

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – ICIAG

JORDHANNA MARILIA SILVA

Uso de rafia pode influenciar os parâmetros agronômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta espectral de cafeeiros?

Monte Carmelo – MG

2024

JORDHANNA MARILIA SILVA

Uso de rafia pode influenciar os parâmetros agrônômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta espectral de cafeeiros?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Gleice Aparecida de Assis

Coorientadores: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

Prof. Dr. George Deroco Martins

Monte Carmelo – MG

2024

JORDHANNA MARILIA SILVA

Uso de rafia pode influenciar os parâmetros agrônômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta espectral de cafeeiros?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola

Monte Carmelo, 01 de agosto de 2024

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Gleice Aparecida Assis – Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Fábio Janoni Carvalho – Instituto Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis – Universidade Federal de Uberlândia

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586
2024

Silva, Jordhanna Marília, 1998-
Uso de rafia pode influenciar os parâmetros
agronômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta
espectral de cafeeiros? [recurso eletrônico] / Jordhanna
Marília Silva. - 2024.

Orientadora: Gleice Aparecida de Assis.

Coorientador: Eusímio Felisbino Fraga Júnior.

Coorientador: George Deroco Martins.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Agricultura e Informações
Geoespaciais.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.558>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Assis, Gleice Aparecida de, 1986-,
(Orient.). II. Fraga Júnior, Eusímio Felisbino, 1986-,
(Coorient.). III. Martins, George Deroco, 1987-,
(Coorient.). IV. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais.
V. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações
 Geoespaciais
 Rodovia LMG 746, Km 01, s/nº, Bloco 1AMC, Sala 1A202, Monte Carmelo-MG, CEP 38.500-000
 Telefone: (34) 3810-1033 - ppgaig@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agricultura e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	01/08/2024	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:00
Matrícula do Discente:	32222AIG004				
Nome do Discente:	Jordhanna Marilia Silva				
Título do Trabalho:	Uso de rafia pode influenciar os parâmetros agronômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta espectral de cafeeiros?				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas Integrados de Produção Vegetal				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Tecnologias aplicadas à cafeicultura				

Reuniu-se na sala 202 do Bloco A, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais assim composta: Professores Doutores: Gleice Aparecida de Assis - ICIAG/UFU, orientadora da candidata Jordhanna Marilia Silva; Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis - IG/UFU, Fábio Janoni Carvalho - IFTM-Campus Uberlândia.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Gleice Aparecida de Assis, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada com louvor.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Gleice Aparecida de Assis, Presidente**, em 02/08/2024, às 10:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fábio Janoni Carvalho, Usuário Externo**, em 02/08/2024, às 10:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 02/08/2024, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5564071** e o código CRC **B9D9BCDD**.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, nunca me desamparar e sempre estar ao meu lado. Aos meus pais, Saulo e Edinamar por sempre me impulsionarem a conquistar os meus sonhos. A todos que estiveram ao meu lado e que contribuíram de forma direta ou indireta para essa grande conquista.

AGRADECIMENTOS

Esse momento da minha vida é muito especial e não poderia deixar de agradecer primeiramente a Deus por iluminar os meus caminhos me dando força, sabedoria e encorajamento, estando ao meu lado nos momentos felizes e tristes. A Nossa Senhora, a qual tantas vezes recorri em momentos difíceis, agradeço à vossa poderosa intercessão pelas graças recebidas.

Aos meus pais, Saulo e Edinamar, que são meus maiores exemplos de honestidade, persistência e determinação. Agradeço pela educação que me proporcionaram e pelo incentivo e apoio na conquista dos meus sonhos, sem vocês eu nada seria. As minhas irmãs Luna e Bruna, por tudo o que fazem por mim, pela amizade e companheirismo. Amo vocês!

Ao Markus, por todo amor e cuidado, agradeço por sua compreensão nos momentos de estudo e paciência nos momentos ausentes.

A minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Gleice Aparecida de Assis, que se tornou uma grande amiga, agradeço pela confiança depositada em mim, pelos ensinamentos, compreensão, conselhos, paciência, incentivo e atenção durante esse período. Enfatizo o apoio incondicional e a dedicação prestada para a execução desse trabalho.

Aos meus coorientadores Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior e Prof. Dr. George Deroco Martins, pela confiança, paciência, ensinamentos e por prontamente me ajudarem, sempre quando os procurei.

Ao Prof. Dr. Edson Aparecido dos Santos pela dedicação, ajuda e presteza em me auxiliar no enriquecimento desse trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia e a todos os professores e técnicos, agradeço por todo suporte durante a minha caminhada e pela elevada qualidade e excelência de ensino. Agradeço também pela disponibilização do espaço físico, equipamentos e materiais necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de mestrado e consolidação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais.

Ao Valdiney, técnico do laboratório de Topografia e Geodésia (LTGEO), agradeço por disponibilizar o seu tempo me instruindo no processo de mapeamento da área de estudo.

Agradeço de forma especial ao Núcleo de Estudos em Cafeicultura do Cerrado (NECACER) e todos os discentes colaboradores, que se empenharam em me ajudar na coleta

de dados: Ana Buck, Sanddy Caroline, Neidiele Martins, Bruno Cota, Maria Olívia, Pedro Paulo, Pedro Luca, Gabriel Querino, Lucas Gomes e Luana Castro.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais (PPGAIG), de modo especial, agradeço a Monara Nogueira e Laura Xavier, por toda paciência e generosidade em disponibilizar o seu tempo para me ajudar no processamento digital dos dados.

Ao cafeicultor Egídio Moniz, grande idealizador e incentivador dessa pesquisa, agradeço pela sua presteza e disponibilização da área para a realização do estudo. Aos funcionários, Everaldo e Cristina, que sempre nos receberam com tanto carinho na fazenda, agradeço também pela disponibilidade em me auxiliar na coleta de dados.

Agradeço a empresa Braskem pela parceria para a realização desse estudo.

Por fim, agradeço a todos meus demais familiares e amigos que, de forma direta ou indireta, torceram e colaboraram para a conquista desse sonho, minha eterna gratidão!

BIOGRAFIA

Jordhanna Marília Silva nasceu em Monte Carmelo – MG em 12 de janeiro de 1998, filha de Edinamar César da Silva e Saulo de Tarso Silva. Iniciou seus estudos aos seis anos de idade, na Escola Estadual Dona Sindá, localizada em sua cidade natal. Quando finalizou a 4ª série, continuou seus estudos na Escola Estadual Professor Vicente Lopes Perez, permanecendo até o término do Ensino Médio.

Devido a sua ambição em ser professora, desde criança, suas brincadeiras preferidas eram voltadas para atividades escolares. No ano de 2010, seu sonho estava apenas começando, ano esse marcado pela vinda da Universidade Federal de Uberlândia para Monte Carmelo. Devido a sua dedicação aos estudos, em 2014, conseguiu uma Bolsa de Iniciação Científica Júnior nessa Universidade, sob orientação do Prof. Dr. Ronaldo dos Santos, o qual a incentivou a seguir carreira acadêmica.

No 2º ano do Ensino Médio, começou a prestar vestibulares em diversas universidades do país para a aprovação no curso de Agronomia. Em 2016, foi aprovada iniciando seus estudos na Universidade Federal de Uberlândia - *Campus* Monte Carmelo.

Durante a graduação, no segundo período do curso, ingressou no Grupo de Pesquisa e Extensão em Recursos Naturais e Agrícolas – RENAGRI, auxiliando nas pesquisas voltadas para as áreas de análise por injeção em fluxo e bioindicadores de qualidade do solo. No 5º período, ingressou no Programa de Educação Tutorial – PET Agronomia, no qual desenvolveu atividades de ensino, pesquisa e extensão. Entre o 6º período, até o término do curso, participou do grupo em Física Aplicada a Qualidade do solo e da Água – QSOA, desenvolvendo pesquisas relacionadas às propriedades físicas do solo e o seu manejo.

Durante esse período, participou de estágios extracurriculares, onde atuou na consultoria a lavouras cafeeiras e em rotinas laboratoriais para análises de solo e água. Além disso, participou e auxiliou na organização de diversos eventos, realizou cursos de formação complementar e foi monitora em disciplinas do curso de Agronomia. No final da graduação, atuou como bolsista no projeto intitulado “Qualificação de egressos do curso de Agronomia por meio da residência agrícola na região do Cerrado Mineiro, Minas Gerais”, onde teve oportunidade de praticar o conhecimento adquirido, desenvolvendo habilidades necessárias ao exercício profissional. Em 2022, concluiu o curso de Agronomia com a decisão que almejava desde o início: ser professora universitária.

Assim, em agosto de 2022, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Monte Carmelo,

onde foi orientada pela Prof^a. Dr^a. Gleice Aparecida Assis, especialista na cultura do cafeeiro. Desenvolveu sua pesquisa com a rafia, uma cobertura de polipropileno disposta sob a linha do cafeeiro, verificando se imagens multiespectrais são sensíveis em captar alterações nos parâmetros agronômicos e na dinâmica da água no solo na cultura do cafeeiro. Ao término de dois anos, recebeu assim, em agosto de 2024, o tão sonhado título de “Mestre”.

RESUMO

SILVA, Jordhanna Marília. **Uso de rafia pode influenciar os parâmetros agronômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta espectral de cafeeiros?**. Orientadora: Gleice Aparecida de Assis. 2024. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2024.

O café apresenta grande importância para o agronegócio, sendo o Brasil o maior produtor mundial desta *commodity* e com intensa representatividade no mercado de cafés especiais. Vários fatores interferem na produtividade do cafeeiro e o uso de coberturas de solo sintéticas ou naturais, tem demonstrado resultados promissores. A rafia, cobertura plástica de polipropileno, tem por finalidade permitir melhor aeração e manutenção da umidade do solo, atuar como uma barreira física, mitigando processos erosivos e lixiviação dos nutrientes no solo, além de ser excelente opção para o manejo de plantas daninhas. Entretanto, ainda são inexistentes estudos que comprovem a eficácia do uso desse material como cobertura do solo e o seu efeito nos aspectos fitotécnicos na cultura do cafeeiro. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi verificar se o uso de rafia pode influenciar os parâmetros agronômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta espectral de cafeeiros. O experimento foi realizado no município de Araguari – MG, em delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco blocos e quatro tratamentos, sendo: duas faixas de rafia posicionadas juntas nos dois lados das plantas de café, duas faixas de rafia posicionadas dos dois lados das linhas de café e distantes em 0,5 m, duas faixas de rafia posicionadas dos dois lados das linhas de café e distantes em 0,7 m e o tratamento sem a rafia. Para atender a demanda hídrica da lavoura, foram aplicadas lâminas de irrigação para complementar a precipitação pluviométrica natural, por meio de um sistema de irrigação localizada por gotejamento. O monitoramento da dinâmica da água no solo foi realizado por meio de medidas tensiométricas tomadas diariamente. Os parâmetros agronômicos foram avaliados bimestralmente após a instalação da rafia e os dados de produtividade foram analisados ao longo de duas safras, nos anos de 2022 e 2023. Concomitantemente às avaliações agronômicas, dados radiométricos foram obtidos por meio do sensor CBERS 4A. A classificação supervisionada dos dados foi realizada por meio do algoritmo *Random Forest*, a fim de avaliar grupos de dados compostos de bandas espectrais, índices de vegetação e a combinação de bandas e índices. Com base nos resultados, verificou-se que o uso de rafia como cobertura de solo não proporciona incrementos na produtividade e nos parâmetros de crescimento do cafeeiro. Entretanto, a combinação de imagens

multiespectrais e índices de vegetação funcionam como complemento para as análises de campo, uma vez que são capazes de apresentar maior acurácia (exatidão global = 90%) em comparação à análise isolada de parâmetros agronômicos.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; polipropileno; classificação supervisionada; monitoramento remoto de baixo custo.

ABSTRACT

SILVA, Jordhanna Marilia. **Can the use of raffia influence agronomic parameters, soil water dynamics and the spectral response of coffee plants?**. Advisor: Gleice Aparecida de Assis. 2024. 45 f. Dissertation (Master's in Agriculture and Geospatial Information) – Federal University of Uberlândia, Monte Carmelo, 2024.

Coffee is of great importance to agribusiness, with Brazil being the world's largest producer of this commodity and having a strong presence in the specialty coffee market. Several factors affect coffee productivity, and the use of synthetic or natural ground covers has shown promising results. Raffia, a polypropylene plastic cover, is intended to allow better aeration and maintenance of soil moisture, act as a physical barrier mitigating erosion processes and leaching of nutrients in the soil, and is an excellent option for weed management. However, there are still no studies proving the effectiveness of using this material as ground cover and its effect on phytotechnical aspects in coffee crops. In this sense, the objective of this study was to verify whether the use of raffia can influence agronomic parameters, soil water dynamics, and the spectral response of coffee plants. The experiment was carried out in the municipality of Araguari, Minas Gerais, in a randomized block design with five blocks and four treatments: two strips of raffia placed together on both sides of the coffee plants; two strips of raffia placed on both sides of the coffee rows and 0.5 m apart; two strips of raffia placed on both sides of the coffee rows and 0.7 m apart; and the treatment without raffia. To meet the crop's water demand, irrigation sheets were applied to supplement natural rainfall through a localized drip irrigation system. Soil water dynamics were monitored through tensiometric measurements taken daily. The agronomic parameters were assessed bimonthly after the installation of the raffia, and the productivity data were analyzed over two harvests, in the years 2022 and 2023. Concomitantly with the agronomic assessments, radiometric data were obtained using the CBERS 4A sensor. Supervised classification of the data was performed using the Random Forest algorithm, in order to evaluate data groups composed of spectral bands, vegetation indices, and the combination of bands and indices. Based on the results, it was found that the use of raffia as ground cover does not provide increases in productivity and growth parameters of the coffee plant. However, the combination of multispectral images and vegetation indices works as a complement to field analyses, since they are capable of presenting greater accuracy (overall accuracy = 90%) compared to the isolated analysis of agronomic parameters.

Keywords: *Coffea arabica* L.; polypropylene; supervised classification; low-cost remote monitoring

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1 <i>Descrição da área experimental e tratamentos</i>	3
2.2 <i>Avaliações dos parâmetros agronômicos na cultura do cafeeiro</i>	7
2.3 <i>Avaliação da maturação, classificação física, produtividade e análise sensorial dos grãos de café</i>	8
2.4 <i>Caracterização do sistema de irrigação e monitoramento da dinâmica da água no solo</i> ...	9
2.5 <i>Análises estatísticas</i>	10
2.6 <i>Georreferenciamento da área de estudo, obtenção e processamento das imagens multiespectrais</i>	11
2.7 <i>Classificação supervisionada por Random Forest</i>	13
3 RESULTADOS	15
3.1 <i>Avaliações relativas às plantas de cafeeiro</i>	15
3.2 <i>Dinâmica da água no solo</i>	19
3.3 <i>Índices de vegetação e classificação supervisionada por Random Forest</i>	24
4 DISCUSSÃO	31
4.1 <i>Avaliações relativas às plantas de cafeeiro</i>	31
4.2 <i>Dinâmica da água no solo</i>	33
4.3 <i>Índices de vegetação e classificação supervisionada por Random Forest</i>	35
5 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira apresenta grande relevância na geração de trabalho, recursos e divisas, sendo bastante diversificada, com particularidades regionais. O Brasil é o maior exportador e produtor de café. Em 2023, o país apresentou aumento de 21,1% nas exportações e 8,4% no volume de café produzido (Organização Internacional do Café, 2023). Minas Gerais é o estado brasileiro que se destaca em área para o cultivo de cafeeiros, com aproximadamente 1,33 milhão de hectares, o que representa aproximadamente 60% da área no Brasil (Companhia Nacional de Abastecimento, 2022). Em Minas Gerais, a cidade de Araguari produz, em média, 24 mil toneladas de café arábica e está inserida em uma das principais regiões de café do Brasil (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022).

O cultivo de café, no Brasil, foi iniciado há centenas de anos, porém, recentemente, a cultura tem sido foco de investimentos maciços em tecnologias para melhoria de atributos de produção, qualidade e proteção ao ambiente. Nas fazendas, as principais inovações tecnológicas estão relacionadas ao uso de fertilizantes especiais, melhorias no manejo de plantas daninhas, máquinas, ferramentas do sensoriamento remoto para gestão da lavoura, cultivares com alto rendimento e tolerantes a patógenos, dentre outros (Santana *et al.*, 2021; Contreras-Medina, Camargo; Díaz-Nieto, 2022; Moda *et al.*, 2022).

As plantas de café apresentam crescimento inicial lento e são cultivadas, normalmente, em espaçamentos de 3,6 m entrelinhas e 0,5 m entre plantas no Cerrado Mineiro. Nesse sentido, as áreas são muito suscetíveis à ocorrência de plantas daninhas que podem promover até 43% de perdas em relação à produção da cultura (Fontes *et al.*, 2022). Outro ponto importante é que a maior exposição do solo está relacionada à deficiência de água para as plantas, grandes variações na temperatura, diminuição do teor de matéria orgânica, efeitos prejudiciais à microbiota do solo, aumento da densidade do solo e menor eficiência na absorção dos nutrientes pelas plantas (Martinez *et al.*, 2024). Nesse sentido, estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de se manter uma proteção no solo abaixo das plantas de café.

A cobertura do solo está relacionada à melhoria em atributos de qualidade e quantidade produzida e no controle de plantas daninhas em áreas de café (Castanheira *et al.*, 2019). Como exemplo, menciona-se o filme de polietileno, também conhecido como *mulching*. Tal material é uma alternativa para o cultivo de cafeeiros, visto que já foram relatados ganhos em produtividade e qualidade após a adoção da tecnologia em café e em outras culturas

(Nascimento *et al.*, 2020; El-Beltagi *et al.*, 2022). As coberturas de solo com material não vegetal têm como vantagem a permanência no solo durante o tempo que o agricultor julgar necessário. Além disso, o uso de coberturas tem sido cada vez mais utilizado para melhorar a dinâmica da água no solo, especialmente em regiões que enfrentam desafios hídricos, uma vez que o seu uso provoca um impacto positivo no regime de umidade do solo, reduzindo a evaporação e melhorando a infiltração e a retenção de água no solo (Liu *et al.*, 2014).

Outro material não vegetal, com potencial uso em áreas de café, é a rafia. Tal cobertura é formada por fibras de polímero termoplástico produzido a partir da polimerização de propileno ou propeno. O polipropileno apresenta boa resistência e permeabilidade. Sobre o solo, há relatos que a rafia não prejudica a infiltração de água e funciona como uma barreira física para proteção, promovendo diminuição das variações na temperatura e umidade, evitando efeitos erosivos e promovendo excelente controle de plantas daninhas (Zafar; Ansari; Husain, 2023). Em áreas de café no Brasil, não há estudos sobre o uso de rafia para melhoria dos atributos do solo e controle de plantas daninhas.

Outra inovação tecnológica, que vem sendo estudada em áreas produtoras de café no Brasil, é a utilização de ferramentas do sensoriamento remoto (SR) para gestão da lavoura. Os pesquisadores têm notado que há potencial uso dessas ferramentas para avaliação das plantas de café com relação a: biomassa, nutrição, ataque de pragas e doenças, interferência de plantas daninhas e falhas de plantio (Hunt *et al.*, 2020). As ferramentas do SR possibilitam a extração de informações por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais. Os sensores se relacionam com a radiação refletida pelos alvos, com isso, são coletadas informações da variabilidade espacial da área em função das respostas espectrais. De posse das informações, os agricultores têm dados precisos para tomadas de decisão e melhor gestão das áreas de campo. Adicionalmente, devido à precisão e acurácia dos dados, cria-se a possibilidade de adoção em larga escala, o que confere ganho em produtividade (Li *et al.*, 2014; Escobar-Lopez *et al.*, 2024).

As avaliações do comportamento biológico de plantas de café têm sido realizadas *in loco*. São avaliados atributos como: altura de plantas, número de ramos, área foliar, produtividade, rendimento, dentre outras. Tais avaliações são importantes do ponto de vista científico, porém, a inserção de ferramentas que permitam a avaliação de forma remota significa otimização de trabalho e inserção de sustentabilidade à produção cafeeira. A necessidade de análises espaciais das lavouras em larga escala é destacada devido à área cultivada com café no Brasil e ao grande número de propriedades. O país possui quase dois milhões de hectares

distribuídos em 300 mil estabelecimentos (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2017). Assim, a implementação de ferramentas do SR na produção cafeeira é importante para o futuro da atividade, especialmente diante do sucesso que essas ferramentas já apresentam em cultivos como cana-de-açúcar, soja e milho (Hunter; Daughtry, 2017). A inevitável digitalização das atividades agrícolas (Bolfe *et al.*, 2020) e as perspectivas negativas com relação às mudanças climáticas são fatores que impulsionam o uso do SR na cafeicultura, uma vez que as plantas de café são muito sensíveis às condições de deficiência hídrica e altas temperaturas (Pham *et al.*, 2019).

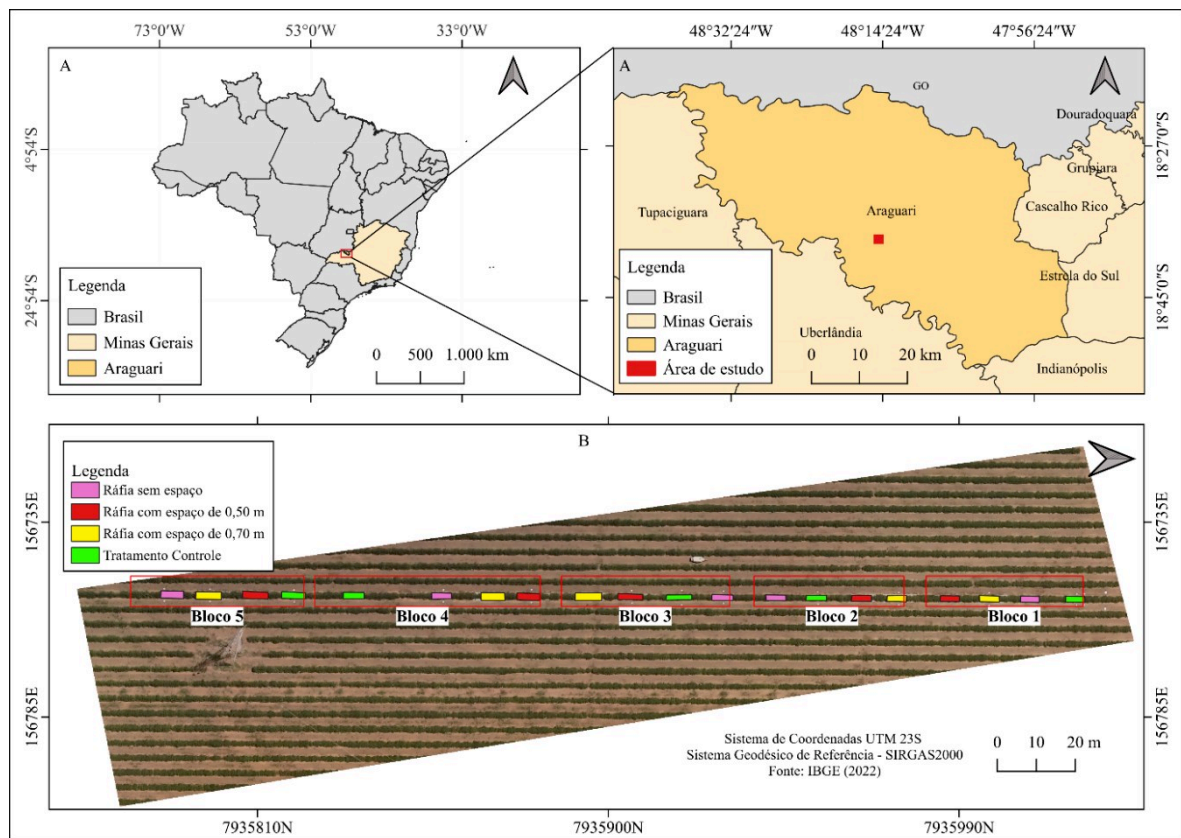
Em função do exposto, o objetivo com a realização desse estudo foi verificar se o uso de rafia pode influenciar os parâmetros agrônômicos, a dinâmica da água no solo e a resposta espectral em cafeeiros.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área experimental e tratamentos

O experimento foi realizado no município de Araguari-MG, coordenadas 18°38'19.66"Sul e 48°15'10.39" Oeste e altitude de 913 metros (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Santos *et al.*, 2018). A cultivar implantada na área em janeiro de 2020 foi a IPR 100, sob espaçamento de 3,8 m entrelinhas x 0,6 m entre plantas. O clima da região é tropical com inverno seco, classificado como Aw (Köppen), com precipitação média anual de 1.370 milímetros e temperatura média anual de 24°C (Martins *et al.*, 2018; Instituto Nacional de Meteorologia, 2023).

Figura 1- Mapa referente à localização da área utilizada (A) e do delineamento experimental (B).



Fonte: A autora (2024).

Amostragens de solo na camada de 0-0,20 m foram realizadas, antes da implantação do experimento em 2019, após a instalação da lavoura em 2020 e, anualmente, (2021, 2022 e 2023), para caracterização química do solo e definição das quantidades de calcário e fertilizantes na lavoura (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química do solo na área experimental na profundidade de 0-0,20 m, nos anos de 2019 a 2023 em lavoura de café cultivar IPR 100 com utilização da rafia em Araguari-MG

Característica	2019	2020	2021	2022	2023
pH (H ₂ O)	5,8	6,0	5,6	5,8	5,6
Fósforo (P) Mehlich 1 – mg dm ⁻³	35,0	54,0	32,6	44,0	39,4
Potássio (K) - mg dm ⁻³	150,0	85,0	52,0	171,0	140,0
Cálcio (Ca ²⁺) – cmolc dm ⁻³	5,7	3,8	2,9	3,9	3,3
Magnésio (Mg ²⁺) – cmolc dm ⁻³	1,3	0,9	0,9	0,6	0,7
Alumínio (Al ³⁺) – cmolc dm ⁻³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H+Al (Extrator SMP) – cmolc dm ⁻³	2,8	2,5	3,1	4,2	3,80
Soma de bases trocáveis (SB) – cmolc dm ⁻³	7,38	4,92	3,93	4,94	4,36
CTC (t) - cmolc dm ⁻³	7,38	4,92	3,93	4,94	4,36
CTC a pH 7,0 (T) - cmolc dm ⁻³	10,18	7,42	7,03	9,14	8,16
Índice de saturação por bases (V) - %	72,0	66,0	56,0	54,0	53,0
Índice de saturação de alumínio (m) - %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Boro (B) – mg dm ⁻³	0,61	0,43	1,0	0,53	0,78
Cobre (Cu) – mg dm ⁻³	7,1	4,1	4,5	6,6	5,2
Ferro (Fe) – mg dm ⁻³	50,0	28,0	46,0	24,0	36,0
Manganês (Mn) – mg dm ⁻³	3,4	5,7	6,4	2,4	4,4
Zinco (Zn) – mg dm ⁻³	5,4	3,8	3,6	4,2	3,6
Matéria orgânica (M.O) – dag kg ⁻¹	2,5	2,8	2,6	3,2	4,1

Manual de métodos de análise de solo – Teixeira et al., 2017. SB: Soma de bases; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; t: CTC efetiva; T: CTC potencial; M.O: Matéria orgânica. Métodos de extração: P, K, Na = Mehlich-1; S-SO₄²⁻ = [Fosfato monobásico cálcio 0,01 mol L⁻¹]; Ca, Mg, Al = [KCl 1 mol L⁻¹]; H+Al = [Solução Tampão SMP pH 7,5]; B = [BaCl₂. 2H₂O 0,125% à quente]; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA.

*Análises realizadas no FERLAB - Laboratório Agrícola Ltda, Araguari, MG.

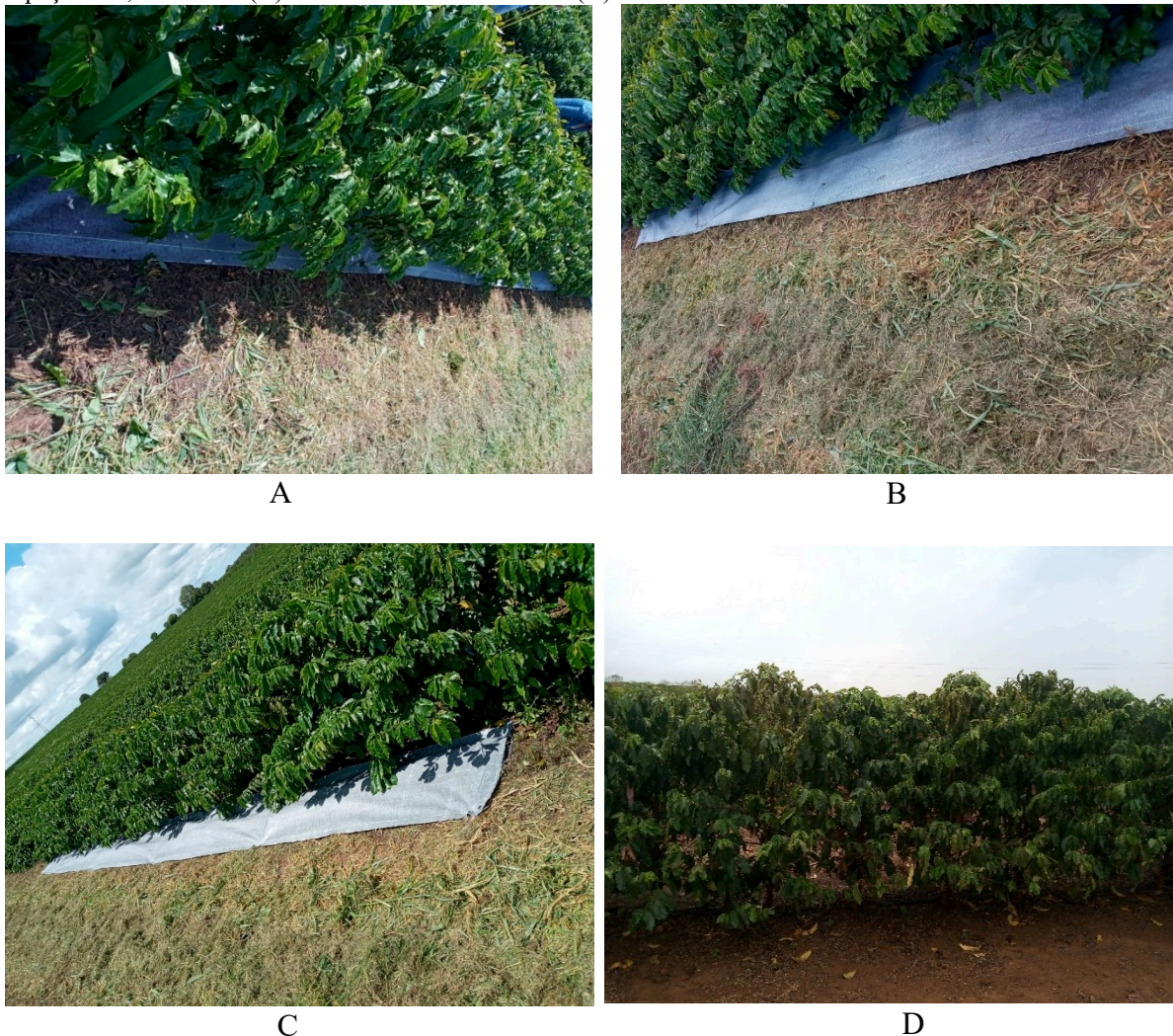
Fonte: A autora (2024).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco blocos e quatro tratamentos, sendo eles: T1- Rafia de 1,4 m, cortada ao meio e colocada na linha do cafeeiro, em cada lado do caule, sem espaço entre elas; T2 - Rafia de 1,4 m, cortada ao meio e colocada na linha do cafeeiro, em cada lado do caule, com espaço de 0,50 m entre elas; T3 - Rafia de 1,4 m, cortada ao meio e colocada na linha do cafeeiro, em cada lado do caule, com espaço de 0,70 m entre elas; T4- Tratamento controle (sem rafia). O experimento foi composto por 20 parcelas, constituída por 15 plantas cada, consideradas úteis às oito centrais (Figura 1). É válido ressaltar que o estudo foi disposto em uma única linha de plantio, uma vez que, no momento da instalação do experimento, as linhas estavam heterogêneas, sendo, portanto, observada maior homogeneidade nessa linha escolhida para instalação e condução da pesquisa. Os diferentes espaçamentos adotados para instalação da rafia foram considerados em função da facilidade para manejo do cafeeiro, visando menor aplicação de herbicidas na linha de plantio, maior eficiência na adubação, calagem e incremento no armazenamento de água do solo.

A rafia foi instalada na área experimental em dezembro de 2021, 23 meses após a implantação da cultura, apresentando cor carijó, largura de 0,7 m e gramatura de 105 g m⁻²

(Figura 2). O material foi fixado no solo utilizando-se grampos de plástico nas extremidades da cobertura. Em dezembro de 2021, os cafeeiros apresentavam 23 meses de idade quando os tratamentos foram instalados.

Figura 2 - Instalação das duas faixas de rafia sem espaço entre elas – T1 (A); com espaço de 0,50 m – T2 (B); com espaço de 0,70 m – T3 (C) e tratamento controle – T4 (D).



Fonte: A autora (2024).

A adubação da área experimental foi realizada conforme resultados das análises de solo (Tabela 1) e de acordo com a produtividade esperada, conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo para o Estado de Minas Gerais - CFSEMG (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999). As principais fontes de adubos utilizadas foram o formulado 20-05-20 (N – P₂O₅ – K₂O) na dose de 80 g metro⁻¹, ureia (45% de N) na dose de 10 g por planta de café, nitrato de cálcio (Ca(NO₃)₂) e ácido bórico (H₃BO₃) aplicados via fertirrigação nas doses de 15 kg ha⁻¹ e 3 kg ha⁻¹, respectivamente, fosfato monoamônico (11% de nitrogênio e 52% de fósforo) na dose de 76

g m⁻¹ e cloreto de potássio (58% de K₂O e 42% de Cl) na dose de 52 g m⁻¹. No decorrer do desenvolvimento da cultura, foram realizadas aplicações foliares de nutrientes em função de deficiências visuais e análises foliares. A fonte utilizada apresentava 5 % de N, 3,8 % de S, 0,5 % de B, 3,0% de Fe e 5 % de Zn.

O controle fitossanitário foi realizado mediante avaliações periódicas na lavoura para determinação da necessidade de manejo de pragas, doenças e plantas daninhas. Para o controle de plantas daninhas de folha larga e estreita utilizaram-se herbicidas pré-emergentes a base de oxifluorfen (grupo químico éter difenílico), na dose de 3 L p.c. ha⁻¹ e indaziflan (grupo químico alquilazinas), na dose de 0,15 L ha⁻¹. Foram também utilizados herbicidas pós-emergentes a base de saflufenacil (grupo químico uracila), na dose de 75 g p.c. ha⁻¹, cletodim (grupo químico oxima ciclohexanodiona), na dose de 0,45 L p.c. ha⁻¹, carfentrazona-etílica (grupo químico triazolona) na dose de 80 mL ha⁻¹ e roçagem nas entrelinhas do café.

Para o controle das principais doenças do cafeeiro, foram aplicados fungicidas sistêmicos com os ingredientes ativos ciproconazol, azoxistrobina e tebuconazol. Foram também aplicados produtos de contato a base de óxido cuproso (grupo químico inorgânico) na dose de 1,25 Kg ha⁻¹ p.c. O controle das principais pragas do cafeeiro foi realizado com inseticidas a base de abamectina (grupo químico avermectina), fenfopatrina (grupo químico piretroide), clorantraniliprole+avermectin (grupo químico antranilamida e avermectina, na dose de 400 mL ha⁻¹, cloridrato de cartape (grupo químico tiocarbamato) na dose de 1,0 Kg ha⁻¹ e espiromesifeno (grupo químico cetonoel) na dose de 0,5 L ha⁻¹. Inseticidas de solo a base de tiametoxan (grupo químico neonicotinoide) também foram utilizados na dose de 1,5 Kg ha⁻¹.

Todos os produtos foram aplicados com auxílio de pulverizador *Arbus* 2000 – marca *Jacto*, sendo a aplicação realizada com o uso de equipamentos de proteção individual. A tecnologia de aplicação empregada na área de estudo foi semelhante para todos os tratamentos.

2.2 Avaliações dos parâmetros agrônômicos na cultura do cafeeiro

As plantas foram avaliadas dez vezes ao longo de 43 meses (ao 3º, 5º, 7º, 10º, 12º, 14º, 16º, 18º, 19º e 22º mês após a instalação da ráfia - MIR), sendo que a primeira avaliação ocorreu em fevereiro de 2022 e a última, em setembro de 2023. Em cada avaliação, foram coletadas cinco características: número de ramos - contagem dos ramos plagiotrópicos primários da planta; diâmetro da copa (m) - medida dos dois ramos no sentido das entrelinhas que apresentaram o maior comprimento; altura de planta (m) - medição do colo até o ponto de

inserção da gema terminal com auxílio de uma régua, em metros; comprimento de ramos plagiotrópicos (cm) - determinado por meio da medição de um ramo plagiotrópico localizado no terço médio da planta, desde a sua inserção no ramo ortotrópico até a extremidade do ramo plagiotrópico; e número de nós por ramo plagiotrópico - obtido mediante a contagem de nós em um ramo plagiotrópico localizado no terço mediano da planta, e seu respectivo ramo correspondente.

2.3 Avaliação da maturação, classificação física, produtividade e análise sensorial dos grãos de café

Aos 7 e 19 meses, após instalação da ráfia, foi realizada a colheita dos frutos manualmente. Após a determinação do volume produzido pela parcela, foi retirada uma amostra de 10 L cuja secagem foi realizada em terreiro de concreto. Após atingir a umidade de 11%, foram determinados a massa e o volume do café em coco. Posteriormente, as amostras foram beneficiadas no descascador de café para amostras, modelo PA-AMO/30 marca Palinialves, a fim de retirar as impurezas e separar os grãos do exocarpo e endocarpo e, novamente, foram determinados a massa, o volume e a umidade do café. Com base na relação do volume total de café colhido no pano e da massa da amostra beneficiada, foi estimada a produção por parcela em sacas ha⁻¹.

A partir do volume total de café colhido, foi retirada uma amostra representativa de 0,3 L de cada parcela para separação dos frutos em diferentes estádios de maturação (verde, verde-cana, cereja, passa e seco).

Para a classificação quanto ao tamanho e formato dos grãos, uma amostra de 100 g de cada parcela experimental foi distribuída em um conjunto de peneiras de crivos circulares (19, 18, 17, 16, 15, 14 e 13/64 avos de polegada) e de crivo oblongo (13, 12, 11, 10, 9 e 8/64 avos de polegada), onde as peneiras de crivo redondo foram utilizadas para reter o café chato e as de crivo oblongo, o café moca. Posteriormente, foi realizada a separação nas seguintes categorias: chato gráudo: peneiras 19, 18 e 17; chato médio: peneiras 16 e 15; chato miúdo: peneira 14 e menores; moca gráudo: peneiras 13, 12 e 11; moca médio: peneira 10 e moca miúdo (moquinha): peneira 9 e menores, conforme Instrução Normativa nº 8 de 11 de junho de 2003 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003).

A avaliação da qualidade sensorial da bebida foi realizada seguindo o protocolo da *Specialty Coffee Association of America* (SCAA, 2008), mediante a classificação em quatro

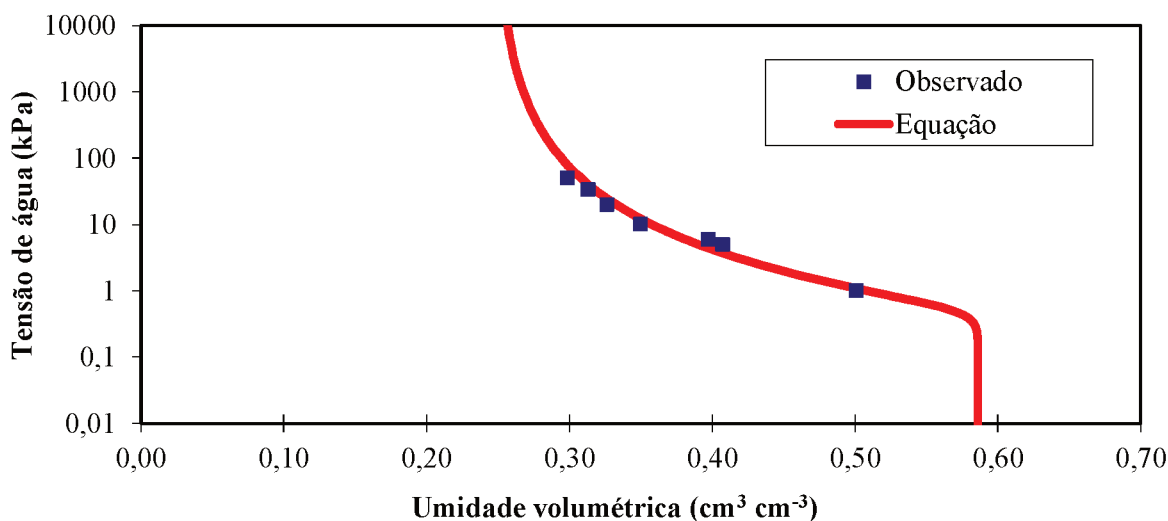
categorias: abaixo de *premium* (pontuação total inferior a 80 pontos), *premium* (entre 80 e 84,99 pontos), *specialty origin* (entre 85 e 89,99 pontos) e *specialty rare* (≥ 90 pontos).

2.4 Caracterização do sistema de irrigação e monitoramento da dinâmica da água no solo

As plantas foram irrigadas por meio de sistema de gotejamento superficial, com emissores *Netafim* modelo *UniRam*TM espaçados em 0,6 m, com turno de rega fixo em dias alternados nos períodos sem chuva. A uniformidade estatística (Us) do sistema de irrigação foi de 97,46% e a vazão média dos gotejadores foi de 2,30 L hora⁻¹. Com base na análise físico-hídrica do solo em três camadas do perfil, 0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m, a classe textural do solo pôde ser classificada como argila-arenosa, com valores médios de areia total de 36,6%, 10,9% de silte e 52,51% de argila. Pode-se classificar o adensamento das partículas do solo adequado, face suas características granulométricas, na ordem de 1,11 g cm⁻³.

A capacidade de infiltração de água no solo foi classificada como rápida, em média 199,06 mm h⁻¹ em condição de saturação hídrica do solo. A curva característica de retenção de água no solo está expressa na Figura 3.

Figura 3 - Curva característica de retenção de água no solo



Fonte: A autora (2024).

Nessa análise, foram obtidos parâmetros importantes para subsidiar o entendimento das relações hídricas do cultivo de café. A umidade de saturação de água obtida foi de 0,5864 cm³ cm⁻³, a umidade de capacidade de campo é de 0,3498 cm³ cm⁻³ e a umidade do ponto de murcha permanente é de 0,2777 cm³ cm⁻³. Para caracterização do armazenamento de água no solo, foram

calibrados os parâmetros da equação de van Genuchten (Genuchten, 1980), sendo alfa (α) 1,989 kPa^{-1} , umidade residual (θ_r) de 0,249 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$, umidade de saturação (θ_s) de 0,586 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$, coeficiente m de 0,079 e coeficiente n de 4,760.

Foi instalada uma bateria de tensiômetros, composta por três hastes tensiométricas, nas profundidades de 0,20 m, 0,40 m e 0,60 m por tratamento em três blocos, a fim de monitorar a tensão da água do solo e, em seguida, estimar a umidade do solo. As leituras foram realizadas diariamente, no período da manhã, em decorrência da menor variação dos dados e com auxílio de tensímetro digital de punção.

A recomendação de irrigação da lavoura cafeeira foi baseada em informações meteorológicas. Os dados de temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm) foram coletados em estação meteorológica da marca *irriPLUS* modelo E1000. A evapotranspiração de referência (ET_0) em mm, foi estimada com auxílio da fórmula de Hargreaves (Hargreaves, 1974). A temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) foi obtida por meio da média da temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) e mínima ($^{\circ}\text{C}$).

2.5 Análises estatísticas

Os dados relativos às avaliações biométricas, características produtivas e à avaliação da dinâmica da água no solo foram submetidos à checagem das pressuposições de homocedasticidade (teste de *Bartlett*), normalidade dos resíduos (teste de *Jarque-Bera*) e aditividade (teste de *Tukey*). Foram aplicadas transformações para variáveis que não atenderam aos pressupostos ($p\text{-valor} < 0,01$), sendo usada a transformação $\log(y)$ para porcentagem de frutos secos e porcentagem de frutos verde-cana, e raiz (y) para porcentagem de frutos verdes aos 19 meses, após a diferenciação dos tratamentos. Para os dados de crescimento e da dinâmica da água no solo, foi adotado o esquema de parcelas subdivididas no tempo. Os dados foram submetidos à análise de variância admitindo-se 5% de probabilidade de erro, sendo as médias comparadas pelo teste de *Scott-Knott*. Para os caracteres agrônômicos, foi calculado o desvio padrão por tratamento em cada época de avaliação para verificação da amplitude da variação.

2.6 Georreferenciamento da área de estudo, obtenção e processamento das imagens multiespectrais

A área do experimento foi mapeada em outubro de 2022, utilizando dois receptores GNSS da marca *Ashtech* para o levantamento geodésico. Para a base de campo foi utilizado o modelo *Promark200* (L1 e L2); e para o *rover* foi utilizado modelo de simples frequência (L1), *Promark100*. Inicialmente foram coletadas coordenadas de um ponto de inicialização do *rover* com tempo de coleta de aproximadamente 10 minutos. Em seguida, a fim de determinar as coordenadas de cada planta avaliada, o *rover* foi instalado em cada ponto de interesse em um tempo de rastreamento de 1 minuto, totalizando assim, 160 pontos coletados. A técnica empregada para o levantamento geográfico foi o posicionamento relativo semi-cinemático (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008).

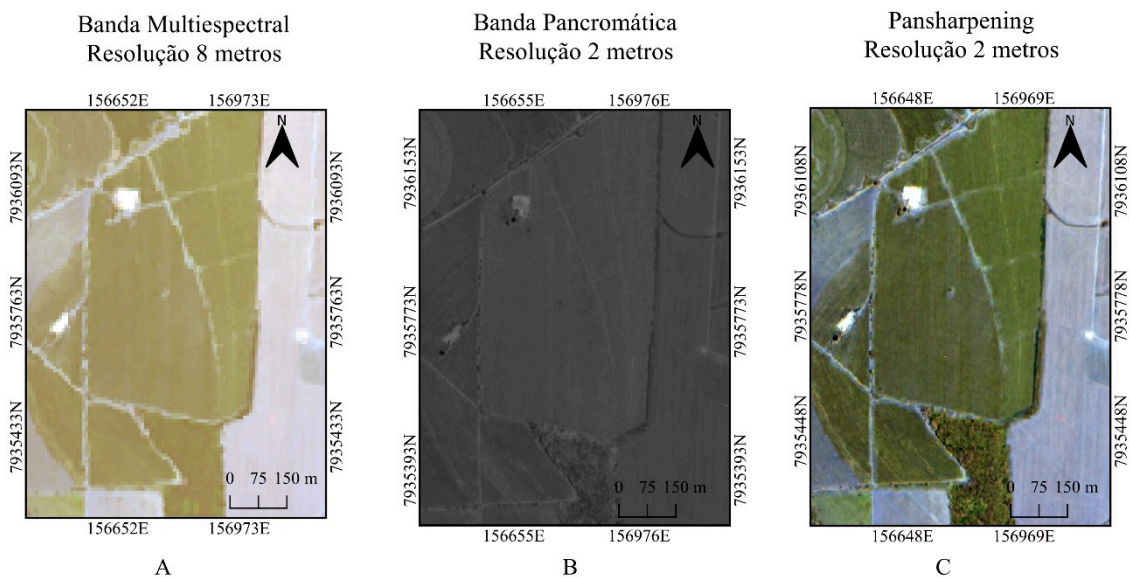
Após o levantamento em campo, os arquivos foram inseridos em um computador e convertidos para o formato *RINEX*. Posteriormente, foram pós-processados utilizando o programa *MAGNETTools* (Topcon Sokkia, 2024) tendo como base as coordenadas absolutas da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, localizada na cidade de Uberlândia, ou seja, a estação MGUB. As coordenadas pós-processadas tiveram precisão centimétrica.

As imagens multiespectrais foram obtidas por meio do sensor CBERS-4A, disponibilizadas, gratuitamente, na plataforma *online* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. As imagens do satélite CBERS são fornecidas em cinco níveis de produtos, desde a imagem bruta até a imagem ortorretificada. Nesse estudo, utilizaram-se as imagens em nível 4 de processamento, apresentando correção radiométrica e geométrica, aprimorada pelo uso de pontos de controle e de um Modelo Numérico de Elevação do Terreno (Costa *et al.*, 2007). Vale ressaltar que esse sensor é equipado com três câmeras, que possuem por finalidade a observação óptica de todo o globo terrestre. A câmera escolhida para o *download* das imagens multiespectrais foi a Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), capaz de fornecer imagens com resolução panorâmica de 2,0 m e resolução multiespectral de 8,0 m simultaneamente na órbita do satélite (INPE, 2019). Essas imagens são compostas pelas respectivas bandas: Pancromática (0) (0,45-0,90 μm), Azul (1) (0,45-0,52 μm), Verde (2) (0,52 a 0,59 μm), Vermelho (3) (0,63 a 0,69 μm) e Infravermelho Próximo (4) (0,77 a 0,89 μm).

Após a obtenção das imagens, foi efetuado o processamento por meio do *software QGIS* versão 3.34.0 (Qgis, 2024). A primeira etapa consistiu em salvar as imagens em formato *GeoTIFF* e reprojeta-las para o Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS2000 projeção UTM zona 23S. Logo após, no programa *ENVI Classic* (Sulsoft, 2024) por meio da ferramenta

Layer Stacking, efetuou-se a junção das bandas em um único arquivo (empilhamento), realizando a composição colorida, utilizando os canais RGB (banda 1 - azul, banda 2 - verde, banda 3 - vermelho). Ainda nessa etapa, no programa *QGIS*, procedeu-se a operação de melhoramento da imagem por meio da fusão com a banda pancromática. A técnica utilizada é denominada de *pansharpening* utilizada de modo a integrar o detalhe geométrico de uma imagem de alta resolução pancromática, numa imagem multiespectral de menor resolução, com a finalidade de gerar uma imagem multiespectral de alta resolução (Zhang, 2004). Após esse processo, todas as imagens foram recortadas com a utilização da máscara formada pela extensão da área de estudo e utilizadas, posteriormente, para extração dos índices de vegetação e construção dos mapas (Figura 4).

Figura 4 - Imagem CBERS-4A banda multiespectral com 8 metros de resolução (A); Imagem CBERS-4A banda pancromática com 2 metros de resolução (B); Imagem CBERS-4A após processamento *pansharpening*, com resolução de 2 m (C).



Sistema de Coordenadas UTM 23S
Sistema de Referência Geodésica - SIRGAS2000

Fonte: A autora (2024).

Visando relacionar os aspectos de crescimento vegetativo do cafeeiro em cada tratamento com as imagens multiespectrais, foram calculados os índices de vegetação por meio do programa *QGIS* utilizando a ferramenta calculadora *raster* (Tabela 2). Com todos os índices de vegetação calculados, foram criados mapas temáticos por meio do programa *QGIS*, a fim de verificar a resposta espectral do cafeeiro aos 3, 4, 6, 16, 17, 20 e 23 MIR.

Tabela 2 - Índices de vegetação aplicáveis ao monitoramento de variáveis agrícolas e de interesse neste trabalho

Índices de Vegetação	Fórmula	Aplicação	Referência
NDVI	$\frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$	Biomassa vegetal	Rouse et al. (1974)
NDWI	$\frac{(G - NIR)}{(G + NIR)}$	Detecção e monitoramento do teor de água	McFeeters (1996)
GNDVI	$\frac{(NIR - G)}{(NIR + G)}$	Concentração de Clorofila	Gitelson, Kaufman e Merzlyak (1996)
SR	$\frac{R}{NIR}$	Concentração de Clorofila e IAF	Jordan (1969)

NDVI (*Normalized Difference Vegetation*); NDWI (*Normalized Difference Water Index*); GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*); SR (*Simple Ratio*); NIR (Infravermelho Próximo); R (Banda do Vermelho); G (Banda do Verde), B (Banda do Azul).

Fonte: A autora (2024).

2.7 Classificação supervisionada por *Random Forest*

Visando avaliar o potencial das imagens e os parâmetros vegetativos do cafeeiro em discriminar os tratamentos, adotou-se o algoritmo *Random Forest* como classificador no *software Weka* versão 3.9.6 (Frank; Hall; Witten, 2016). Esse algoritmo é composto por diferentes classificadores, que se englobam na classe de “árvores de decisões”, e permite oferecer uma maior combinação de predições. Apresenta facilidade em seu uso, não havendo necessidade dos ajustes de seus parâmetros. É um algoritmo que pode ser utilizado em tarefas de classificação e regressão, tornando-se uma alternativa para predição de classes (Breiman, 2001).

A precisão da classificação foi analisada por meio da metodologia denominada validação cruzada (*cross-validation*), que utiliza algoritmos de aprendizado de máquina, tendo por finalidade verificar a qualidade dos dados e evitar problemas de *overfitting*. Os dados foram estratificados de forma aleatória em dez grupos, sendo utilizados 144 dados para treinamento e 16 dados para validação. Nesse tipo de avaliação, o conjunto total de dados disponíveis é fragmentado de forma aleatória em n amostras de tamanho semelhante. Para gerar cada par de conjunto treino-teste, uma das n amostras é mantida como conjunto de teste e as outras $n - 1$ são utilizadas para treinamento. O processo é então repetido N vezes, de modo que cada uma das n amostras seja utilizada ao menos uma vez como teste, tendo como resultado final a média do desempenho do classificador nas n interações. Essa estratégia visa aumentar a confiabilidade da análise e permitir avaliar o desempenho em diferentes conjuntos de treinamento (Frutuoso, 2014).

A etapa de mineração de dados fundamentou-se na seleção dos melhores conjuntos de elementos para a classificação. Primeiramente, utilizaram-se os parâmetros agronômicos avaliados em campo com o objetivo de que esses dados fossem capazes de discriminar os tratamentos. Assim, o conjunto de dados agronômicos foi compreendido por: altura das plantas, comprimento de ramos plagiotrópicos, diâmetro de copa, número de nós e números de ramos produtivos. A segunda classificação foi realizada com o objetivo de verificar o potencial de discriminação do conjunto de dados radiométricos das imagens orbitais na capacidade de diferenciação dos tratamentos. Assim, os dados radiométricos de entrada foram compostos pelas bandas: Azul (0,45-0,52 μm), Verde (0,52 a 0,59 μm), Vermelho (0,63 a 0,69 μm) e Infravermelho Próximo (0,77 a 0,89 μm) e os índices de vegetação NDVI, NDWI, SR e GNDVI.

Para avaliar o desempenho de cada classificação, foi analisada a matriz de confusão, que tem por função comparar a relação entre os dados de referência conhecidos e os resultados correspondentes de uma classificação por predição (Lillesand; Kiefer; Chipman, 2015). A partir dos resultados gerados, medidas estatísticas foram analisadas pelo software *Weka*, a fim de avaliar a acurácia dos resultados, sendo elas: exatidão global (EG) (Equação 1), coeficiente *Kappa* (K) (Equação 2), erro de comissão (EC) (Equação 3) e erro de omissão (EO) (Equação 4).

$$EG = \frac{\sum_{i=n}^c x_{ii}}{n} \quad (1)$$

Sendo: EG - coeficiente de exatidão global; x_{ii} - observações na linha i e coluna i ; n - número de observações (pontos amostrais).

O coeficiente *Kappa* é calculado com base na matriz de erros, que tem por finalidade expressar a medida de concordância dos dados de referência com a classificação automática, e a probabilidade de concordância entre o conjunto de dados de referência e a classificação aleatória. Em resumo, pode ser definido como uma medida que analisa o quanto a classificação está de acordo com os dados de referência (Cohen, 1960).

$$K = \frac{n \sum_{c=n}^l x_{ii} - \sum_1^k (x_{i*} * x_{+i})}{N^2 - \sum_1^k (x_{i*} * x_{+i})} \quad (2)$$

Sendo: K-número de linhas na matriz de confusão; x_{ii} - observações na linha i e coluna i ; x_{i+} e x_{+i} são os totais para a linha i e coluna i ; e N o número total de observações (pontos amostrais).

O desempenho do índice *Kappa* (K), no que diz respeito à concordância entre as classificações esperadas e observadas (Fonseca, 2000), pode ser classificado em péssimo ($<0,0$), ruim ($0,2 < K \leq 0,4$), bom ($0,4 < K \leq 0,6$), muito bom ($0,6 < K \leq 0,8$) e excelente ($0,8 < K \leq 1,0$). Ainda no software *Weka*, foram analisados o erro de comissão (Equação 3) e o erro de omissão (Equação 4). O primeiro erro relaciona os pixels que foram concedidos a uma classe que não pertenciam, sendo vistos como um excedente na classe. Já o segundo erro, corresponde a pixels atribuídos a uma classe que foram erradamente classificados como pertencente à outra (Balão, 2019).

$$Eco = \frac{X_{+i} - X_{ii}}{X_{+i}} \quad (3)$$

Sendo: Eco - erro de comissão; X_{+i} - soma da coluna i da matriz confusão; X_{ii} - valor da diagonal daquela coluna i.

$$Eo = \frac{X_{i+} - X_{ii}}{X_{i+}} \quad (4)$$

Sendo: Eo - erro de omissão; X_{i+} - soma da linha i da matriz confusão; X_{ii} - valor da diagonal daquela linha i.

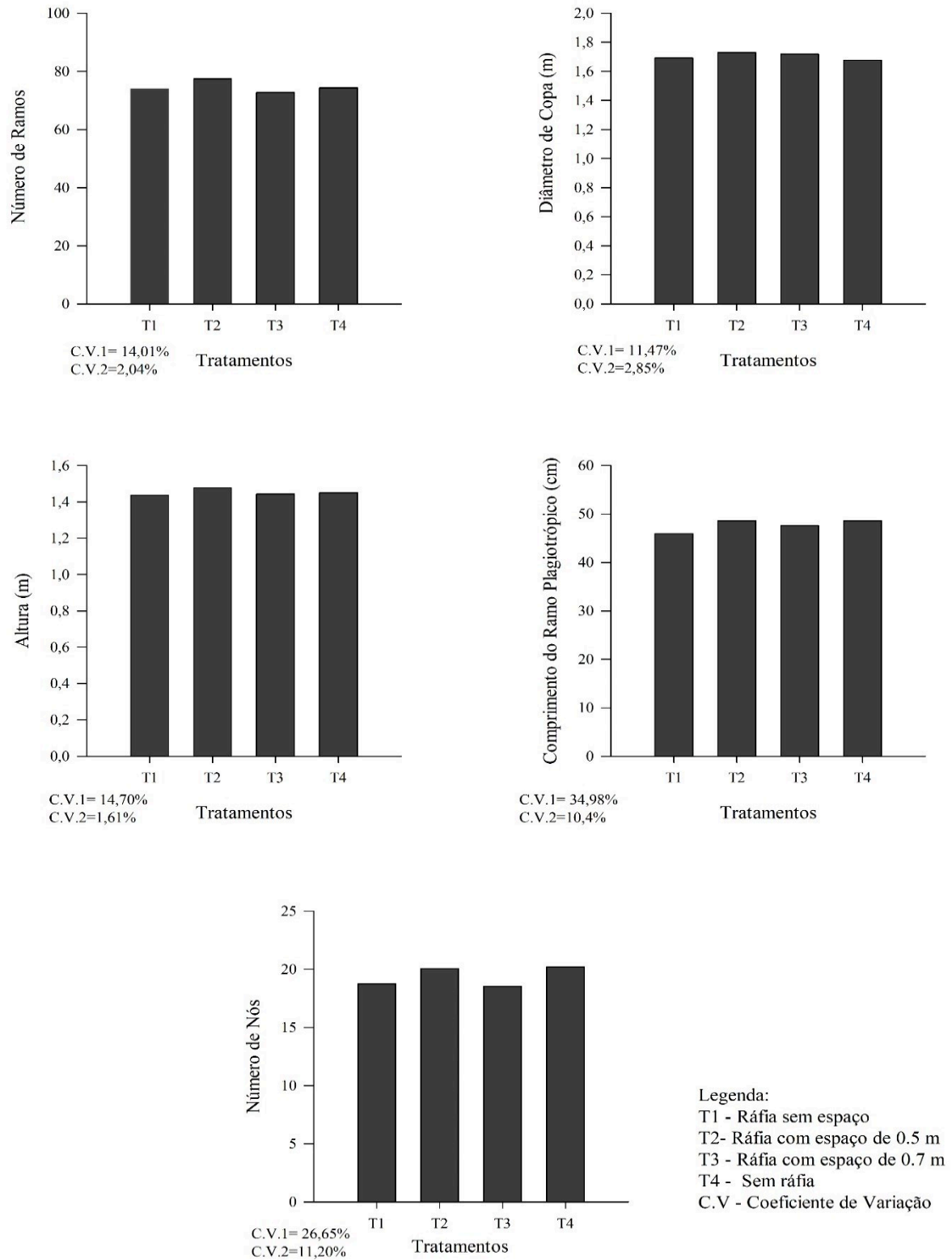
É válido ressaltar que o algoritmo agrupa os tratamentos em classes. No presente estudo, o tratamento com rafia sem espaço pertence à classe “a”, o tratamento rafia com espaço de 0,50 m pertence à classe “b”, o tratamento rafia com espaço de 0,70 m pertence à classe “c” e o tratamento controle, ou seja, sem rafia, enquadra-se na classe “d”.

3 RESULTADOS

3.1 Avaliações relativas às plantas de cafeeiro

A interação entre tratamento e época não foi significativa ($p\text{-valor} > 0,05$). Também não foi verificado efeito isolado da rafia em relação aos parâmetros de crescimento do cafeeiro ($p\text{-valor} > 0,05$). As plantas apresentaram, em média, 75 ramos plagiotrópicos (desvio padrão variando de 2,69 à 6,18); 1,45 m de altura (desvio padrão variando de 0,04 à 0,10); 1,70 m de diâmetro de copa (desvio padrão variando de 0,02 à 0,12); comprimento de ramos plagiotrópicos de 48,19 cm (desvio padrão variando de 2,85 à 15,55); e 19 nós por ramo produtivo no período de avaliação (desvio padrão variando de 0,90 à 5,62) (Figura 5).

Figura 5 - Média dos parâmetros fitotécnicos do cafeeiro por tratamento ao longo do período de avaliação.



Fonte: A autora (2024).

Tratando das características relativas à maturação dos frutos, não houve efeito da rafia na porcentagem de frutos verdes, verde cana, cereja, passa e seco na avaliação aos sete meses após a instalação da rafia (p-valor>0,05). Os cafeeiros apresentaram, em média, 1,68% de frutos verdes, 0,97% de frutos verde-cana, 11,19% de frutos cereja, 31,35% de frutos passas e 54,80% de frutos secos. Porém, no ano seguinte, as parcelas com rafia espaçada em 0,5 m e as parcelas sem rafia proporcionaram maior porcentagem de frutos no estágio cereja em relação aos demais tratamentos ($F_{\text{tratamento}} = 4,978$, p-valor = 0,02) (Tabela 3). Nessa época, os cafeeiros apresentaram, em média, 10,34% de frutos verdes, 6,51% de frutos verde-cana, 17,39% de frutos cereja, 15,06% de frutos passas e 50,16% de frutos secos.

Tabela 3 - Classificação dos frutos de café cultivar IPR 100 com relação à maturação em função da colocação de rafia nas linhas de plantio nas colheitas de 2022 e 2023 em Araguari, Minas Gerais

Rafia	Porcentagem de frutos									
	Colheita ano 2022*					Colheita ano 2023				
	Verde	Verde cana	Cereja	Passa	Seco	Verde	Verde cana	Cereja	Passa	Seco
Sem espaço	2,39	1,54	11,88	31,75	52,43	9,21a	6,56a	14,44b	15,43a	54,36a
Espaço de 0,5 m	1,85	0,52	12,87	32,00	52,76	10,74a	7,16a	20,36a	13,04a	48,70a
Espaço de 0,7 m	1,17	0,92	6,21	26,91	64,80	10,14a	5,26a	13,00b	20,10a	51,50a
Sem rafia	1,32	0,91	13,80	34,73a	49,23	11,25a	7,07a	21,75a	13,84a	46,09a
CV (%)	28,18	88,07	46,13	29,16	3,79	41,27	26,48	24,86	32,85	19,20

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferenciam significativamente entre si pelo teste de *Scott-Knott* ao nível de 5% de probabilidade.

* não significativo pelo Teste F a 5% de probabilidade.

CV - coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2024).

Com relação à classificação física quanto ao tamanho e formato dos grãos, verificou-se que a rafia não influenciou estes parâmetros (p-valor>0,05) (Tabela 4). De forma geral, verificou-se até 39,84% de grãos retidos nas peneiras a partir de 17 avos de polegada.

Tabela 4 - Porcentagem de grãos (%) retidos nas peneiras de formato circular e oblongo em função da colocação de rafia nas linhas de plantio nas colheitas de 2022 e 2023 em Araguari, Minas Gerais

Rafia	Colheita ano 2022*			Colheita ano 2023*		
	Chato Graúdo	Chato Médio	Chato Miúdo	Chato Graúdo	Chato Médio	Chato Miúdo
Sem espaço	40,13	37,77	3,23	27,05	46,66	8,91
Espaço de 0,5 m	38,44	38,66	4,44	25,57	48,66	9,24

Espaço de 0,7 m	41,75	33,96	5,08	34,20	45,1	6,28
Sem ráfia	39,03	37,45	3,95	31,77	42,41	7,95
CV (%)	15,20	16,37	24,20	30,41	10,38	39,45
	Colheita ano 2022*			Colheita ano 2023*		
Ráfia	Moca Graúdo	Moca Médio	Moca Miúdo	Moca Graúdo	Moca Médio	Moca Miúdo
Sem espaço	6,23	7,24	5,39	5,10	6,78	5,46
Espaço de 0,5 m	5,28	6,70	6,49	5,07	5,39	6,07
Espaço de 0,7 m	6,02	6,66	6,53	4,72	5,27	4,42
Sem ráfia	6,11	6,78	6,67	6,82	5,72	5,33
CV (%)	36,14	24,21	24,46	22,53	19,60	28,22

* não significativo pelo Teste F a 5% de probabilidade.

CV - Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2024).

A produtividade das plantas de café também não foi afetada pela ráfia (p -valor $>0,05$). As plantas produziram, em média, 45,5 sacas ha^{-1} no primeiro ano e 83,8 sacas ha^{-1} em 2023 (Tabela 5).

Com relação à qualidade de bebida, verifica-se que, na safra 2022, os tratamentos com ráfia espaçada em 0,7 m e ausência de cobertura de polipropileno obtiveram cafés com padrão de bebida especial (*premium*). Já na safra 2023, a ráfia colocada sem espaço do caule e o tratamento controle enquadraram-se na categoria *premium* (Tabela 5).

Tabela 5 - Produtividade de café beneficiado (sacas de 60 kg ha^{-1}) e análise sensorial do café em função da colocação de ráfia nas linhas de plantio nos anos de 2022 e 2023

Ráfia	Produtividade (sacas ha^{-1})		Análise sensorial	
	2022*	2023*	2022	2023
Sem espaço	45,25	73,81	78,38	82,00
Espaço de 0,5 m	47,81	96,53	79,81	77,50
Espaço de 0,7 m	45,20	80,84	80,56	76,00
Sem ráfia	43,80	84,16	80,62	81,00
CV (%)	14,25	19,66		

* não significativo pelo Teste F a 5% de probabilidade.

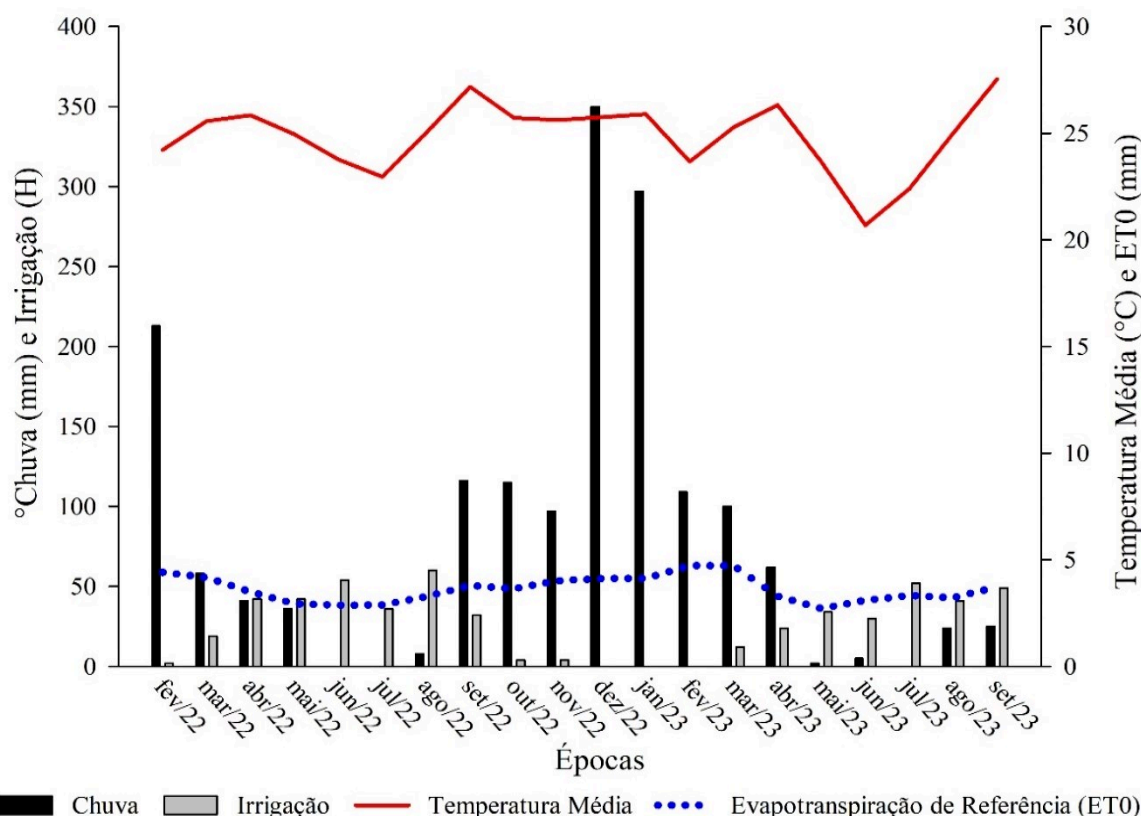
CV - Coeficiente de variação.

Fonte: A autora (2024).

3.2 Dinâmica da água no solo

O acumulado de irrigação (horas), chuva (mm), temperatura média mensal (°C) e ET₀ média diária (mm/dia) ao longo do período de fevereiro de 2022 a setembro de 2023, foi respectivamente: 536,5 horas, 1.658,2 mm, 24,85°C e 3,62 mm. A lâmina de irrigação média diária correspondeu a 3,49 mm, o que representou um acumulado de 541,20 mm (Figura 6).

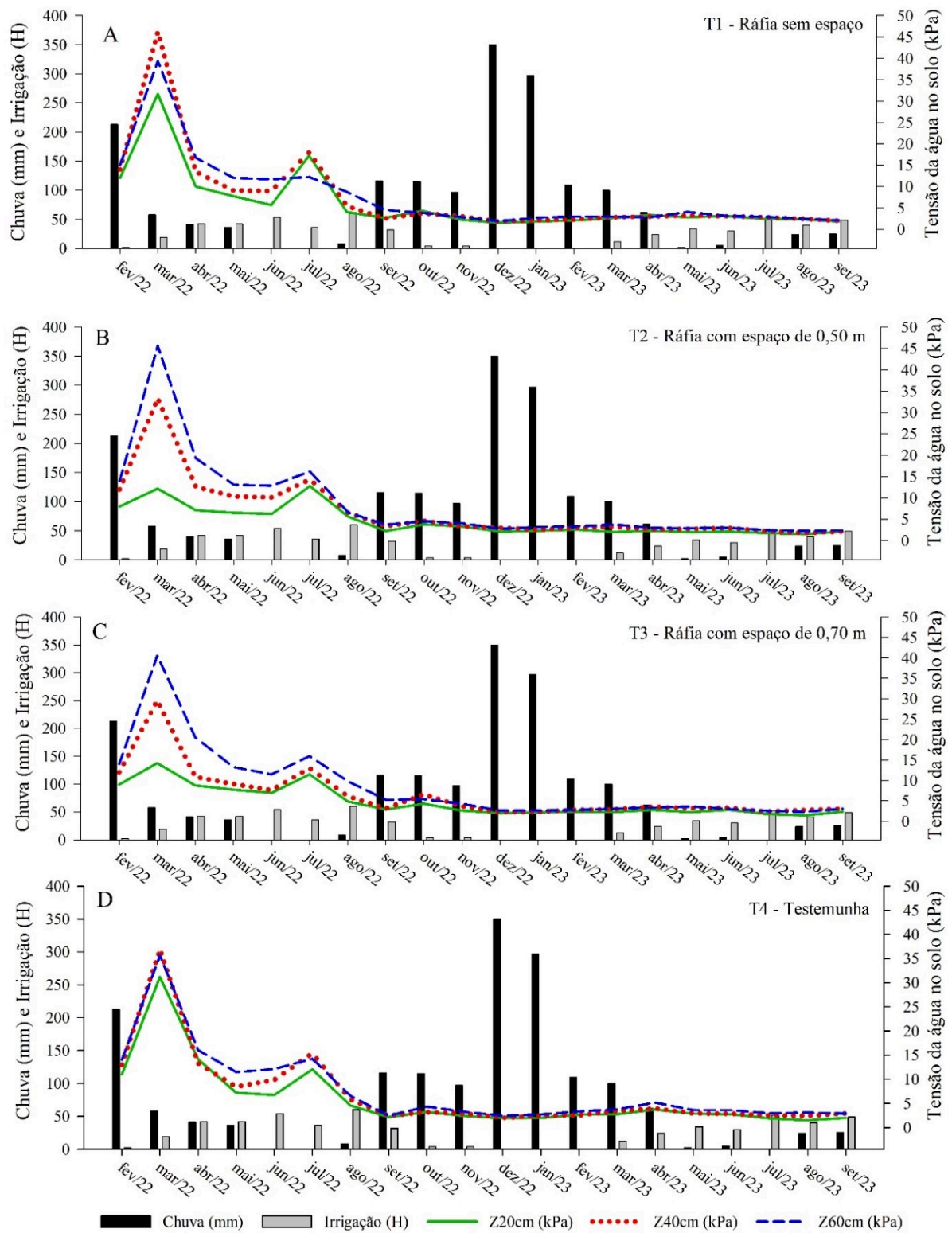
Figura 6 - Temperatura média, acúmulo de água de chuva, irrigação acumulada mensal e evapotranspiração de referência média diária na área de fevereiro de 2022 a setembro de 2023 em experimento com uso da rafia em cafeeiro.



Fonte: A autora (2024).

Com os valores de tensão da água no solo obtidos diariamente, construíram-se gráficos de tensão de água no solo (kPa) em relação aos tratamentos estudados nas camadas de 0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m (Figura 7). Analisando o monitoramento da tensão da água do solo, variável resposta que representa a disponibilidade hídrica no solo, observaram-se maiores variações na tensão de água no solo em camadas mais profundas (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) entre os meses de fevereiro de 2022 à setembro de 2022. Nos meses de março de 2022 e julho de 2022, a tensão de água no solo se manteve elevada, com uma variação de 10 kPa à 47 kPa para todos os tratamentos em relação às três profundidades do solo (Figura 7 A, B, C e D).

Figura 7 - Tensão de água no solo (kPa) para cafeeiro submetido a ráfia sem espaço (A), ráfia com espaço de 0,5 m (B), ráfia com espaço de 0,5 m (C), e sem ráfia (testemunha, D) nas profundidades de 0-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m do solo.



Fonte: A autora (2024).

O mês de março de 2022 apresentou maiores tensões de água no solo em todas as profundidades e para todos os tratamentos. Nesse período, os tratamentos T1 (ráfia sem espaço) e T4 (sem ráfia), apresentaram maiores valores de tensões (46,18 e 36,87 kPa, respectivamente), na camada de 0,20-0,40 m. Já os tratamentos T2 (ráfia com espaço de 0,50 m) e T3 (ráfia com espaço de 0,70 m), apresentaram maiores tensões (45,61 e 40,53 kPa, respectivamente) na camada de 0,40-0,60 m. Em todos os tratamentos, a água ficou mais retida na camada de 0-20 cm, sendo que T2 apresentou um maior armazenamento de água nessa camada, uma vez que apresentou tensão de água no solo em torno de 12 kPa.

No mês de julho de 2022, os tratamentos com ráfia de 0,5 m e 0,7 m apresentaram maiores tensões (16,21 e 15,95 kPa, respectivamente) na camada de 0,40-0,60 m, portanto, com menor armazenamento de água no solo que os outros dois tratamentos. As menores tensões de água no solo (12,80 e 11,49 kPa) para esses tratamentos, foram observadas na camada de 0-0,20 m, onde houve maior armazenamento de água. Já o tratamento sem cobertura e o tratamento ráfia sem espaço apresentaram maiores valores de tensão de água no solo (18,04 e 15,36 kPa) na camada de 0,20-0,40 m. O tratamento T1 manteve a umidade na camada mais profunda (0,40-0,60 m), com valor de tensão 12,26 kPa. O tratamento controle obteve, nesse período, assim como os tratamentos T2 e T3, maior disponibilidade hídrica na camada superficial.

Após esse período, a variação da tensão de água no solo se mantém constante e com valores abaixo de 10 kPa. É válido ressaltar que, em todos os tratamentos, a variação da tensão de água no solo foi menor na camada de 0-0,20 m, resultando em maior armazenamento de água.

De acordo com a análise estatística em relação à tensão de água no solo, verifica-se que houve interação significativa da época em relação aos tratamentos, ao se avaliar a tensão nas camadas de 0-0,20 m ($F_{\text{interação}} = 4,601$, p-valor $< 0,01$) e 0,20-0,40 m ($F_{\text{interação}} = 2,322$, p-valor $< 0,01$) (Tabelas 6 e 7). Na faixa de profundidade de 0,40-0,60 m, não se observou efeito significativo, tanto para a interação entre épocas e tratamentos quanto para o fator analisado isoladamente ao longo do período (p-valor $> 0,05$) (Tabela 8). O coeficiente de variação apresentou valor superior a 20% em todas as camadas, o que pode ser justificado em função da profundidade do solo, condições ambientais e efeitos da precipitação e irrigação.

Verificando a tensão na camada 0-0,20 m, observam-se diferenças significativas nos meses de março, abril e julho de 2022. No mês de março, os tratamentos T2 e T3 apresentaram maior disponibilidade de água. Em abril de 2022, o tratamento 4 apresentou-se mais seco na

camada de 0-0,20 m comparado com os demais tratamentos. Já em julho de 2022, o tratamento 4 se encontrava mais úmido, devido à ocorrência de menores tensões de água (Figura 7). Entre os meses de agosto de 2022 a setembro de 2023, não foram verificadas diferenças significativas entre as tensões (Tabela 6).

Tabela 6 - Tensão média de água no solo (kPa) em função da colocação de rafia nas linhas de plantio no período compreendido entre fevereiro de 2022 à setembro de 2023, na camada de 0-0,20 m

Tensão – Camada (0-0,20 m)										
Tratamento	Época de Avaliação									
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
T1	12,43a	31,67b	10,01a	7,74a	5,71a	17,23c	4,03a	2,69a	4,3a	2,26a
T2	8,19a	12,2a	7,12a	6,52a	6,27a	12,8b	5,64a	2,27a	3,83a	3,36a
T3	9,42a	14,25a	8,77a	7,75a	6,94a	11,49b	4,87a	2,89a	4,33a	2,6a
T4	10,63a	31,17b	14,14b	7,21a	6,73a	8,02a	4,56a	2,14a	3,2a	2,39a

Tratamento	Época de Avaliação									
	dez/22	jan/23	fev/23	mar/23	abr/23	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23
T1	1,51a	1,81a	2,08a	2,61a	3,4 ^a	2,83a	3,15a	2,46a	2,35a	1,84a
T2	2,15a	2,33a	2,6a	2,07a	2,33a	2,03a	2,15a	1,79a	1,55a	2,14a
T3	2,02a	2,2a	2,32a	2,28a	2,77a	2,25a	2,82a	1,78a	1,45a	2,37a
T4	1,93a	1,97a	2,68a	2,74a	3,71a	2,86a	2,73a	1,88a	1,49a	2,03a

CV1 = 37,74 %; CV2 = 39,9 %

C.V- Coeficiente de variação (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste de *Scott-Knott* ao nível de 5% de significância. (T1) rafia sem espaço, (T2) rafia com espaço de 0,50 m, (T3) rafia com espaço de 0,70m, (T4) sem rafia.

Fonte: A autora (2024).

Analisando a tensão na camada de 0,20-0,40 m, observaram-se diferenças significativas apenas nos meses de março e julho de 2022. No mês de março, o tratamento T3 apresentou maior disponibilidade de água e, em julho de 2022, o tratamento T1 se encontrava mais seco, devido à ocorrência de maiores tensões (Figura 7). Entre os meses de agosto de 2022 a setembro de 2023, não foram verificadas diferenças significativas entre as tensões (Tabela 7).

Tabela 7 - Tensão média de água no solo (kPa) em função da colocação de rafia nas linhas de plantio no período compreendido entre fevereiro de 2022 à setembro de 2023, na camada 0,20-0,40 m

Tensão – Camada (0,20-0,40 m)										
Tratamento	Época de Avaliação									
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
T1	14,18a	46,18d	13,51a	9,07a	8,97a	18,03b	5,45a	2,58a	3,78a	3,12a
T2	12,14a	33,51b	12,65a	10,36a	10,14a	14,34 ^a	6,54a	3,42a	4,66a	3,39a
T3	11,98a	29,54a	10,85a	9,11a	7,61a	13,01 ^a	6,1a	3,12a	6,55a	3,64a
T4	12,9a	36,87c	13,26a	8,42a	9,86a	10,24 ^a	5,75a	2,46a	3,16a	2,88a

Tratamento	Época de Avaliação									
	dez/22	jan/23	fev/23	mar/23	abr/23	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23
T1	1,83a	2,14a	2,31a	2,84a	2,99a	3,28 ^a	3,07a	2,88a	2,48a	2,03a
T2	3,06a	2,60a	3,05a	3,31a	2,67a	2,78 ^a	3,00a	2,29a	1,80a	2,16a
T3	2,30a	2,31a	2,82a	2,94a	3,56a	3,19 ^a	3,29a	2,35a	2,74a	3,10a
T4	1,99a	2,41a	2,5a	3,4a	3,92a	2,93 ^a	2,85a	2,49a	2,39a	2,89a

C.V1 = 33,37%; C.V2 = 30,65%

C.V-Coefficiente de variação (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste de *Scott-Knott* ao nível de 5% de significância. (T1) rafia sem espaço, (T2) rafia com espaço de 0,50 m, (T3) rafia com espaço de 0,70m, (T4) sem rafia.

Fonte: A autora (2024).

Verificando a tensão na camada de 0,40-0,60 m, não foi verificado efeito significativo dos tratamentos em relação às épocas avaliadas, pelo teste F a nível de 5% de probabilidade (Tabela 8).

Tabela 8 - Tensão média de água no solo (kPa) em função da colocação de rafia nas linhas de plantio no período compreendido entre fevereiro de 2022 à setembro de 2023, na camada 0,40-0,60 m

Tensão – Camada (0,40-0,60 cm) *										
Tratamento	Época de Avaliação									
	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22
T1	14,76	39,36	16,76	12,04	11,72	12,26	8,76	4,57	3,86	2,89
T2	13,60	45,61	19,31	13,11	12,89	16,21	6,63	3,76	4,6	4,1
T3	13,88	40,53	20,50	13,27	11,47	15,95	9,78	5,25	5,40	4,29
T4	13,88	35,66	16,03	11,47	12,09	9,47	6,54	2,43	4,32	3,24

Tratamento	Época de Avaliação									
	dez/22	jan/23	fev/23	mar/23	abr/23	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23
T1	1,91	2,72	3,02	3,00	2,80	4,10	3,18	2,98	2,52	2,14
T2	2,80	3,25	3,39	3,78	3,04	2,96	3,06	2,49	2,3	2,45
T3	2,62	2,63	2,76	3,08	3,31	3,60	3,00	2,57	2,26	3,07
T4	2,41	2,69	3,31	3,77	5,14	2,58	3,55	2,94	3,09	2,88

C.V1 = 44,59%; CV2= 37,75%

C.V-Coefficiente de variação (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste F ao nível de 5% de significância. (T1) rafia sem espaço, (T2) rafia com espaço de 0,50 m, (T3) rafia com espaço de 0,70m, (T4) sem rafia.

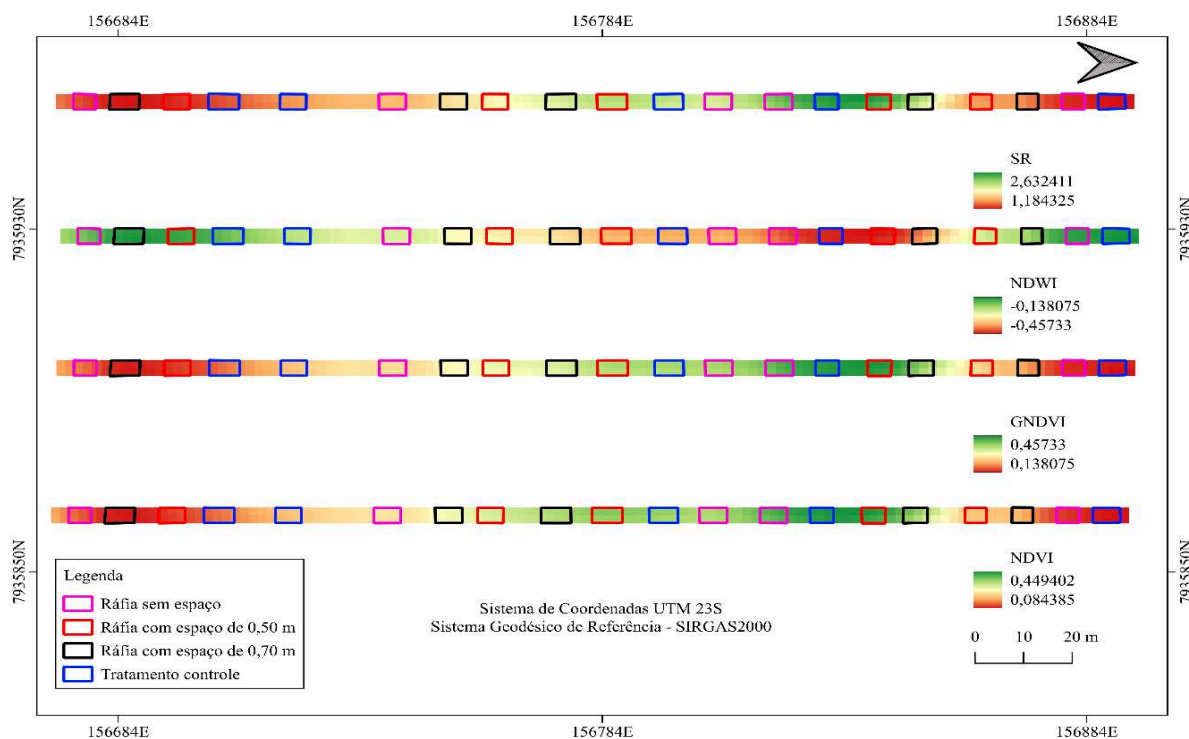
* não significativo pelo Teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2024).

3.3 Índices de vegetação e classificação supervisionada por Random Forest

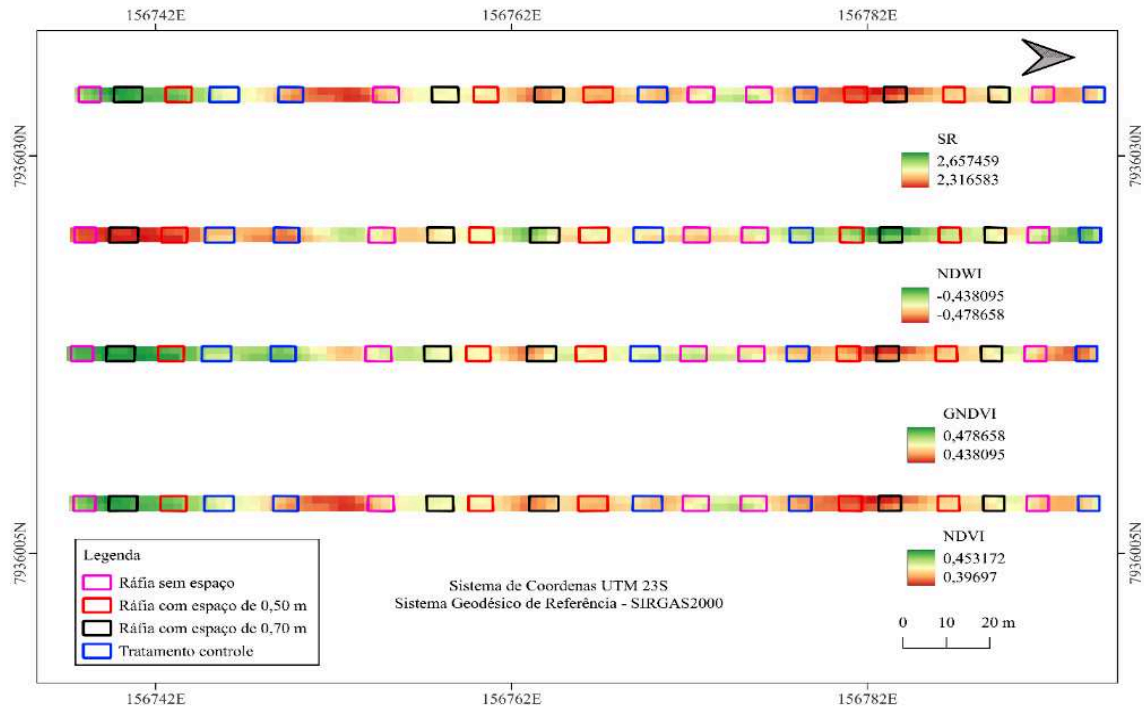
De acordo com os mapas temáticos que mostram os índices de vegetação aos 3, 4, 6, 16, 17, 20 e 23 MIR, respectivamente (Figuras 8 a 14), o índice NDWI apresentou amplitude variando de -0,62 e -0,14, enquanto o índice SR apresentou amplitude de 1,18 a 5,35 nas épocas analisadas. Valores negativos no NDWI, representados pela cor vermelha, indicam baixo conteúdo de água na vegetação e cobertura vegetal escassa. Por outro lado, os índices NDVI e GNDVI apresentaram amplitudes de 0,08 a 0,68 e 0,14 a 0,62, respectivamente. Nos mapas, os menores valores são destacados em vermelho, indicando menor biomassa e clorofila, enquanto os maiores valores são mostrados em verde, evidenciando maior teor de biomassa e clorofila na vegetação.

Figura 8 - Mapa temático contendo índices de vegetação (SR, NDWI, GNDVI E NDVI) aos 3 meses após a instalação da ráfia.



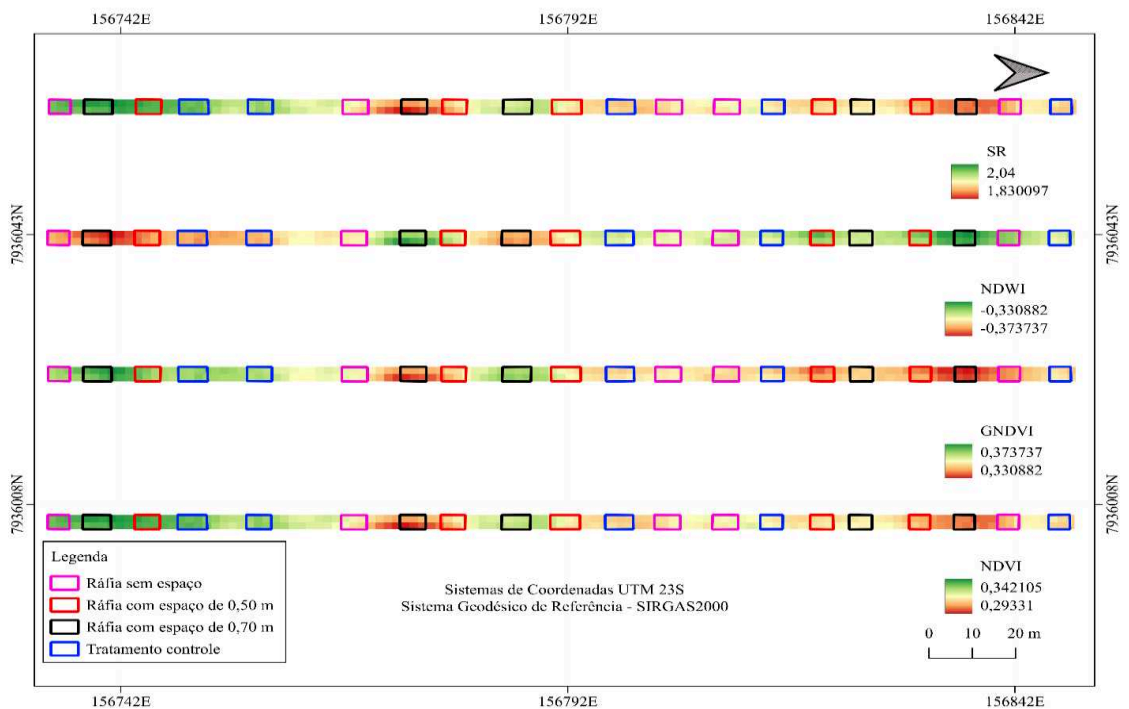
Fonte: A autora (2024).

Figura 9 - Mapa temático contendo índices de vegetação (SR, NDWI, GNDVI E NDVI) aos 4 meses após a instalação da ráfia.



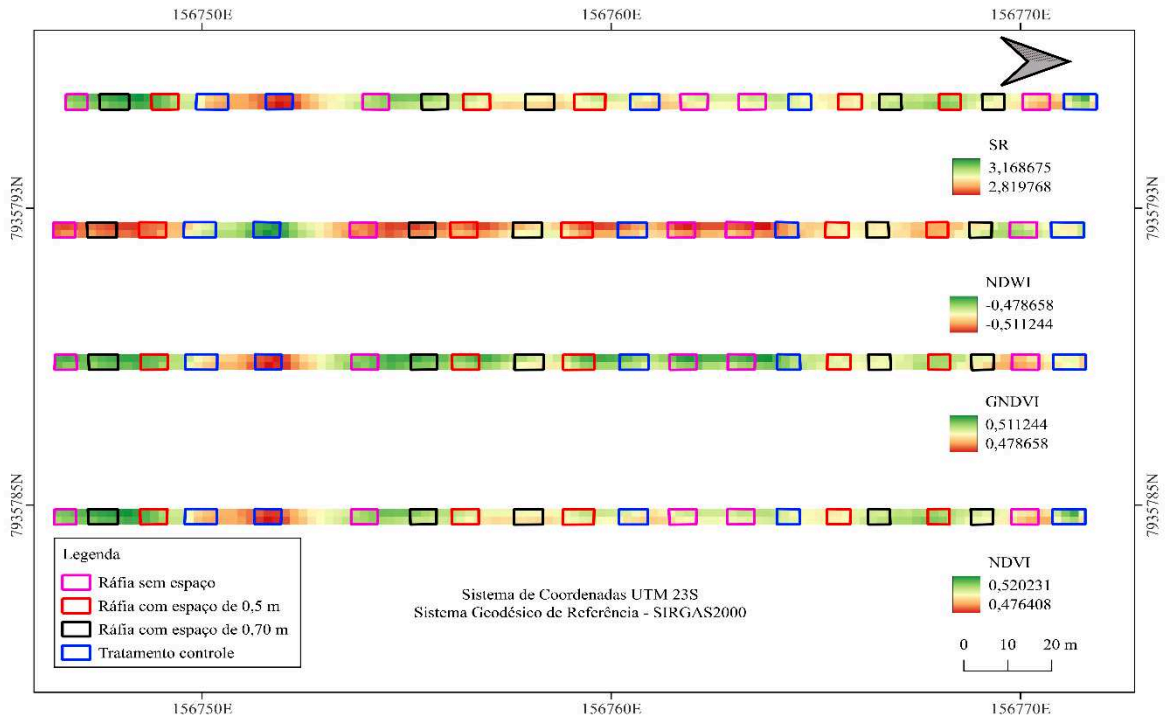
Fonte: A autora (2024).

Figura 10 - Mapa temático contendo índices de vegetação (SR, NDWI, GNDVI E NDVI) aos 6 meses após a instalação da ráfia.



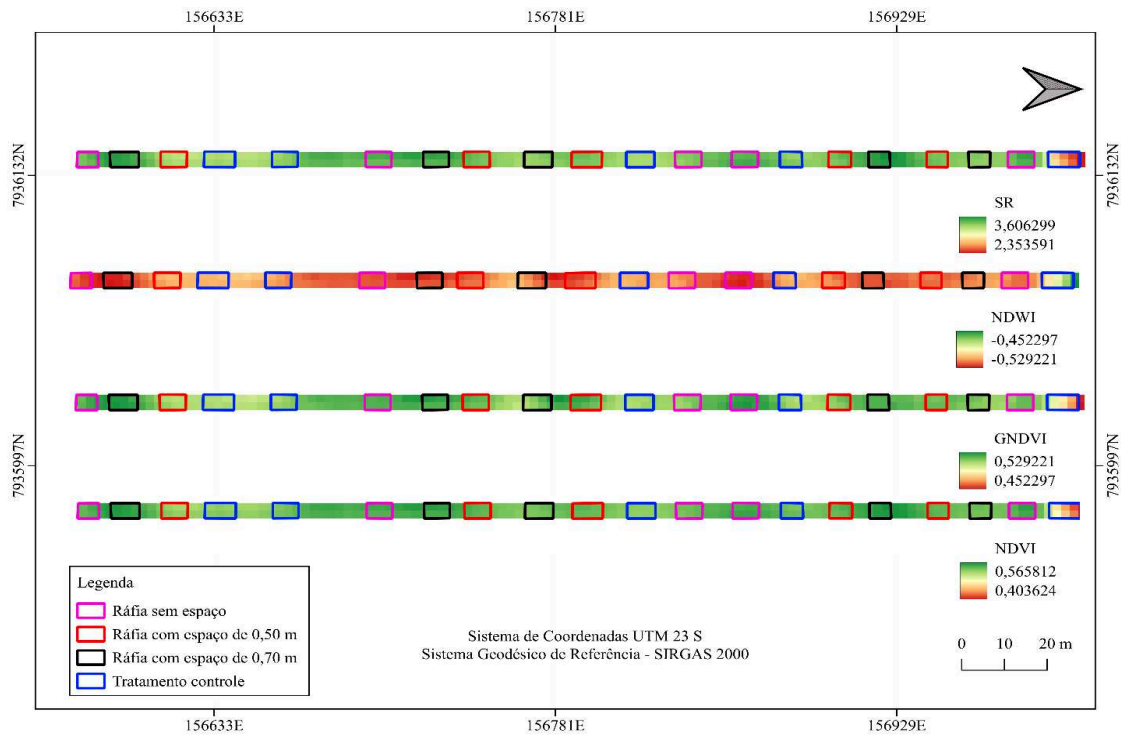
Fonte: A autora (2024).

Figura 11 - Mapa temático contendo índices de vegetação (SR, NDWI, GNDVI E NDVI) aos 16 meses após a instalação da ráfia.



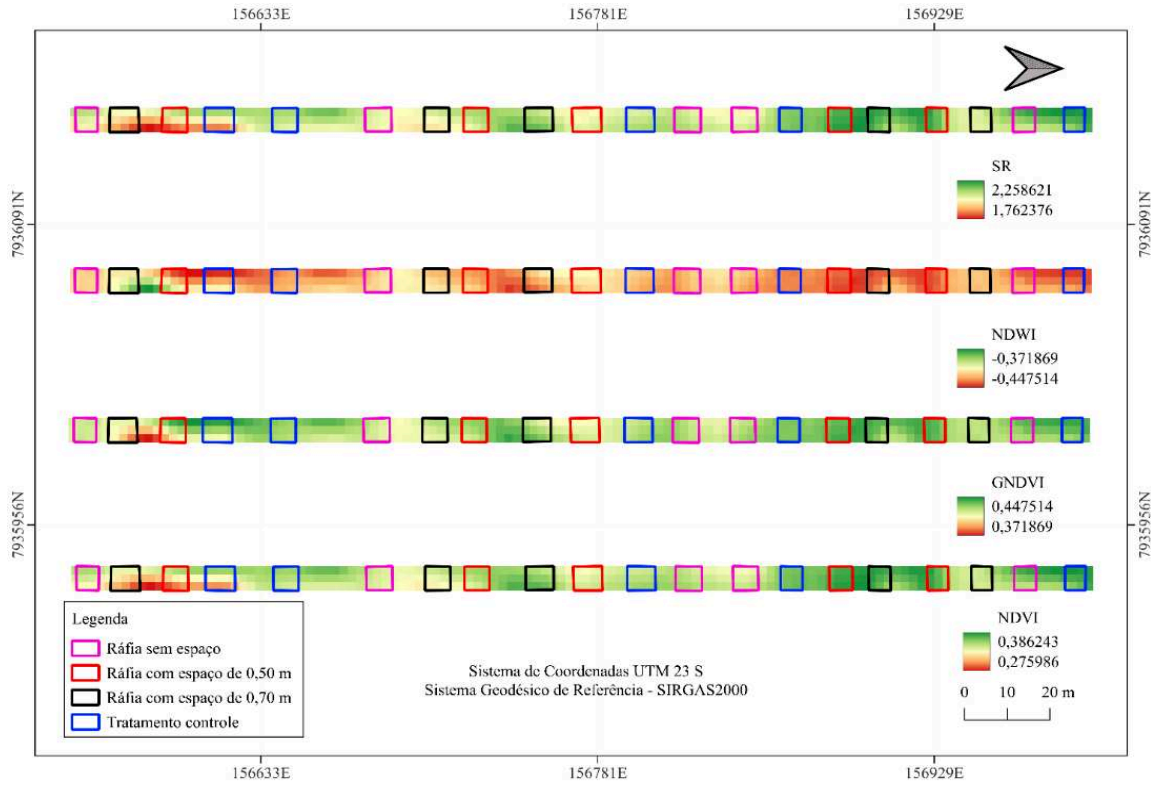
Fonte: A autora (2024).

Figura 12 - Mapa temático contendo índices de vegetação (SR, NDWI, GNDVI E NDVI) aos 17 meses após a instalação da ráfia.



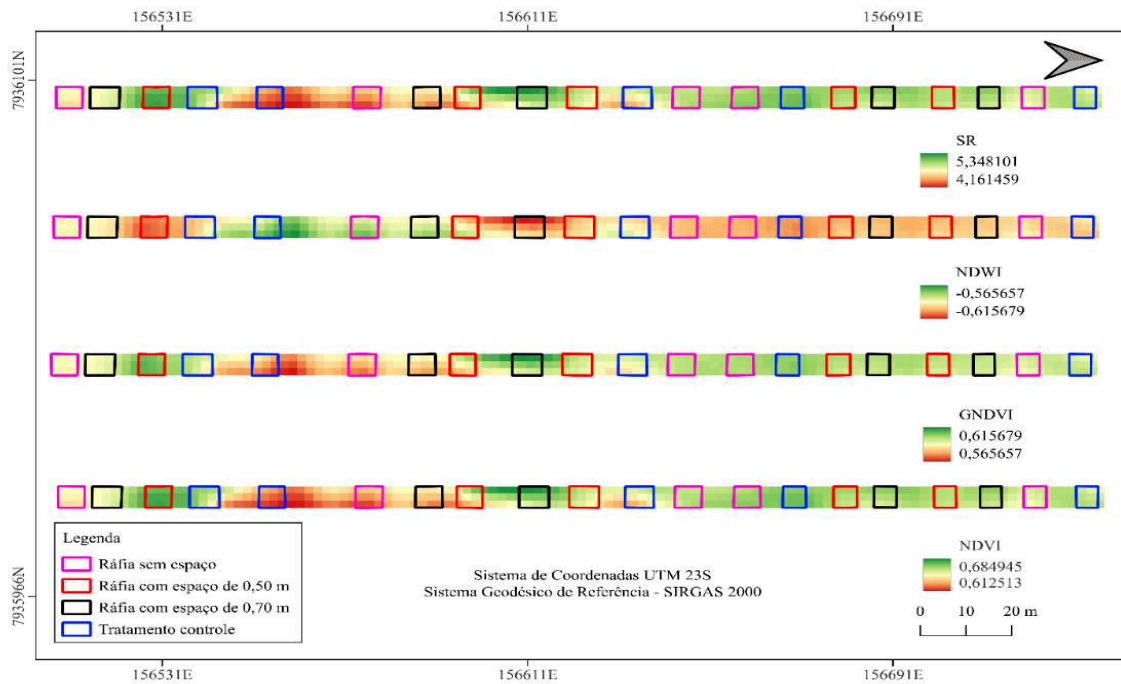
Fonte: A autora (2024).

Figura 13 - Mapa temático contendo índices de vegetação (SR, NDWI, GNDVI E NDVI) aos 20 meses após a instalação da ráfia.



Fonte: A autora (2024).

Figura 14 - Mapa temático contendo índices de vegetação (SR, NDWI, GNDVI E NDVI) aos 23 meses após a instalação da ráfia.



Fonte: A autora (2024).

As bandas espectrais do satélite CBERS e os índices de vegetação resultaram em melhores valores de exatidão global, próximos a 100%. Da mesma forma, o coeficiente *Kappa* apresentou valores próximos a 1 com base na classificação supervisionada com uso do algoritmo *Random Forest* (Tabela 9).

Tabela 9 - Classificação supervisionada dos tratamentos para os intervalos de avaliação

Sub.Class.	3 MIR		4 MIR		6 MIR		16 MIR		17 MIR		20 MIR		23 MIR		
	<i>Random Forest</i>														
	EG	K	EG	K	EG	K	EG	K	EG	K	EG	K	EG	K	
P.A	30,63	0,06	34,38	0,11	22,5	-0,05	27,5	0,02	27,50	0,02	22,50	-0,05	28,75	0,05	
CBERS, Índices	86,88	0,82	84,38	0,79	80,0	0,73	85,0	0,80	86,25	0,81	81,88	0,76	90,00	0,87	

Sub.Class.: Subconjuntos classificados, P.A: Parâmetros Agronômicos, K: Índice Kappa, EG: Exatidão Global em %.

Fonte: A autora (2024).

Diante dos resultados obtidos, foram computadas as matrizes de confusão para os subconjuntos bandas espectrais do satélite CBERS e os índices de vegetação aos 3, 4, 6, 16, 17, 20 e 23 MIR.

Aos 3 MIR, o classificador *Random Forest* obteve índice de exatidão global de 86,88% e coeficiente Kappa de 0,82, demonstrando boa capacidade na discriminação dos tratamentos (Tabela 9). O maior erro de omissão (21,74%) e comissão (17,39%) foi observado nas classes a e d, indicando menor potencial em diferenciação dessas classes. O melhor resultado da classificação foi verificado para a classe b, com menor erro de omissão (9,09%) e comissão (9,09%), mostrando que o melhor resultado das classificações foi para a classe rafia com espaço de 0,50 m (Tabela 10).

Tabela 10 - Matriz de confusão computada a partir do conjunto de dados do sensor multiespectral orbital e índices de vegetação para as classes de tratamento aos 3, 4, 6, 16, 17, 20 e 23 meses após a instalação da rafia (MIR)

3 MIR						
Classes	A	b	c	d	Σ	Eo (%)
a	23	0	2	3	28	21,74
b	0	40	1	3	44	9,09
c	3	1	38	2	44	13,64
d	1	3	2	38	44	13,64
Σ	27	44	43	46	160	
Eco (%)	14,81	9,09	11,63	17,39		

4 MIR						
Classes	A	b	c	d	Σ	Eo (%)
a	22	3	1	2	28	27,27
b	1	38	1	4	44	13,64

c	0	4	37	3	44	15,91
d	0	2	4	38	44	13,64
Σ	23	47	43	47	160	
Eco (%)	4,35	19,15	13,95	19,15		
6 MIR						
Classes	A	b	c	d	Σ	Eo (%)
a	22	3	0	3	28	27,27
b	0	36	5	3	44	18,18
c	0	3	37	4	44	15,91
d	1	3	7	33	44	25,00
Σ	23	45	49	43	160	
Eco (%)	4,35	20,00	24,49	23,26		
16 MIR						
Classes	A	b	c	d	Σ	Eo (%)
a	21	1	1	5	28	33,33
b	0	37	3	4	44	15,91
c	0	2	40	2	44	9,09
d	0	4	2	38	44	13,64
Σ	21	44	46	49	160	
Eco (%)	0	15,91	13,04	22,45		
17 MIR						
Classes	A	b	c	d	Σ	Eo (%)
a	21	2	3	2	28	33,33
b	2	40	1	1	44	9,09
c	0	1	39	4	44	11,36
d	0	1	5	38	44	13,64
Σ	23	44	48	45	160	
Eco (%)	8,70	9,09	18,75	15,56		
20 MIR						
Classes	A	b	c	d	Σ	Eo (%)
a	22	2	2	2	28	27,27
b	2	39	2	1	44	11,36
c	4	2	34	4	44	22,73
d	1	0	7	36	44	18,18
Σ	29	43	45	43	160	
Eco (%)	24,14	9,30	24,44	16,28		
23 MIR						
Classes	A	b	c	d	Σ	Eo (%)
a	39	1	0	0	40	2,56
b	1	35	1	3	40	12,50
c	2	1	36	1	40	10,00
d	2	0	4	34	40	15,00
Σ	44	37	41	38	160	
Eco (%)	11,36	5,41	12,20	10,53		

Eo: Erro de omissão (%); Eco: Erro de Comissão (%).

Classes de tratamento: duas faixas de rafia posicionadas juntas nos dois lados das plantas de café (a), duas faixas de rafia posicionadas dos dois lados das linhas de café e distantes em 0,5 m (b), duas faixas de rafia posicionadas dos dois lados das linhas de café e distantes em 0,7 m (c) e o tratamento sem a rafia (d).

Fonte: A autora (2024).

Aos 4 MIR, o classificador apresentou índice de exatidão global de 84,38% e coeficiente Kappa de 0,79 (Tabela 9). O maior erro de omissão (27,27%) e comissão (19,15%), foi observado nas classes a, b e d verificando assim, menor capacidade do algoritmo em discriminar essas classes. Nessa época de avaliação, a classe a apresentou menor valor de erro de comissão (4,35%) (Tabela 10). Aos 6 MIR, observa-se um valor de exatidão global de 80,00% e coeficiente *Kappa* de 0,73 (Tabela 9), com maior erro de omissão (27,27%) e maior erro de comissão (24,49%), para as classes a e c, respectivamente (Tabela 10).

Aos 16 MIR, verifica-se um aumento no valor de exatidão global de 85% e índice *Kappa* de 0,80 (Tabela 9). O maior erro de omissão foi de 33,33% e o maior erro de comissão de 22,45%, para as classes a e d, respectivamente. Os menores erros de omissão (9,09%) e comissão (0%), foram verificados para as classes c e a, respectivamente (Tabela 10). Aos 17 MIR, o coeficiente de exatidão global foi de 86,25% e o índice *Kappa* de 0,81, evidenciando uma boa precisão dos dados (Tabela 9). Nesse período, os maiores erros de omissão (33,33%) e erro de comissão (15,56%) foram para as classes a e d, respectivamente, o que verifica menor capacidade do algoritmo em discriminá-las (Tabela 10).

Aos 20 MIR, o classificador *Random Forest*, obteve índice de exatidão global de 81,88% e coeficiente *Kappa* de 0,76 (Tabela 9). A diminuição da exatidão global, assim como do coeficiente *Kappa*, pode ser explicado também pela ocorrência do período de seca na cultura, assim como observado aos 6 MIR. O maior erro de omissão (27,27%) e comissão (24,44%) foi observado nas classes a e c, respectivamente, indicando menor potencial em diferenciação de ambas as classes mencionadas. O melhor resultado da classificação foi verificado para a classe b, com menor erro de omissão (11,36%) e comissão (9,30%), mostrando que o melhor resultado das classificações, nesse período, foi para a classe rafia com espaço de 0,50 m (Tabela 10).

Por fim, aos 23 MIR verifica-se aumento na exatidão global de 90% e índice *Kappa* de 0,87, evidenciando uma excelente discriminação dos tratamentos (Tabela 9). O maior erro de omissão (15,00%) e de comissão (12,20%) foi observado para as classes d e c, respectivamente, demonstrando maior dificuldade do algoritmo em discriminar essas classes. Em contrapartida, os menores erros de omissão (2,56%) e de comissão (5,41%), foram observados para as classes a e b, sendo, nesse período, mais bem discriminadas (Tabela 10).

4 DISCUSSÃO

4.1 Avaliações relativas às plantas de cafeeiro

A rafia não influenciou os parâmetros de crescimento das plantas de café, possivelmente, devido à oferta de água e fertilizantes a todas as plantas antes e durante o experimento. É importante destacar também os cuidados com relação à proteção vegetal. As plantas daninhas foram controladas em todas as parcelas, após aplicações dos herbicidas e o controle mecânico.

Outro ponto importante é a perenidade do cafeeiro. Tais plantas são equilibradas do ponto de vista de investimento em biomassa e inclusive apresentam bienalidade de produção de grãos. Anos com alta carga produtiva são alternados com anos de baixa produção, devido ao equilíbrio fisiológico. As plantas direcionam fotossintatos para novos ramos ou grãos a depender do ano (Picini, 1998). Dessa forma, acredita-se que os possíveis efeitos da rafia podem ser percebidos em avaliações posteriores a quatro anos. Resultados semelhantes foram destacados por Paiva *et al.* (2017), Silva (2020) e Morais *et al.*, (2022), onde não verificaram diferenças significativas nos parâmetros fitotécnicos do cafeeiro ao avaliarem outros tipos de cobertura de solo na linha das plantas de café.

A observação do efeito da rafia, apenas no segundo ano de colheita, pode estar relacionada ao equilíbrio entre produção de frutos e ramos em plantas de café, onde, no presente trabalho, as plantas eram novas. Ademais, a composição dos frutos em função da maturação é influenciada pelo ano de colheita (Pimenta; Vilela, 2003). Considerando o segundo ano de colheita, as plantas apresentavam aproximadamente 0,9 m de faixa coberta pelos ramos (Figura 5). Assim, percebe-se que havia aproximadamente 0,15 m de rafia, além da área de projeção das plantas para as parcelas com a rafia espaçada em 0,7 m. Para as parcelas com rafia espaçadas a 0,5 m e para aquelas sem espaçamento, toda a rafia encontrava-se abaixo das plantas de café, protegidas pela radiação direta do solo. Portanto, é possível que uma faixa de rafia, além da projeção dos ramos de café, prejudique a quantidade de frutos tipo cereja. Tal fato poderia ser explicado pelo aumento da temperatura nessa faixa, devido à incidência do sol diretamente sobre a rafia.

Os tipos de cobertura do solo influenciam, diretamente, a temperatura. Tal parâmetro está relacionado à reflectância da energia solar e à possibilidade de evaporação. A rafia apresenta cor predominantemente escura, que aumenta a absorção e manutenção de energia no

solo (Kosterna, 2014; Wadas, 2016), o que pode prejudicar as raízes do cafeeiro que têm alta densidade exatamente nessa faixa de projeção da copa (Rena; Guimarães, 2000; Motta *et al.*, 2006). Outros autores verificaram o efeito da cobertura do solo com plástico e o efeito na classificação dos frutos de café em relação ao grau de maturação (Santos, 2017; Nascimento *et al.*, 2020). Os autores atribuem as mudanças ao efeito na temperatura do solo.

Quando a rafia permaneceu junto ao caule, também foi observada menor porcentagem de frutos tipo cereja no segundo ano de avaliação. Tal fato pode estar relacionado à menor evaporação de água naquela região, onde os gotejadores são posicionados. É importante frisar que a irrigação da lavoura foi realizada de acordo com as exigências da cultura e do ambiente (evapotranspiração). O cafeeiro é sensível ao encharcamento e a diminuição de oxigenação na rizosfera influencia, inclusive, na absorção de nutrientes (Silveira *et al.*, 2014). Acredita-se que a insensibilidade desses parâmetros, no presente trabalho, seja justificada pela idade da lavoura (3º e 4º anos). Além disso, especificamente a respeito da avaliação no primeiro ano (7 MIR), a rafia foi posicionada com os frutos em estágio de chumbinho, assim, o efeito do tratamento nos frutos não foi observado.

Em relação à produtividade e à classificação dos grãos quanto ao tamanho e formato, acredita-se, novamente, que o não efeito da rafia sobre essas variáveis seja devido à perenidade das plantas e aos tratamentos relativos à adubação e proteção vegetal realizados em toda a área. Menciona-se que nas parcelas com a rafia, a aplicação de herbicidas não seria necessária devido ao controle que a cobertura promove, dessa forma, o presente resultado contribuiu para diminuição do uso de herbicidas em áreas de café. Os herbicidas estão relacionados a grandes vantagens, porém, há também grandes prejuízos relacionados à saúde humana e contaminação ambiental, principalmente em águas subterrâneas e superficiais (Queiroz *et al.*, 2018).

Foi observada maior pontuação de bebida nas parcelas que não receberam rafia nas duas safras analisadas. Entretanto, vários fatores no processamento pós-colheita podem influenciar na análise sensorial, principalmente o revolvimento do café no terreiro. A utilização de outros tipos de cobertura na linha do café, como o *mulching* de polietileno, tem evidenciado aceleração na maturação dos frutos, reduzindo o percentual de frutos verdes e, conseqüentemente, a adstringência da bebida, promovendo a obtenção de cafés com padrão de bebida especial (Nascimento *et al.*, 2020).

Os estudos relativos ao uso de coberturas na linha das plantas de café têm sido desenvolvidos e um dos principais indicadores avaliados é a produtividade. Porém, o conjunto de plantas de café, devido ao equilíbrio na síntese e distribuição dos fotoassimilados, apresenta

respostas mais concisas em avaliações em longo prazo. Portanto, outros indicadores parciais tais como, comprimento e número de ramos plagiotrópicos devem ser levados em consideração dada a perenidade da cultura (Valoto *et al.*, 2017; Nascimento *et al.*, 2020; Caixeta *et al.*, 2022).

4.2 Dinâmica da água no solo

Para o período estudado, houve uma adequada oferta de água para as plantas de cafeeiro (Figura 6). Para a cultura, a demanda hídrica em condições normais de desenvolvimento e sem a ocorrência de perdas de produtividade, encontra-se em torno de 1.400 mm a 2.500 mm de chuva por ano, sendo *C. arabica* uma das espécies que apresenta menor demanda hídrica (Wintgens, 2004; Humphries *et al.*, 2024). Segundo Nascimento e Novais (2020), na região do Cerrado Mineiro, as maiores lâminas precipitadas concentraram-se nos meses que coincidiram com as estações primavera-verão (outubro a março), época marcada pela intensidade de chuvas. Já em épocas que coincidiram com o inverno (abril a setembro), a precipitação reduz bastante, uma vez que é o período mais seco do ano. Diante disso, a necessidade hídrica depende de vários fatores, como a distribuição da precipitação ao longo dos estádios fenológicos da cultura, as condições de energia térmica durante as estações e, conseqüentemente, do ritmo anual da evapotranspiração potencial.

A temperatura média anual de 24,85°C apresentou valor superior ao da faixa considerada ótima (18°C a 22°C) para o desenvolvimento reprodutivo e vegetativo do cafeeiro (Figura 6). Temperaturas superiores a 23°C, principalmente associadas à seca no período de florescimento, podem induzir o abortamento floral, restringindo assim, a frutificação (Santinato; Fernandes; Fernandes, 1996). De acordo com Sedyama *et al.* (2001), cafeeiros cultivados em áreas irrigadas possuem bom desenvolvimento, com faixas de temperatura média anual entre 23,5°C e 24,0°C. Diante disso, o valor de temperatura acima do esperado na área de estudo pode ser justificado pela ocorrência de um ano atípico, marcado pela incidência de fortes ondas de calor em razão do fenômeno climático El Niño, o que ocasionou a elevação de temperatura na região do Cerrado Mineiro (INMET, 2024). A evapotranspiração de referência (ET₀) avaliada demonstrou maiores valores em épocas chuvosas (Figura 6). Isso se explica pelo fato de que, nesse período, a temperatura do ar também se eleva, aumentando, assim, a demanda evaporativa da cultura (Hargreaves; Samani, 1985).

Em relação à tensão de água no solo, infere-se que, quanto maior a tensão de água no solo observada à campo, menor será a sua umidade, indicando menor disponibilidade hídrica

na camada de solo monitorada. Também, ao instalar no campo três níveis de profundidade para monitoramento da tensão de água no solo, espera-se que, ao fazer uma reposição hídrica satisfatória via irrigação, sejam observados valores compatíveis nas medidas entre os dois tensiômetros mais superficiais (0,20 e 0,40 m) e maiores valores nos tensiômetros profundos, uma vez que a água aplicada via irrigação tende a se infiltrar primeiro nas camadas superficiais do solo, reduzindo primeiramente a tensão de água nessas camadas. Além disso, as raízes do cafeeiro podem estar concentradas 80% na profundidade de até 0,50 m, impactando na retenção de água e nos menores valores de tensão (Rena; Guimarães, 2000). Diante disso, esse comportamento, dentro de certo limite, sugere que não houve uma reposição hídrica acima da evapotranspiração, isso é, não houve desperdício e/ou estresse hídrico.

As oscilações de tensão de água no solo ocorreram entre os meses de fevereiro de 2022 a julho de 2022, onde a lâmina de irrigação foi menor. Após o mês de agosto de 2022 a setembro de 2023, a estabilidade das tensões (Figura 7) foi ocasionada pelo aumento da lâmina de irrigação, culminando em um maior fornecimento de água ao solo, tornando-a mais disponível à zona radicular do cafeeiro, estabilizando assim, os valores de tensão. Com exceção do mês de março de 2022, as plantas de café detinham de uma boa disponibilidade de água no solo, uma vez que, apesar de ocorrerem oscilações, as tensões se mantiveram ao longo do período abaixo de 30 kPa. No mês de março, as plantas se encontravam em déficit hídrico moderado, apresentando tensões acima de 30 kPa.

Santos (2017), ao estudar o uso de *mulching* plástico na cobertura de solo de cafeeiros jovens irrigados por gotejamento, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, não observou benefícios na produtividade e qualidade de grãos de café quando a tensão de água no solo foi mantida na faixa de até 20 kPa. Nesse estudo, o uso do *mulching*, associado à tensão de irrigação de 60 kPa, promoveu produtividade 69,11% superior, quando comparado ao solo sem cobertura e às tensões de 20 kPa e 40 kPa. Segundo os autores, nesta tensão (60 kPa), as irrigações são realizadas com menor frequência e a lâmina de água aplicada anualmente é menor, fazendo com que o solo ficasse mais seco e com valores de tensão distante da capacidade de campo (10 kPa). Ainda nesse estudo, o uso de *mulching* associado às tensões de 40 kPa e 60 kPa, promoveram maior porcentagem de grãos chatos e graúdos, sendo esses, de maior interesse para o mercado.

4.3 Índices de vegetação e classificação supervisionada por Random Forest

Os índices de vegetação, quando analisados ao longo do tempo, podem ofertar informações valiosas sobre a dinâmica da vegetação, a disponibilidade de água e a resposta espectral dos cafeeiros. Os índices de vegetação SR, GNDVI e NDVI se comportaram de maneira semelhante, aumentando seus valores à medida que o crescimento vegetativo do cafeeiro aconteceu. Quando esses índices de vegetação apresentam valores mais altos, evidencia-se que a vegetação está saudável e densa. Ao passo que valores mais baixos, há indícios de plantas estressadas ou com pouca cobertura vegetal (Silva *et al.*, 2004). Em épocas com flutuações na temperatura e aumento da quantidade de chuvas como primavera e verão (23 MIR), observou-se que esses índices foram mais altos devido ao aumento da atividade fotossintética e, conseqüentemente, o crescimento vegetativo.

Um destaque importante deve ser observado para o índice NDWI, que apresentou valor negativo para todos os períodos, o que corresponde à baixa biomassa do vegetal e presença de solo exposto, representada, prioritariamente, pelas áreas em vermelho nos mapas. Essas áreas tendem a ter maior reflectância na banda do infravermelho próximo (NIR), em comparação à banda do verde (utilizada para representar a vegetação), resultando em valores negativos de NDWI (Abouhaileh, 2023; Nascimento *et al.*, 2020). Esse fato pode ser justificado pelo espaçamento largo adotado na implantação do cafeeiro (3,8 m entre linhas), bastante utilizado na região do Cerrado Mineiro, em lavouras com tratos culturais mecanizados. Além disso, por se tratar de uma lavoura nova (3^o e 4^o anos), as plantas ainda se encontram na fase de crescimento vegetativo e a menor densidade foliar pode resultar em valores negativos de NDWI (Alvino *et al.*, 2020; Guidotti *et al.*, 2019).

Outro fator foi a ocorrência de ondas de calor devido ao El Niño, causando aquecimento acima da média das águas do Oceano Pacífico Equatorial, favorecendo o aumento da temperatura em várias regiões do planeta, como no estado de Minas Gerais, onde os termômetros marcaram temperaturas acima de 38°C (INMET, 2024). Sabendo que a faixa ótima de temperatura, para o desenvolvimento do cafeeiro, varia de 18°C a 21°C, valores de temperatura acima do ideal promovem aceleração no amadurecimento dos frutos, culminando em perda de qualidade e abortamento de botões florais, havendo uma redução dos processos fotossintéticos devido ao fechamento estomático para minimizar a perda de água. A queda foliar é maior em períodos de temperaturas elevadas e ocorre devido à produção abundante de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), que causam danos celulares. Em resposta, o cafeeiro

começa a produzir, descontroladamente, o hormônio etileno, que promove a abscisão de folhas, devido à desorganização das paredes celulares em células localizadas nas zonas ou camadas de abscisão, contribuindo na resposta espectral do vegetal, refletindo, assim, em valores negativos de NDWI, devido a uma menor densidade foliar (DaMatta *et al.*, 2008; Morgan; Drew, 1997; Silva *et al.*, 2020).

A falta de diferenças significativas nos parâmetros agronômicos do cafeeiro indicou que a distribuição de biomassa na área é relativamente homogênea, fazendo com que a reflectância da luz pela vegetação ocorra de maneira abundante, tendo como resultado índices multiespectrais, que representam a uniformidade do dossel da cultura (Haboudane, 2004). Ainda, a lâmina de irrigação constante promove padrões de reflectância mais homogêneos, refletindo, assim, em valores de índices de vegetação mais constantes, mascarando os efeitos esperados pela ação da rafia (Hatfield *et al.*, 2008).

A classificação supervisionada dos tratamentos em conjunto com índices de vegetação e bandas espectrais do sensor CBERS (Tabela 9) demonstraram maior capacidade na diferenciação dos tratamentos, uma vez que há um maior destaque das características do vegetal como biomassa, índice de área foliar e análise do teor de clorofila, que influenciam positivamente na resposta espectral da cultura e que, embora não foram analisadas, são importantes ferramentas para auxiliar nas avaliações em campo, tornando-as menos trabalhosas e possibilitando o fornecimento de dados mais precisos (Rumpf *et al.*, 2010).

Ao observar os resultados da classificação supervisionada, verificou-se que houve uma variação na exatidão global e no coeficiente *Kappa* ao longo dos diferentes meses, após a instalação da rafia. Aos 6 e 20 MIR (junho de 2022 e agosto de 2023), ocorreu diminuição desses parâmetros, que pode ser justificado pela ocorrência do período de restrição hídrica acompanhado de temperaturas mais amenas, culminando, assim, na redução da taxa de crescimento das plantas e, conseqüentemente, na diminuição da precisão da classificação. Os maiores valores para o coeficiente *Kappa* e exatidão global foram verificados aos 23 MIR (outubro de 2023), período coincidente com a fase de formação dos frutos, além de ser uma época simultânea à ocorrência de chuvas e temperaturas mais elevadas, resultando em um crescimento mais intenso dos cafeeiros.

Em estudo realizado por Rezende *et al.* (2023), ao utilizar imagens multiespectrais para discriminar fontes de adubo na cultura do cafeeiro, a partir de análise supervisionada, utilizando algoritmo *Random Forest*, obtiveram 86,66% de exatidão global e índice *Kappa* de 0,80 na classificação dos dados RGN e Índices de Vegetação. Diante disso, a classificação

supervisionada, utilizando dados de imagens multiespectrais, é uma ferramenta promissora, uma vez que é capaz de fornecer uma acurácia superior em relação à classificação apenas com o uso dos parâmetros agronômicos, servindo, também, como ferramenta auxiliar para as análises realizadas em campo. Assim, o uso de imagens multiespectrais, para classificação e acompanhamento da lavoura cafeeira, constitui uma opção de baixo custo e que proporciona resultados confiáveis.

5 CONCLUSÕES

Não houve efeito da cobertura do solo com rafia em relação aos parâmetros de crescimento, produtividade, classificação física quanto ao tamanho e formato de grãos de café.

Diferenças na dinâmica da água no solo foram observadas apenas no período de fevereiro de 2022 a agosto de 2023. Após esse período, os tratamentos se comportaram de maneira semelhante em relação ao aporte de água no solo.

O uso de imagens multiespectrais, aliado a modelos de aprendizagem de máquinas, são ferramentas complementares para as análises de campo, uma vez que são capazes de apresentar maior acurácia em comparação à análise isolada de parâmetros agronômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUHAILE, Y. **Predicting the Normalized Difference Vegetation Index from Satellite Images**. 2023. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Computer Science, Università di Genova, Genova, 2023.

ALVINO, F. C. G.; ALEMAN, C. C.; FILGUEIRAS, R.; ALTHOFF, D.; CUNHA, F. F. Índices de vegetação para monitoramento de milho irrigado. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 322–333, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n3p322-333/2020>.

BALÃO, M. J. R. **Classificação de imagens multiespectrais para elaboração de cartografia de base topográfica**. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geoespacial, Departamento de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/40202>. Acesso em: 02 jan. 2024.

BOLFE, É. L.; JORGE, L. A. C.; SANCHES, I. D.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; COSTA, C. C.; VICTORIA, D. C.; INAMASU, R. Y.; GREGO, C. R.; FERREIRA, V. R.; RAMIREZ, A. R. Precision and Digital Agriculture: adoption of technologies and perception of brazilian farmers. **Agriculture**, [s.l.], v. 10, n. 12, p. 653, 21 dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture10120653>.

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, [s.l.], v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324#citeas>. Acesso em: 12 jun. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/a:1010933404324>.

CAIXETA, L. G.; ASSIS, G. A.; NASCIMENTO, L. G.; FERNANDES, M. I. S.; COTA, B. M. A.; SILVA, G. D.; SILVA NETO, R. Mulching de polietileno e fontes de adubo em cafeeiros: efeitos no teor de clorofila, produtividade e qualidade de bebida. **Research, Society And Development**, [s.l.], v. 11, n. 14, 27 out. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i14.35993>.

CASTANHEIRA, D. T.; RESENDE, T. B.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, M. A. F.; REZENDE, T. T.; BASTOS, I. S.; CRUVINEL, A. H. Agronomic Techniques for Mitigating the effects of water Restriction on Coffee Crops. **Coffee Science**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 104–115, 2019. Disponível em: <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1542>. Acesso em: 10 jul. 2024. DOI: <https://doi.org/10.25186/cs.v14i1.1542>.

COHEN, J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational And Psychological Measurement**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 37-46, abr. 1960. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/001316446002000104>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café: quarto levantamento: safra 2022**. Brasília, 15 dez. 2022. Portal: Conab. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/caffe>. Acesso em: 29 jun. 2024.

CONTRERAS-MEDINA.; D.I.; CAMARGO, M.E.; DÍAZ-NIETO, E. S. Scientific and technological knowledge: a review of sustainable benefits on the coffee sector. *In*: RAMAKRISHNA, A.; PARVATAM, G.; MAGDALENA, J. S. **Coffee science biotechnological advances, economics, and health benefits**. 1. ed. CRC Press: Boca Raton. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003043133>. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781003043133/coffee-science-akula-ramakrishna-parvatam-giridhar-magdalena-jeszka-skowron>. Acesso em: 21 jun. 2024.

COSTA, E. R.; NEVES, P. E.; SILVA, A. J. M. Ortoretificação: um passo a mais no processamento de imagens CBERS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Inpe, 2007. p. 827-833. Disponível em: <http://martem.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.16.00.16/doc/827-833.pdf>. Acesso em: 04 jan.2024.

DA MATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 19, n. 4, p. 485–510, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1677-04202007000400014>.

EL-BELTAGI, H. S.; BASIT, A.; MOHAMED, H. I.; ALI, I.; ULLAH, S.; KAMEL, E. A. R.; SHALABY, T. A.; RAMADAN, K. M. A.; ALKHATEEB, A. A.; GHAZZAWY, H. S. Mulching as a sustainable water and soil saving practice in agriculture: a review. **Agronomy (Basel, Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 1881, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12081881>.

ESCOBAR-LÓPEZ, A.; CASTILLO-SANTIAGO, M. Á.; MAS, J. F.; HERNÁNDEZ-STEFANONI, J. L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. O. Identification of coffee agroforestry systems using remote sensing data: a review of methods and sensor data. **Geocarto international**, [s.l.], v. 39, n. 1, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2023.2297555>.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, (INPE). São José dos Campos: INPE, 2000. 105p.

FONTES, D. R; RIBEIRO. A. P.; REIS, M. R; INOUE, M. H.; MENDES, K. F. Integrated weed management in coffee for sustainable agriculture – A practical Brazilian approach. *In*: MENDES, K.F. **New Insights in Herbicide Science**, [s.l.], IntechOpen, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.108881>.

FRANK, E.; HALL, M. A.; WITTEN, I. H. **The WEKA Workbench. Online Appendix for Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (2016)**. 4th ed. Disponível em: https://waikato.github.io/weka-wiki/citing_weka. Acesso em: 14 de jul. 2024.

FRUTUOSO, D. G. **Recuperação de informação e classificação de entidades organizacionais em textos não estruturados**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação), Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2016.

GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America journal**, [s. l.], v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980. DOI: <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote sensing of environment**, [s. l.], v. 58, n. 3, p. 289–298, 1996. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00072-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00072-7).

GUIDOTTI, D.; MARCHI, S.; ANTOGNELLI, S. CRUCIANI, A. Water Management: Agricolus tools integration. **Global IoT Summit (GIOTS)**, Aarhus, Denmark, p. 1-5, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/GIOTS.2019.8766408>.

HABOUDANE, D. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote sensing of environment**, [s. l.], v. 90, n. 3, p. 337–352, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013>.

HARGREAVES, G. H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 0701–0704, 1974. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.36941> Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.36941>. Acesso em: 11 de jul. 2024.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied engineering in agriculture**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 96–99, 1985. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>.

HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. **Agronomy journal**, [s. l.], v. 100, n. S3, p.117-131, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2006.0370c>.

HUMPHRIES, U. W.; WAQAS, M.; HLAING, P. T.; WANGWONGCHAI, A.; DECHPICHAJ, P. Determination of crop water requirements and potential evapotranspiration for sustainable coffee farming in response to future climate change scenarios. **Smart Agricultural Technology**, [s. l.], v. 8, n. 100435, p. 100435, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2024.100435>.

HUNT, D. A.; TABOR, K.; HEWSON, J. H.; WOOD, M. A.; REYMONDIN, L.; KOENIG, K.; SCHMITT-HARSH, M.; FOLLETT, F. Review of remote sensing methods to map coffee production systems. **Remote sensing**, [s. l.], v. 12, n. 12, p. 2041, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/rs12122041>.

HUNT, E. R.; DAUGHTRY, C. S. T. What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture?. **International journal of remote sensing**, [s. l.], v. 39, n. 15–16, p. 5345–5376, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2017.1410300>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Cidades**. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/araguari/pesquisa/15/11863>. Acesso em: 29 jun. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos–GPS**. Brasília, DF, 2008. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf. Acesso em: 05 fev. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Ano de 2023 é o mais quente da série histórica no Brasil**. [s. l.], 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/ano-de-2023-%C3%A9-o-mais-quente-da-hist%C3%B3ria-do-brasil>. Acesso em: 10 jun. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos anuais**. [s. l.], 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 09 jun.2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Câmeras Imageadoras CBERS 04ª**. [s. l.], 2019. Disponível em <http://www.cbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers04a.php>. Acesso em: 10 abr.2024.

JORDAN, C. F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the Forest floor. **Ecology**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 663–666, 1969. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1936256>.

KOSTERNA, E. The effect of soil mulching with organic mulches, on weed infestation in broccoli and tomato cultivated under polypropylene fibre, and without a cover. **Journal of plant protection research**, [s. l.], v. 54, n. 2, p. 188–198, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/jppr-2014-0029>.

LI, M.; ZANG, S.; ZHANG, B.; LI, S.; WU, C. A review of remote sensing image classification techniques: The role of spatio-contextual information. **European journal of remote sensing**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 389–411, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5721/eujrs20144723>.

LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. **Remote sensing and image interpretation**. 7. ed. Nashville, TN, USA: John Wiley & Sons, 736p, 2015.

LIU, Y.; WANG, J.; LIU, D.; LI, Z.; ZHANG, G.; TAO, Y.; XIE, J.; PAN, J.; CHEN, F. Straw mulching reduces the harmful effects of extreme hydrological and temperature conditions in citrus orchards. **PloS One**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. e87094, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0087094>.

MARTINEZ, H. E. P.; ANDRADE, S. A. L.; SANTOS, R. H. S.; BAPTISTELLA, J. L. C.; MAZZAFERA, P. Agronomic practices toward coffee sustainability. A review. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 81, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2022-0277>.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; DOS SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: Cenário atual e Projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 1, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, [s. l.], v. 17, n. 7, p. 1425–1432, 1996. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Café no Brasil e Ementário do Café**. [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 04 mar. 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 8, de 11 de Junho de 2003. Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru.** [s. l.], 2003. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INPDFViewer?jornal=1&pagina=4&data=13/06/2003&captchafield=firstAccess>. Acesso em: 09 jun.2024.

MODA, L. R.; SPERS, E. E; ALMEIDA, L. F; SCHIAVI, S. M. A. Brazilian coffee sustainability, production, and certification. *In: ALEM, H.; JENA, P.R. Sustainable agricultural value chain.* IntechOpen, 120 p, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.105135>.

MORAIS, M. L. S.; SILVA, K. I.; OLIVEIRA, R. J. L.; OLIVEIRA, E.; MAZZIERO, B.; MIRANDA, G. R. B. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro implantado com *mulching* no primeiro ano de formação. *In: Jornada Científica e Tecnológica e do Simpósio de Pós-Graduação do IFSULDEMINAS, 14., 2022, Machado. Anais [...].* Machado, 2022. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais>. Acesso em: 02 fev. 2024.

MORGAN, P. W.; DREW, M. C. Ethylene and plant responses to stress. **Physiologia plantarum**, [s. l.], v. 100, n. 3, p. 620–630, 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb03068.x>.

MOTTA, A. C. V.; ANDREAS NICK, J.; TIEMI YORINORI, G.; MONTE SERRAT, B. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum Agronomy**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 453–462, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026571005>. Acesso em: 03 abr. 2024. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i4.758>

NASCIMENTO, E. F.; AZEVEDO, L.S.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JÚNIOR, J.R. Comparison of water index for MUX / CBERS-4 digital number and monochrome reflectance images. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, Salvador, v. 1, n. 10, p. 34-44, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/jhrs/article/view/244802/35382>. Acesso em: 02 mai. 2024.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée**, Goiás, v. 9, n. 2, e922021, 2020.

NASCIMENTO, L. G.; ASSIS, G. A.; FERNANDES, M. I. S.; PIRES, P. S.; CARVALHO, F. J.; ARAÚJO, N. O. de. Mulching na cafeicultura: efeitos na produtividade, maturação, formato dos grãos e qualidade de bebida. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. e765997727, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7727>.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório sobre o mercado de café:** dezembro de 2023. [s. l.], 2023, 13p. Disponível em: <https://www.icocoffee.org/documents/cy2023-24/cmr-1223-p.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

PAIVA, R. N.; MATIELLO, J.B.; DAMAGLIO, E.; SUZUKI, R. Avaliação de EMPP - mulching preto e prata e EMPB - mulching preto e branco no desenvolvimento inicial e produtividade do cafeeiro. *In: Congresso de Pesquisas Cafeeiras, 43., 2017, Poços de Caldas. Anais [...].* Poços de Caldas, 2017.

PHAM, Y.; REARDON-SMITH, K.; MUSHTAQ, S.; COCKFIELD, G. The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. **Climatic change**, [s. l.], v. 156, n. 4, p. 609–630, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>.

PICINI, A. G. **Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a partir do monitoramento da disponibilidade hídrica do solo**. 1998. 152 f. Dissertação (Mestrado em) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 1998.

PIMENTA, C.J.; VILELA, E.R. Efeito do tipo e época de colheita na qualidade do café (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 131-136, 2003. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v25i1.2464>

QGIS. **QGIS Geographic Information System**. QGIS Association. (2024). Disponível em: <http://www.qgis.org>. Acesso em: 15 jan. 2024.

QUEIROZ, V. T.; AZEVEDO, M. M.; QUADROS, I. P. S.; COSTA, A. V.; AMARAL, A. A.; SANTOS, G. M. A. D. A.; JUVANHOL, R. S.; TELLES, L. A. A.; SANTOS, A. R. Environmental risk assessment for sustainable pesticide use in coffee production. **Journal of contaminant hydrology**, [s. l.], v. 219, p. 18–27, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.08.008>.

RENA, A. B.; GUIMARAES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80 p.

REZENDE, C. I. P.; ASSIS, G. A. de; MARTINS, G. D.; CARVALHO, F. J.; FRANCO, M. H. R.; ARAÚJO, N. O. de. Multispectral images for discrimination of sources and doses of fertilizer in coffee plants. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 70, n. 3, p. 54–63, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x202370030006>.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROUSE, J. W., HASS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W. **monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Washington, DC. Proceedings. Washington, NASA SP-351, 1974, v. 1, p. 309-317.

RUMPF, T.; MAHLEIN, A. K.; STEINER, U.; OERKE, E.C.; DEHNE, H. W.; PLÜMER, L. Early detection and classification of plant diseases with Support Vector Machines based on hyperspectral reflectance. **Computers and electronics in agriculture**, [s. l.], v. 74, n. 1, p. 91–99, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2010.06.009>.

SANTANA, L. S.; FERRAZ, G. A. S.; TEODORO, A. J. S.; SANTANA, M. S.; ROSSI, G.; PALCHETTI, E. Advances in precision coffee growing research: A bibliometric review. **Agronomy (Basel, Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 8, p. 1557, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11081557>.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. 146 p.

SANTOS, H. G. Dos, JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C. Dos., OLIVEIRA, V. A. De, LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A. De, ARAUJO FILHO, J. C. DE., OLIVEIRA, J. B. De.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 355 p.

SANTOS, L. C. **Viabilidade econômica e produtividade de cafeeiros irrigados cultivados com mulching de polietileno**. 2017. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J. C. F.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; HAMAKAWA, P. J.; COSTA, J. M. N.; COSTA, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 501-509, 2001.

SILVA, E. A.; DAMATTA, F. M.; DUCATTI, C.; REGAZZI, A. J.; BARROS, R. S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. **Field crops research**, [s. l.], v. 89, n. 2–3, p. 349–357, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.010>.

SILVA, G. D. **Mulching e adubação de liberação controlada em lavoura cafeeira na região do cerrado mineiro**. 2020. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

SILVA, K. A; ROLIM, G. S; VALERIANO, T. T. B; SILVA, J. R. C. M. Influence of El Niño and La Niña on coffee yield in the main coffee-producing regions of Brazil. **Theoretical and applied climatology**, [s. l.], v. 139, n. 3–4, p. 1019–1029, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-019-03039-9>.

SILVEIRA, H. R. O.; SANTOS, M. D. O.; ALVES, J. D.; SOUZA, K. R. D.; ANDRADE, C. A.; ALVES, R. G. M. Growth effects of water excess on coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). **Acta Scientiarum Agronomy**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 211 - 218, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v36i2.17557>.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **Protocolo para análise sensorial de café: metodologia SCAA**. [s. l.: s.n.] Dec. 2008. Disponível em: http://coffeetraveler.net/wp-content/files/901-SCAA_CuppingProtocols_TSC_DocV_RevDec08_Portuguese.pdf. Acesso em: 07 mai. 2024.

SULSOFT. **ENVI**: portal brasileiro. Porto Alegre, 2024. Portal. Disponível em: <https://www.envi.com.br/>. Acesso em: 04 abr. 2024.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

TOPKON SOKKIA. **MAGNET Tools**. Índia, 2020. Disponível em: <https://topconsokkia.ind.in/topcon-brand/magnet-tools>. Acesso em: 04 abr. 2024

VALOTO, B.; SANTOS, L. C., DAMAGLIO, E. L. ASSIS, G. A. PIRES, P., LEÃO, T. V. M. Produtividade e rendimento de cafeeiros cultivados com *mulching* e irrigados sob diferentes tensões. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 43., 2017, Poços de Caldas. **Anais**[...]. Varginha: Procafé, 2017. p. 175.

WADAS, W. Using non-woven polypropylene covers in potato production: a review. **Journal of central European agriculture**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 734–748, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5513/jcea01/17.3.1771>.

WINTGENS, J. N. (ed.). **Coffee: growing, processing, sustainable production: A guidebook for growers, processors, traders, and researchers**. Weinheim: Wiley, 2004. 976 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9783527619627>.

ZAFAR, T.; ANSARI, M. A.; HUSAIN, A. Soil stabilization by reinforcing natural and synthetic fibers – A state of the art review. **Materials today: proceedings**, [s. l.], 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.503>.

ZHANG, Y. Highlight Article: Understanding Image Fusion. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, [s. l.], v.17, n. 6, p. 657-661, 2004. Disponível em: http://studio.gge.unb.ca/UNB/zoomview/PERS_Vol170_No6_paper.pdf. Acesso em: 15 jul. 2024.