultados de pesquisas e da ausência de sistematização das informações disponíveis. Por outro lado, a utilização de sistemas inapropriados para o controle adequado da irrigação resulta de desinformação e/ou falta de capital para a compra e implementação de sistemas mais modernos e eficazes. A vivência prática também evidencia justamente que a falta de formação e capacitação dos técnicos e irrigantes, encarregados diretos da operação e manutenção dos sistemas de

irrigação, exerce uma grande influência na baixa eficiência de uso da água, especialmente em países e regiões com menor nível tecnológico.

De acordo com pesquisas de Pinheiro *et al.* (2017), tanto no Brasil quanto em outras nações produtoras de café, a seca é vista como o principal estresse abiótico que pode afetar o crescimento e a produção do cafeeiro. A evapotranspiração, a absorção de água pelas raízes, a disposição do sistema radicular, a dimensão do dossel e as velocidades de crescimento dos cultivos são afetadas pela seca. A redução na produção de café é resultado do déficit hídrico, uma vez que a disponibilidade de água é uma das principais restrições à eficácia econômica dos cultivos (Garcia, 2021).

No entanto, como apresentado por Furlan (2017), é possível inferir que o crescimento vegetativo do cafeeiro responde positivamente às lâminas utilizadas ao longo do crescimento da cultura. E que, ainda assim, a lâmina de reposição total da evapotranspiração de referência (ET_o) proporcionou um desenvolvimento da cultura superior até o término do período analisado.

Em relação ao balanço hídrico, a fim de medir a quantidade de água disponível no solo, existem instrumentos que monitoram o potencial matricial (Ψ_m) da água, como tensiômetros e blocos de resistência elétrica, são extremamente eficazes para determinar, de forma indireta, através da curva de retenção, a quantidade de água no solo. Instrumentos que medem diretamente a quantidade de água no solo, como a sonda de nêutrons e o TDR (Reflectometria de Domínio Temporal), possuem um custo mais elevado são mais complexos. O método gravimétrico, embora mais seguro e adotado como padrão, é trabalhoso e demanda um tempo de resposta extenso (Albuquerque, 2010).

Na procura por assertividade, com propósito de quantificar o consumo de água de maneira mais realista, é necessário aprimorar as técnicas já existentes, em busca de métodos mais ágeis, simples e exatos. Por essa razão, vários métodos têm sido criados e experimentados para determinar diretamente a quantidade de água consumida pelas plantas (Almeida, 2012). Assim, a análise da transpiração é crucial, pois a planta sofre influência de fatores climáticos, da disponibilidade de água no solo, da sua estrutura física, de atributos morfológicos para a resposta fisiológica que regula a sua evapotranspiração.

Em geral, cada variedade espécie vegetal tem suas próprias necessidades em relação às flutuações de temperatura, necessitando de um intervalo ideal onde o crescimento e o desenvolvimento acontecem normalmente. Esta faixa está inserida em uma

maior, conhecida como faixa de tolerância, cujos limites superior e inferior são considerados críticos. Quando a temperatura do ar excede o limite de tolerância, as funções fisiológicas começam a ser lesadas (Pantoja; Ziviani; Medeiros, 2024).

A evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente da cultura (Kc) são comumente utilizados para medir o consumo de água nas culturas irrigadas. Esta metodologia permite levar em conta as contribuições distintas da evaporação da água no solo e da transpiração da planta, dividindo o Kc em dois coeficientes distintos: Ke , que representa a evaporação da água do solo; e Kcb , que representa a transpiração da planta. Neste método, a ETo é determinada para uma cultura padrão e, em seguida, multiplicada por um coeficiente de cultura (Kc), resultando em uma estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) (Pereira *et al.*, 2015). Em conformidade com Bonomo (1999) este apresenta que em diversas regiões do mundo é determinado valores de coeficiente da cultura (Kc) para cafeeiros de 0,7 a 0,8, considerando que, normalmente, essas estimativas são feitas através de estudos hidrológicos baseados no comportamento da umidade do solo.

Conforme exposto por Kubota e Rosa (2023) a inteligência artificial (IA) pode ser aplicada às mais diversas áreas da atividade humana. Porém, para o agronegócio, esbarra na falta de infraestrutura no campo, o que resulta em uma limitação a sua expansão. Como sustentado por Silva e Espejo (2020) a utilização no agronegócio da internet das coisas (IoT), está cada vez mais presente dentro de atividades de comercialização, logística, automação, dentre várias. Porém, dúvidas de como está estruturado a internet das coisas no meio rural são pertinentes. Em contraponto, mais especificamente para o ramo da irrigação, Kamienski e Visoli (2018) destacam que a internet das coisas auxilia fortemente no uso sustentável da água, através de plataformas inteligentes de gerenciamento, uma vez que ela traz a integração da análise focado em um amplo banco de dados.

3 METODOLOGIA

Na elaboração deste trabalho, recorreremos a uma ampla pesquisa bibliográfica a fim de atingirmos um aprofundamento sobre autores que discorreram sobre os temas importantes relacionados a nossa premissa. Na perspectiva de Sousa, Oliveira e Alves (2021), ela destina-se a esclarecer e resolver uma questão no estudo de um determinado fenômeno, baseando-se em livros, artigos científicos, dissertações, revistas, teses, e tantos

outros tipos de fontes disponíveis já publicadas. Ainda para os autores, ela está predominantemente presente no ambiente acadêmico e visa aprimorar e atualizar o saber, por meio da análise científica de trabalhos já publicados.

Fonseca (2002) argumenta que como forma de alcançarmos dados, estabelecemos uma pesquisa quantitativa, caracterizada em considerar parcela das populações, tendo amostras grandes e representativas de uma população e estes resultados são interpretados como se constituíssem uma representação fiel de toda a população em estudo. Ela foca na objetividade e acredita que o entendimento da realidade é amparado baseando-se na interpretação de dados brutos obtidos por instrumentos uniformizados e imparciais, recorrendo à linguagem matemática para explicar as origens de um fenômeno, relações entre variáveis, entre outros aspectos. A combinação de pesquisa qualitativa e quantitativa possibilita a coleta de mais informações do que seria possível obter de forma independente.

Como objeto deste estudo, utilizamos uma lavoura de café conilon, localizada nas coordenadas geográficas 18°49'19.60"S e 40°20'8.76"O, com altitude de 165 metros e 16% de declividade, endereço Córrego da Lama, município de São Mateus, Espírito Santo. Para a implantação deste cultivo, foi realizado a análise química de solo de 0 a 20 cm a fim de determinar a calagem e a adubação para as covas. O plantio foi realizado em novembro de 2023, com espaçamento 2,50 m x 0,60 m e ocupa uma área 0,36 ha e textura do solo classificada como argilosa.

O sistema de irrigação instalado foi o gotejamento, com espaçamento dos emissores de 30 em 30 cm, possuindo vazão de 2,2 L/h, setor único de 2,4 mil plantas, empregando motobomba de 15 cavalos de potência, operada com sistema automatizado da fabricante *Smartline*. Para o monitoramento da irrigação, há instalada a estação via rádio da empresa *3Dr Agro Systems*, efetuando leituras a cada dois minutos, resultantes de dois tensiômetros instalados nas profundidades de 20 e 40 cm. Baseado na análise física de solo, interpretação da curva de retenção de água do solo (CRAS) e análise granulométrica fornecida pela empresa, há o indicativo, via aplicativo de celular, do tempo do turno de rega em minutos.

Estes dados foram utilizados como fonte para determinar a lâmina bruta de água diária a ser aplicada. Além disso, foi utilizado formulário indicando tempo empregado em cada irrigação. Para determinação dos valores de evapotranspiração de referência (ET_o) foram extraídos da estação agrometeorológica localizada no município de São Mateus nas

coordenadas 18°40'34.44"S e 39°51'50.61"O. O ecoeficiente da cultura (K_c) utilizado padrão será de 0,8 baseado em Bonomo (1999).

Para o turno de rega e reposição da capacidade de campo foi estipulada a meta diária, com exceção dos dias que a precipitação atingisse 80% da lâmina bruta demandada. Para fins de balanço hídrico, toda a precipitação ocorrida no período foi coletada em um pluviômetro. A lâmina bruta demandada foi determinada seguindo uma adaptação da equação da EMBRAPA (2010) e Ferrão *et al* (2017):

$$LB = ((E_{To} \times K_c) / E_i) \times (P / F)$$

Em que:

LB = lâmina Bruta demandada, em mm/dia;

E_{To} = evapotranspiração de referência, em mm/dia;

K_c = coeficiente de cultura;

E_i = eficiência do sistema, em %;

P = área molhada pelos emissores, em m;

F = área ocupada pela cultura, em m.

A determinação do tempo de irrigação foi calculada seguindo a fórmula:

$$T_i = LB / q$$

Em que:

T_i = tempo de irrigação;

LB = lâmina Bruta demandada, em mm/dia;

q = Vazão por metro linear do sistema (L/h/m).

A fim de comparar as variações da lâmina bruta demandada e lâmina bruta aplicada entre os dois grupos, utilizou-se o teste não paramétrico de *Mann-Whitney*. O valor adotado para comparações entre as medianas foi considerado a significância de 5% ($p < 0,05$). A análise de correlação de *Spearman* foi utilizada para investigar a associação entre a variável resposta (lâmina bruta aplicada) e a variável explicativa (lâmina bruta demandada). As análises foram realizadas usando o *R Statistical Software* (v4.4.1).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A água é essencial para a existência das plantas, com funções cruciais nos processos fisiológicos. Para que o dióxido de carbono do ar seja fixado, as plantas devem

abrir seus estômatos, o que as deixa suscetíveis à evaporação da água através da transpiração. Assim, para prevenir a desidratação das folhas, é crucial que a água seja absorvida pelas raízes e realocada por toda a planta. Diferenças mínimas na absorção, no transporte e na perda de água para a atmosfera podem resultar em déficits hídricos, prejudicando vários processos fisiológicos. Portanto, manter o equilíbrio entre esses fluxos de água é um dos principais empecilhos fisiológicos enfrentados pelas plantas terrestres (Taiz *et al.*, 2017).

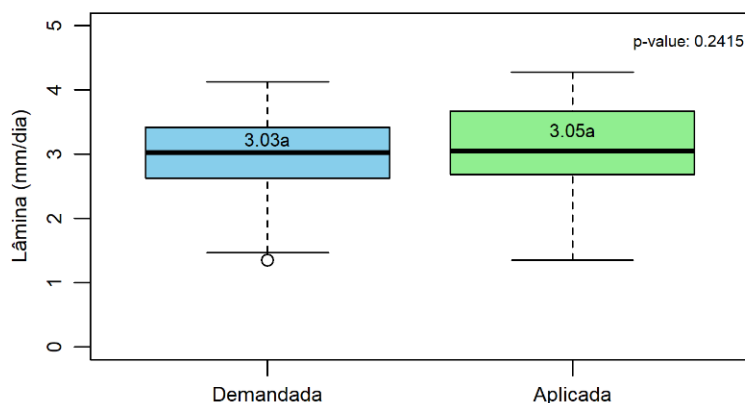
O Estado sofreu fortemente os impactos da seca ocorrida no Estado entre 2015 e 2016 com a redução da disponibilidade hídrica e altas temperaturas (INCAPER, 2016). Em análise da produção de conilon, do ano de 2014 para 2015 ocorreu uma redução de 22%, e de 2015 para 2016 registrou-se queda 35,1%, saindo de 10 para 5 milhões de sacas, respectivamente (CONAB, 2024). Isto reflete como a seca e altas temperaturas tem influência direta na produtividade das lavouras, sendo crucial quando discutirmos sustentabilidade para cadeia cafeeira.

O experimento foi executado durante 120 dias, entre 1º de janeiro a 30 de abril de 2025. Neste período, a ETo máxima registrada foi de 6,20 mm/dia e a mínima 2,03 mm/dia. Assim, a lâmina bruta demandada pela irrigação variou com máxima de 4,13 mm/dia e mínima de 1,35 mm/dia. Em contraponto, o sistema 3Dr. Agro Systems, recomendou uma lâmina bruta aplicada com variação máxima de 4,28 mm/dia e a mínima de 1,83 mm/dia. O tempo de irrigação necessário máximo foi de 33,83 minutos e o mínimo 11,08 minutos. Para o tempo de irrigação efetivo aplicou o máximo de 35 minutos e mínimo de 15 minutos.

Durante 29 dias não houve a necessidade de irrigação, com a precipitação registrada variando de 0,2 a 38,40 mm/dia. Importante destacar de durante o andamento de execução do experimento, especificamente entre final de janeiro e meados de fevereiro, a região norte do Estado enfrentou um veranico com altas temperaturas e reduzida precipitação, o que demandou mais do sistema de irrigação.

Os resultados apresentados comparando a lâmina bruta demandada versus aplicada revelam uma consistência entre os valores demandados e os efetivamente aplicados. O grupo demandado apresentou uma mediana de 3,03 mm, enquanto o grupo aplicada exibiu uma mediana ligeiramente superior, de 3,05 mm (Figura 1). Essa diferença entre as medianas sugere que, em termos centrais, os valores aplicados estão muito próximos dos valores demandados, indicando um bom grau de manejo.

Figura 1 – Comparativo lâmina bruta demandada x aplicada



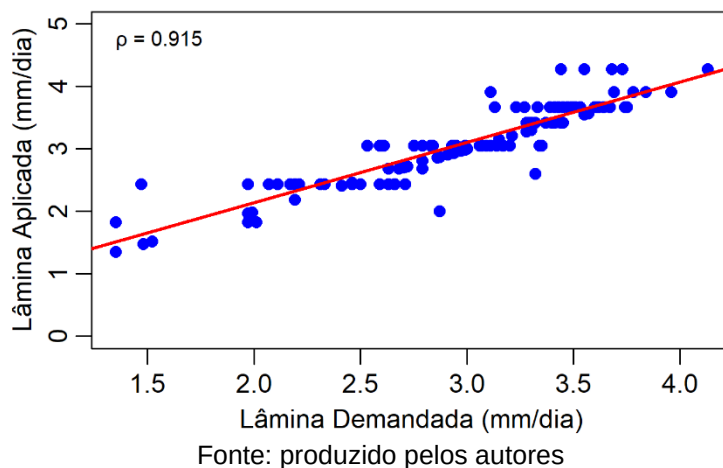
*Medianas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de *Mann-Whitney* à 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: produzido pelos autores

A dispersão dos dados observada na Figura 1, mostra uma variabilidade semelhante entre os dois grupos. Para a lâmina demandada, o intervalo interquartílico (IQR) estende-se aproximadamente de 2,63 a 3,42 mm. Em semelhança, a lâmina aplicada apresenta um IQR similar, com valores aproximados de 2,69 a 3,67. Essa consistência na distribuição dos dados indica que a variabilidade nas lâminas brutas, tanto demandadas quanto aplicadas, são comparáveis, indicando estabilidade no processo de aplicação.

Em uma análise final, o *p-value* elevado reforça a ausência de diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos, considerando um nível de significância de 5% (Figura 1). Esse resultado corrobora que, as lâminas brutas demandadas e aplicadas podem ser consideradas equivalentes, validando a eficácia do processo em atender às especificações solicitadas. Assim, os dados sugerem que o sistema avaliado opera com precisão admissível. Este resultado vai de encontro com o que asseguram Kamienski e Visoli (2018) quando afirma que a IoT pode contribuir para na administração dos recursos hídricos.

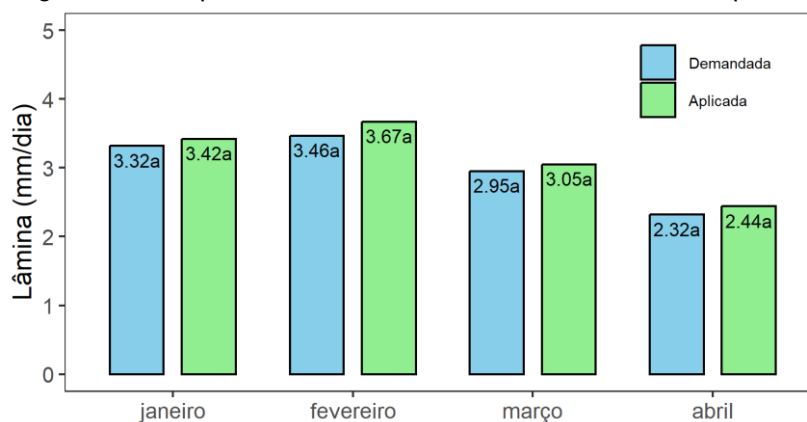
Figura 2 – Correlação lâmina bruta demandada x aplicada



A análise da correlação (Figura 2) entre a lâmina bruta demandada e aplicada revelou uma associação positiva muito forte ($\rho = 0,932$), indicando que, ao longo do período avaliado, o manejo de irrigação respondeu de forma consistente às variações das necessidades hídricas da lavoura de café conilon. Essa forte relação na uniformidade confirma que os volumes de água aplicados acompanharam proporcionalmente os volumes demandados, demonstrando sintonia entre o cálculo da evapotranspiração e a tomada de decisão na irrigação.

Embora foi observado certa dispersão nos dados, especialmente em valores mais baixos de lâmina demandada, há uma concentração dos pontos ao redor da linha de tendência, o que sugere um padrão relativamente uniforme de resposta do sistema de irrigação (Figura 2). Podemos atribuir essa dispersão a variabilidade do clima local, pois existe uma diferença a ser considerada na distância entre a área do experimento e a estação agrometeorológica. Além disso, houve, em uma oportunidade a necessidade de reinstalação do tensiômetro localizado na profundidade de 0,20 cm, para melhor aferição das leituras. Contudo, mesmo diante das dificuldades ponderadas, os resultados refletem um controle eficiente do manejo, em detrimento de possíveis variações climáticas e operacionais ocorridas ao longo do tempo.

Figura 3 – Comparativo mensal lâmina bruta demandada x aplicada



*Medianas seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de *Mann-Whitney* à 5% de significância ($p < 0,05$).

Fonte: produzido pelos autores

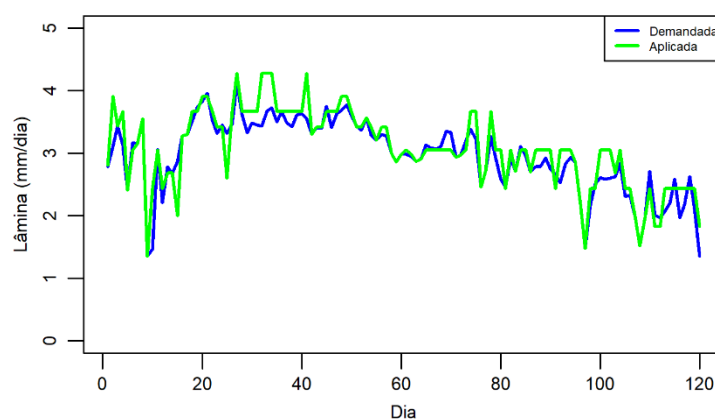
Em comparação mensal, a lâmina bruta de irrigação demandada e aplicada nos meses de janeiro a abril de 2025, observa-se que, em todos os meses avaliados, os valores das medianas das lâminas aplicadas foram ligeiramente superiores às demandadas (Figura 3). As menores diferença foram encontradas nos meses de janeiro e março, em que os valores ficaram em 0,10 mm/dia, com 3,32 mm/dia para a demandada e 3,42 mm/dia para aplicada e 2,95 mm/dia para a demandada e 3,05 mm/dia para aplicada, respectivamente. A maior diferença entre demanda e aplicação foi observada em fevereiro com lâmina demandada alcançou 3,46 mm/dia e a aplicada 3,67 mm/dia, representando diferença de 0,21 mm/dia.

Do ponto de vista estatístico, conforme analisado, as diferenças entre as medianas mensais de lâmina bruta demandada e aplicada não foram significativas ($p < 0,05$), segundo o teste de *Mann-Whitney*. Isso confirma que, embora existam variações nos valores absolutos, o comportamento geral da aplicação mensal das lâminas hídrica esteve em consonância com a demanda calculada para o sistema 3Dr. Agro Systems durante o período. Tal alinhamento é fundamental para a eficiência do uso da água na irrigação, evitando tanto déficits hídricos que possam comprometer o desenvolvimento da cultura quanto excessos que levem a perdas por percolação ou lixiviação de nutrientes.

Além disso, nota-se uma tendência decrescente nas lâminas ao longo dos meses, refletindo uma possível redução nas necessidades hídricas da cultura. Podemos mencionar abril, a menor lâmina demandada (2,32 mm/dia) e aplicada (2,44 mm/dia) é um indicativo de menor evapotranspiração da cultura. Assim, a adaptabilidade do manejo frente às

condições climáticas sazonais, como o aumento da umidade do solo com o avanço do período chuvoso, é crucial. Em consonância com Kamienski e Visoli (2018), a proximidade entre os valores, associada à ausência de diferença estatística, reforça o potencial do uso de tecnologias de monitoramento associadas a IoT para aprimorar o manejo da irrigação no cultivo do café conilon, promovendo sustentabilidade produtiva e uso racional dos recursos hídricos.

Figura 4 – Série temporal da lâmina bruta demandada x aplicada



Fonte: produzido pelos autores

Observa-se na série temporal ao longo do ciclo de 120 dias, que o comportamento diário das lâminas apresentou padrões semelhantes de variação, com a linha da lâmina aplicada acompanhando de perto a lâmina demandada. Os volumes mantiveram-se próximos, evidenciando uma boa correspondência entre a necessidade hídrica da cultura e a quantidade de água efetivamente fornecida via irrigação (Figura 4). Entretanto, ao longo da série, é possível notar oscilações importantes, particularmente nos primeiros 45 dias. É incisivo frisar, que a determinação do Kc de 0,80, como proposto por Bonomo (1999), foi uma alternativa interessante para contribuir para que os valores aplicados fossem próximos aos demandados.

Durante os meses de janeiro e fevereiro, período em que ocorreu um veranico na região do experimento, notou-se uma maior variabilidade na lâmina aplicada, com eventos de sobreposição e superação dos valores demandados. Esse comportamento pode ser atribuído à diferença na localização da estação meteorológica em relação a área experimental. Ainda assim, nos períodos subsequentes, o alinhamento entre as duas

curvas se intensifica, demonstrando um ajuste progressivo do manejo da irrigação às condições climáticas e à evolução da demanda da cultura.

5 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que o uso do sistema de monitoramento remoto da empresa 3Dr Agro Systems, para manejo da irrigação em lavoura de café conilon no município de São Mateus – ES, proporcionou resultados satisfatórios quanto à equivalência entre a lâmina bruta de água demandada pela ETo e a lâmina efetivamente aplicada pelo sistema. A análise estatística não identificou diferenças significativas entre os valores das medianas de ambos os grupos, tanto para o período de 120 dias (janeiro a abril de 2025), quanto para a análise mês a mês, indicando o atendimento às necessidades hídricas do café.

O alto índice de correlação robustece a consistência do sistema de monitoramento via rádio em responder de maneira proporcional às variações da demanda hídrica diária, mesmo diante de condições climáticas adversas como o veranico registrado durante parte do período analisado. Isso denota uma boa adaptabilidade do manejo às condições sazonais, aliada à automação proporcionada pela tecnologia de tensiometria remota, evidencia o potencial dessa abordagem para promover uma irrigação mais precisa em atender a demanda da cultura, além do uso racional e sustentável deste recurso.

Outro aspecto relevante é que, além de contribuir para a otimização do uso da água, o sistema analisado também apresenta potencial para minimizar os impactos ambientais, com a redução de desperdícios e na melhoria da eficiência operacional. Esta abordagem tecnológica se alinha às exigências de uma agricultura moderna, produtiva e ambientalmente responsável, particularmente pertinentes em situações de escassez hídrica, como o enfrentado por diversas vezes no Espírito Santo.

No decorrer do experimento, observou-se que a distância na localização entre a área da lavoura e a estação meteorológica utilizada para estimar a ETo pode ter contribuído para variações nas lâminas de irrigação, sobretudo nos primeiros 45 dias. Essa limitação enfatiza a necessidade de ampliar a rede de estações agrometeorológicas locais, com o objetivo de identificar com mais exatidão as alterações microclimáticas que impactam diretamente o manejo da irrigação. A incorporação de dados mais precisos, com leituras de pontos

próximos à lavoura, pode elevar a eficiência do manejo, permitindo respostas mais ajustadas às necessidades reais da cultura do café.

Portanto, conclui-se que o manejo da irrigação baseado na tensiometria remota pode suprir adequadamente as necessidades hídricas diárias da cultura do café conilon, representando uma alternativa promissora para agricultores que buscam eficiência e sustentabilidade na atividade cafeeira. No entanto, destaca-se a importância da capacitação contínua dos agricultores e assistência técnica especializada para garantir o pleno funcionamento das potencialidades dessa tecnologia no campo. Isso representa uma oportunidade de inovação e avanço tecnológico, com potencial de impulsionar a agricultura e a sustentabilidade na cafeicultura irrigada.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. de. **Estratégias de manejo de irrigação**: exemplos de cálculo. Circular técnica 136. EMBRAPA milho. Sete Lagoas, 2010. 25p.

ALMEIDA, C. A. B. de. **Transpiração em *coffea canéfora***: lisimetria, fluxo de seiva e balanço hídrico. Orientador: Antônio Celso Dantas Antonino. 2012. 112 F. Dissertação (Doutorado em em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Universidade Federal de Pernambuco. 2012.

ALMEIDA, C. M.; MENDONÇA, J. C.; SOUZA, G. A. R. de; GARCIA, A. D. B. **Efeitos de diferentes lâminas de irrigação no desenvolvimento do café conilon (*Coffea canephora*)**. Anais do X Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil, 10. Vitória: Embrapa café, 2019. 1-6p.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Coeficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada**. Atlas irrigação. Brasília: ANA, 2019. 29p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BISCARO, G. A. **Sistema de irrigação localizada**. Dourados: UFGD, 2014. 256p.

BONOMO, R. **Análise da cafeicultura irrigada em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. 1999. 224 F. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. 1999.

CCCV - Centro do Comércio do Café de Vitória. **O café**: O Conilon no Espírito Santo. Vitória, 24 set. 2024. Disponível em: <https://www.cccv.org.br/institucional/historia-cafe/>. Acesso em: 24 set. 2024.

CHRISTOFIDIS, D. **Como obter a sustentabilidade dos recursos hídricos na agricultura irrigada?** Irrigação & Tecnologia Moderna. V. 64. Brasília, 2004. 30-31p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café.** V.11, n. 3, terceiro levantamento. Brasília: CONAB, 2024. 58p.

Consórcio Brasileiro de Pesquisa Cafeeira. **Receita bruta dos Cafés do Brasil foi estimada em R\$ 70,30 bilhões e valor ocupa o quarto lugar no ranking das lavouras.** Brasília, 18 set. 2024. Disponível em <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/imprensa/noticias/1247>. Acesso em: 19 set. 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Irrigação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Sistemas de Produção, 5). ISSN 1807-0027. Disponível em: https://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/00075980.pdf. Acesso em: 30 maio 2025.

FAZUOLI, L. C. **Genética e melhoramento do cafeeiro.** In: Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, N.; Yamada, J. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro. Piracicaba, 1986. 87-113p.

FERNANDES, A. L. T. **Como uniformizar a florada do cafezal com uso da irrigação?** Parte 1. São Paulo, 11 mai. 2011. Disponível em <https://www.cafepoint.com.br/noticias/tecnicas-de-producao/como-uniformizar-a-florada-do-cafezal-com-uso-da-irrigacao-parte-1-71870n.aspx>. Acesso em: 15 set. 2024.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Café Conilon.** 1 ed. Vitória: INCAPER, 2007. 784p.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Café Conilon.** 2 ed. Atualizada e ampliada. Vitória: INCAPER, 2017. 784p.

FERRARI, H. de S.; REIS, P. G. dos S.; LIMA, T. F. de. **Sistema inteligente de irrigação para lavoura de café conilon com interface ao produtor.** Orientador: Marco Aurélio Vinchi. 2020. 26 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade São Judas Tadeu. 2020.

FERREIRA, V. M. **Irrigação e drenagem.** Floriano, PI: EDUFPI, 2011. 126p.

FONSECA, A. F. A.; SAKIYAMA, N. S.; BORÉM, A. **O café conilon: do plantio à colheita.** 1. ed. Viçosa: UFV, 2015. 161p.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza, UEC, 2002. 127p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=oB5x2SChpSEC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em 09 de set. 2024.

FURLAN, D. A. **Coeficiente de estresse hídrico utilizando termografia infravermelha: estudos em cafeeiro conilon (*Coffea canephora*)**. Orientador: Elias Fernandes de Sousa. 2017. 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2017.

GARCIA, A. da. B. **Estimativa dos níveis ótimos econômicos de irrigação do café conilon (*coffea canephora*)**. Orientador: José Carlos Mendonça. 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2021.

GEERTS, S; RAES, D. **Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry áreas**. Amsterdam, 04 set. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377409001243?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília, 15 set. 2024. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/sao-mateus/pesquisa/15/11863>. Acesso em: 15 set. 2024.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Estratégias de convivência com a estiagem e gestão dos recursos hídricos no Espírito Santo**. Revista Incaper, v. 6 e 7, n. 4, Vitória, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2538/1/BRT-incaperemrevista-2016.pdf>. Acesso em: 5 outubro. 2024.

KAMIENSKI, C.; VISOLI, M, C. **Swamp**: uma plataforma para irrigação de precisão baseada na Internet das Coisas. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191516/1/AP-Swamp.pdf>. Acesso em 25 set 2024.

KUBOTA, L. C.; ROSA, M. B. **Internet das coisas no brasil**: análise e recomendação de políticas com ênfase no agronegócio. Rio de Janeiro: Ipea, 2023. 45p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e práticas. Viçosa: UFV, 2006. 318p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e práticas. Viçosa: UFV, 2007. 358p.

MANTOVANI. E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed. Viçosa: UFV, 2013. 355p.

MARQUELLI, W. A.; OLIVEIRA, Á. S. de; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. de. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**: manejo da água de irrigação. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2011. 702p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de; SILVA, H. R. da. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2008. 150p.

MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G. S. C.; RAMOS, H. J. O.; ELBELT, S.; VIEIRA, N. G.; CARNEIRO, F. A.; SUJII, P. S.; ALEKCEVETCH, J. C.; SILVA, V. A.; DAMATTA, F. M.; FERRÃO, M. A. G.; LEROY, T.; POT, D.; VIEIRA, L. G. E.; SILVA, F. R.; ANDRADE, A. C. **Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora***. Journal of Experimental Botany, v.63, n.18, 2012. 4191-4212p.

MATIELLO, J. B. **Café conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFÉ/PNFC, 1998. 162p.

PANTOJA, P. H. B.; ZIVIANI, G. G. C.; MEDEIROS, T. T. B. de. **Atlas climatológico do Espírito Santo**. Vitória: INCAPER, 2024. 176 p.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. A.; SMITH, M.; RAES, D. **Crop evapotranspiration estimation with FAO 56: past and future**. Agricultural Water Management, vol 147. 2015. 4-20P.

PINHEIRO, A. A.; RIBEIRO, W. R.; GONÇALVES, M. S.; FERREIRA, D. S.; DOS REIS, E. F. **Comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração na cultura do cafeeiro conilon**. Anais do Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, CONIRD/INOVAGRI. Ceará, 2017. 1-6p.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; FONTES, E. P. B.; LOUREIRO, M. E. **Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought**. Plant Science, v.167, n.6, 2004. 1307-1314p.

PROATER - Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural - 2020-24, Incaper. Vitória, 2020. Disponível em https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Sao_Mateus.pdf. Acesso em: 16 ago. 2024.

RODRIGUES, L. N.; ALVES, M. E. B.; ZOBY, J. L. G.; BELÉM, F. C.; ITABORAHY, C. R.; AUGUSTO, V. A. **Uso eficiente de água na agricultura irrigada: bases para elaboração de estratégias e programas**. 1 ed. Brasília: ANA, 2022. 105p.

RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; REIS, E. F. dos; RIBEIRO, W. R.; GARCIA, G. de O. **Fração de água transpirável no solo no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon**. *Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 3, 2015. 337–345p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas, 1996.146p.

SEAG - Secretaria de Estado da Agricultura do Espírito Santo. **Colheita do café conilon começa em 2024 em todo o Estado capixaba**. Vitória, 14 mai. 2024. Disponível em <https://seag.es.gov.br/Not%C3%ADcia/colheita-do-cafe-conilon-comeca-em-2024-em-todo-o-estado-capixaba>. Acesso em: 19 set. 2024.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Irrigação:** gestão e manejo. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília: Senar, 2019. 84p.

SILVA, E. C.; ESPEJO, M. M. dos S. B. **Internet Of Things (IOT) no agronegócio:** Uma revisão bibliométrica sobre o campo de pesquisa. IV Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN). EDIÇÃO ONLINE, 2020. 20p.

SILVA, P. E. M.; CAVATTE, P. C.; MORAES, L. E.; MARTINS, S. C. V.; MEDINA E. F.; SANGLARD, L. M. V. P.; DaMATTA, F. M. **Variações nos padrões de alocação de biomassa em nove clones de *Coffea canephora* submetidos à deficiência hídrica.** In: VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2011, Araxá. Disponível em http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio7/298.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

SILVA, P. E. M.; CAVATTE, P. C.; MORAIS, L. E.; MEDINA, E. F.; DAMATTA, F. M. **The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance.** Environmental and Experimental Botany, v.87. 2013. 49-57p.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARÃES, B. L. S.; PAIVA, R. M.; SILVA, V. F.; FERRÃO, M. A. G.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. W. **Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.5. Brasília, 2010. 457-464p.

SOUSA, A. S. de; OLIVEIRA, G. S. de; ALVES, L. H. **A pesquisa bibliográfica:** princípios e fundamentos. Cadernos da Fucamp, v.20, n.43. Monte Carmelo, 2021. p.64-83.

SOUZA, J. M. de. **Caracterização do sistema radicular do cafeeiro Conilon sob irrigação localizada.** Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis. 2017. 74 f. Dissertação (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Do Espírito Santo. 2017.

SOUZA, J. M. de; BONOMO, R.; MAGIERO, M.; BONOMO, D. Z. **Interrupção da irrigação e maturação dos frutos de café Conilon.** Científica, v.42, n.2. Jaboticabal. 2014. 170-177p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2024. 858p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação:** métodos, sistemas e aplicações. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 2017. 209p.

VENTURIN, A. Z. **Coeficiente de estresse hídrico para o cafeeiro conilon baseado na determinação do fluxo de seiva.** Orientador: Elias Fernandes de Sousa. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2016.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; NEVES, J. C. L.; DELAZARI, F. T.; FIGUEREDO, E. M. **Efeitos da irrigação na produção e no**

desenvolvimento do cafeeiro na região oeste da Bahia. *Coffee Science*, v. 12, n. 4. Lavras, 2017. 544-551p.