






Uma Aplicação na Geociência da Termografia Infravermelho para Diagnosticar Padrões Térmico-Hídricos em Solos com Culturas Irrigadas por Potes de Argila no Oeste do Pará, Amazônia

A Geoscience Application of Infrared Thermography to Diagnose Thermal-Water Patterns in Soil with Crops Irrigated by Clay Pots in Western Pará, Amazonia

Dilma Ázira Ismael Carlos^{1,2} , Lucieta Guerreiro Martorano^{1,3} ,
Avner Brasileiro dos Santos Gaspar¹ , Irving Montanar Franco⁴  & Rodrigo da Silva¹ 

¹Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento, Santarém, PA, Brasil

²Universidade São Tomás de Moçambique, Programa Brasil/África, Maputo, Moçambique

³Embrapa Amazônia Oriental – Napt Médio Amazonas, Santarém, PA, Brasil

⁴Universidade Federal do Pará – UFPA, Instituto de Tecnologia ITEC, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Análise e Desenvolvimento do Espaço Construído, Belém, PA, Brasil

E-mails: Diy.carlos21@gmail.com; lucieta.martorano@embrapa.br; avnergaspar@gmail.com; irvingmf@gmail.com; rsilvf@gmail.com

Resumo

O objetivo neste trabalho é apresentar uma aplicação na geociência da termografia infravermelho para diagnosticar padrões térmico-hídricos em solos com culturas irrigadas por potes de argila no oeste do Pará, Amazônia. As imagens termográficas foram obtidas na unidade de referência tecnológica (URT), instalada pelo projeto IrrigaPote, na comunidade de Lavras, no Oeste do Pará. Foram realizados imageamentos a campo e analisados os padrões térmicos nos seguintes alvos: T1: Aceroleira (*Malpighia emarginata*) sombreando solo com serrapilheira; T2: Aceroleira (*Malpighia emarginata*) sombreando solo sem serrapilheira; T3: Solo com serrapilheira; T4: Solo sem serrapilheira; e T5: Quintal agroflorestal contendo árvore secular com serrapilheira no solo. Os dados foram estratificados em valores extremos, médios, amplitude térmica e analisada a umidade do solo. O diagnóstico termográfico no infravermelho próximo e os termogramas foram tratados no programa Flir Tools (6.3v). Os alvos térmicos foram selecionados aleatoriamente, contabilizando-se 10 pontos nos cinco (05) tratamentos, totalizando-se 50 amostras. Fez-se análise estatística descritiva em nível de 5% de significância. Verificou-se diferenças térmicas significativas entre solo exposto (T4=61,0°C) e no solo com serrapilheira (T3=43,8°C). Também, no solo sombreado com aceroleira na URT a temperaturas (T1=33,6°C) e no solo sombreado sem serrapilheira fora da URT (T2=32,7°C), evidenciando os efeitos da umidade no solo em decorrência da irrigação com potes de argila. As menores temperaturas (T5=30,3°C) foram detectadas no solo sombreado com árvore secular e existência de serrapilheira na área do produtor rural. A regulação térmica evidencia que a irrigação com potes de argila no solo está alinhada aos objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), principalmente o ODS 2 com a oferta de alimentos o ano todo; os ODS 6, 9 e 12, pois o reuso de água da chuva na agricultura garante a produção de forma responsável) e, ODS 13 como estratégia de regulação térmica para mitigar os efeitos decorrente de mudanças climáticas. A termografia infravermelho possui alto potencial de aplicação em diferentes linhas de pesquisa na geociência.

Palavras-chave: Temperatura, IrrigaPote, Termografia

Abstract

The objective of this study is to demonstrate the use of infrared thermography in a geoscience context to diagnose thermal and hydrological patterns in soils with crops irrigated using clay pots in western Pará, Amazonia. The thermographic images were obtained in a technological reference unit (URT) installed as part of the IrrigaPote project in the community of Lavras, western Pará. Images were taken in the field and thermal patterns were analyzed for the following targets: T1: Acerola (*Malpighia emarginata*) trees with leaf litter covering the soil; T2: Acerola trees with no leaf litter covering the soil; T3: Soil with litter cover; T4: Soil with no litter cover, and T5: a backyard agroforest with a large tree over 100 years old with litter covering the soil. The data were stratified into extreme and average values and thermal amplitude, and soil humidity was measured. The near infrared thermography diagnosis and the thermograms were analyzed using the program Flir Tools (6.3v). The thermal targets were randomly selected, with 10 targets for each of the five (05) treatments, for a total of 50 samples. Descriptive statistics were done using a 5% significance level. There were significant differences between exposed soil (T4=61.0°C) and soil covered by litter (T3=43.8°C). The soil shaded by acerola had an average temperature of (T1=33.6°C) and that of the soil shaded but with litter and outside the URT was higher (T2=32.7°C), demonstrating the effects of soil moisture due to irrigation with the clay pots. The lowest temperatures (T5=30.3°C) were found for the large, old tree with the soil covered by litter on the property of the rural producer. The thermal regulation provided by the irrigation using clay pots is in agreement with the Sustainable Development Objectives (SDO), principally SDO 2 with respect to provision of food production during the entire year, and SDO 6, 9 and 12 due to the reuse of rainfall in an agricultural setting, which promotes responsible production, and finally with SDO 13 as a strategy for thermal regulation to mitigate the effects of climate change. Infrared thermography has great potential to be applied to different areas of geoscience.

Keywords: Temperature, IrrigaPote, Thermography

1 Introdução

A agricultura enfrenta grandes desafios, principalmente nos cultivos de sequeiro que dependem de águas pluviais para garantir a produção anual. Além da sazonalidade, existem anos climaticamente adversos, alterando o volume, a intensidade e a periodicidade no regime de chuvas ao longo do ano. Utilizando-se séries históricas da região norte do Brasil, Salviano et al. (2016) verificaram mudanças na sazonalidade e tendências positivas no regime de chuva e de temperatura. Alterações como veranicos no período chuvoso e prolongamento do período seco são exemplos de eventos que reduzem os estoques de água no solo e podem comprometer safas agrícolas.

O uso de recursos (água, solo, nutrientes, biocidas e energia) de forma eficiente pode atenuar impactos ambientais e garantir a sustentabilidade nos sistemas agrícolas (Bharucha & Pretty 2014; Garnett et al. 2013). Ao mesmo tempo, produtores, consumidores e planejadores em áreas de expansão dos cultivos podem intensificar os impactos ambientais, os quais tendem a ser avaliados a partir de indicadores como, por exemplo, a pegada ecológica (Tilman et al. 2011). Esses indicadores podem ser monitorados por diferentes sistemas, inclusive por detecção remota na agricultura com base em diferentes variáveis morfofisiológicas (biomassa, evapotranspiração e fotossíntese), conforme destacaram Jones & Vaughan (2010).

E se tratando da região amazônica que possui um clima tropical quente e úmido, mas é preciso entender que existem mecanismos que modulam a circulação em decorrência de processos no sistema oceano-continent-

atmosfera. Mudanças no regime das termoclinas, ou seja, as variações térmicas entre as camadas superficiais e as camadas profundas nas águas do Pacífico Tropical Sul, denominada de Oscilação Sul (ENOS), causam anomalias na temperatura da superfície do mar tornando-as mais quentes (*El Niño*) e mais frias (*La Niña*) por mais de cinco meses (Jahfer et al. 2020; Moraes et al. 2020), ocasionando condições extremas no regime de chuvas (Loureiro et al. 2014) refletindo em perdas na agricultura brasileira.

Na região Amazônica apresenta alto potencial erosivo das chuvas apresentam alta fragilidade quanto ao processo erosivo das chuvas (Martorano et al. 2017), bem como questões relacionadas à legislação ambiental, principalmente quanto ao uso eficiente da água na agricultura. Os prognósticos climáticos apontam que áreas mais quentes e secas tendem a intensificar a competição por água entre setores econômicos (Fraga et al. 2012).

Os potes de argila com registros milenares de uso nas mais diferentes regiões do globo terrestre, passou a ser artefato artesanal de uso para armazenamento de água potável, notadamente em residências rurais. Estudos de Bainbridge (2011) afirmaram que a porosidade em potes de argila permite tocas hídricas com o ambiente e pode ser de fácil uso (Namara et al. 2005).

O Projeto IrrigaPote utilizou potes de argila de 20 litros com a finalidade de armazenamento de água canalizadas por tubos PVCs como estratégia de irrigação de baixo custo (Martorano 2020). Outras iniciativas em regiões áridas na Ásia, África e parte da América Latina foram testadas anteriormente (Bainbridge 2011), onde a irrigação com potes de argila torna-se econômica e de fácil de implementação (Namara et al. 2005).

Esse tipo de irrigação é aconselhável, mas sua eficiência depende de muitos fatores, incluindo tipo de solo, espécies de plantas, estrutura e fertilidade do solo, competição de ervas daninhas e microclima local (Vasudevan et al. 2007).

O Projeto IrrigaPote foi fruto de parceria entre o Brasil e a África que instalaram unidades de pesquisa onde foram avaliadas variáveis agrometeorológicas, econômicas e social sobre a agrotecnologia com resultados exitosos (Araya et al. 2015; Gebru et al. 2018; Martorano et al. 2018). No Brasil, o projeto instalou uma unidade de referência tecnológica (URT) tendo como princípio básico o reuso de águas pluviais canalizadas até uma caixa d'água conectada por um sistema de canos que transportam a água até os potes por força gradiente de pressão até os potes, conectados na tampa por canos de borracha, ligados na tampa interna dos potes, contendo boias que controlam a entrada da água, liberando o produtor para desenvolver outras atividades na propriedade rural (Martorano 2020).

Com apoio de tecnologias de monitoramento usando a termografia, na faixa do infravermelho próximo, é possível identificar vários indicadores térmico-hídrico de forma rápida, precisa e eficaz. Os termogramas possibilitam diagnosticar, por exemplo, diferentes estádios fenológicos e condição de desenvolvimento das culturas, permitindo em tempo real imagear padrões e obter informações quantitativas sobre a heterogeneidade em cultivos agrícolas (Costa et al. 2007). A termografia é uma técnica usada em diferentes setores da indústria e investigação científica, permitindo avaliar a temperatura da superfície dos corpos superiores ao zero absoluto ($0\text{ K} = -273^{\circ}\text{C}$) em decorrência das emissões eletromagnéticas em comprimento de onda no infravermelho ($0,75\ \mu\text{m}$ a $100\ \mu\text{m}$), conforme Kaplan (2007), seguindo os pressupostos da lei de Stefan-Boltzmann, que descreve que a emissão de radiação no infravermelho aumenta com a temperatura dos corpos de forma proporcional à quarta potência da temperatura absoluta (K).

Nesse contexto, os termogramas permitem diagnosticar respostas no sistema solo-planta-animal-atmosfera, ou seja, se está ocorrendo maior ou menor condutância estomática, pois a temperatura das folhas responde linearmente com a perda de vapor de água devido as taxas evapotranspiratórias (Costa et al. 2013; Jones & Vaughan 2010). Diagnosticar condições de conforto térmico em animais, tempo de combustão de materiais residuais, pluma de aquecimento em fornos na indústria ceramista e, entre outras.

Assim, a termografia no infravermelho próximo apresenta, inclusive potencial para apontar indicadores de prestação de serviço ambiental como, por exemplo, a redução de perdas de calor para atmosfera, contribuindo

na regulação térmica. Nesse contexto, objetivou-se neste trabalho analisar condições térmico-hídricas no solo sob condição de cultivos irrigados com potes de argila e sob condição de sequeiro, a partir de diagnosticados termográficos em unidade de referência tecnológica no oeste do Pará.

2 Materiais e Métodos

2.1 Localização e Condições Climáticas da Área de Estudo

Na Figura 1 localiza-se a área de estudo, a partir da base de dados utilizada por Martorano et al. (2017); Martorano (2020) e Moraes et al. (2020). Nota-se que os meses de maior oferta pluvial em Santarém concentram-se de dezembro a maio, contabilizando-se cerca de 80% da pluviosidade anual, sendo o mês de março o mais chuvoso com média de 348,9 mm. O período com baixa oferta hídrica concentra-se entre julho a novembro, onde o mês de setembro é o menos pluvioso com média de 31,7 mm, justificando-se o armazenamento da água para suprir a escassez hídrica e garantir o reuso de água da chuva na agricultura de base familiar.

O total de chuva anual varia entre 2.000 mm a 2.500 mm, incluindo a área de estudo na tipologia climática Am_3 , com base na classificação de Köppen, adaptada por Martorano et al. (1993), reforçando que no trimestre de agosto a outubro as chuvas ficam abaixo de 60 mm, justificando-se a inclusão da área de estudo nesse tipo climático. As temperaturas mínimas ao longo do ano ficam próximas aos $22,2^{\circ}\text{C}$ no mês de julho e $23,3^{\circ}\text{C}$ em outubro e novembro, evidenciando que em julho ocorrem as madrugadas mais frias na URT. Em se tratando de temperatura média, os meses de fevereiro e março as temperaturas atingem os $26,3^{\circ}\text{C}$ e, no mês de outubro os termômetros se elevam chegando aos $28,1^{\circ}\text{C}$, em decorrência das tardes quentes que intensificam o calor pelas temperaturas máximas que atingem os $32,9^{\circ}\text{C}$. Por outro lado, as menores máximas ($30,0^{\circ}\text{C}$) explicam as tardes com as menores máximas em março, influenciadas pela cobertura de nuvens no período mais pluvioso que atenua os efeitos da radiação solar, na região.

2.2 Características Físico-Químicas do Solo: Revisão Bibliográfica

O município de Santarém, à semelhança do município de Belterra, estão situados na porção central da Bacia Sedimentar do Amazonas, pertencentes, geologicamente à Formação Alter do Chão (Cretáceo/Terciário). O Latossolos Amarelo predomina na área de

estudo, apresentando características de solos minerais sem hidromorfismo e horizonte B latossólico de acordo com Oliveira Junior & Correa (2001), onde os teores de óxidos de ferro (Fe_2O_3), frequentemente estão abaixo de 70 g kg^{-1} de solo, possuindo a coloração amarelada, ou seja, entre o bruno-amarelado a bruno-forte, nos matizes 7,5YR a 2,5Y; fração argila de natureza essencialmente caulinita. Nesses Latossolos, conforme Rodrigues et al. (1974), devido a estrutura fraca, geralmente tornam-se duros ou muito duros e coesos quando secos, principalmente, nos horizontes AB ou BA, ou mesmo no topo do Bw.

2.3 Contextualização da Unidade de referência Tecnológica (URT): Projeto IrrigaPote

O projeto IrrigaPote instalou uma unidade de referência tecnológica (URT), na comunidade de Lavras, no município de Santarém, estado do Pará, que integra a mesorregião do Baixo Amazonas. A URT foi implantada

em 2016, após um longo processo de estiagem, decorrentes do fenômeno *El Niño*. Nesse ano, os efeitos decorrentes do dipolo do Atlântico associado ao aquecimento regional influenciaram no posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ocasionando um longo período na PanAmazônia (Lima et al. 2019). No *El Niño* (2015/2016) houve redução no regime de chuvas, da ordem de 50%, pelo prolongamento do período menos chuvoso na região. De acordo com Oliveira et al. (2020), os meses de outubro e novembro foram os mais críticos, pois o nível do reservatório hídrico na hidrelétrica Curuá-Una comprometeu a produção de energia, pois ao comparar com os valores sob condições climáticas normais os valores da ordem de 25MWh reduziram para 10 MWh. Nesse contexto, sob condições de períodos com déficits hídricos prolongados, os agricultores de base familiar rural demandam de tecnologia de baixo custo para garantir a reposição de água às plantas por irrigação.

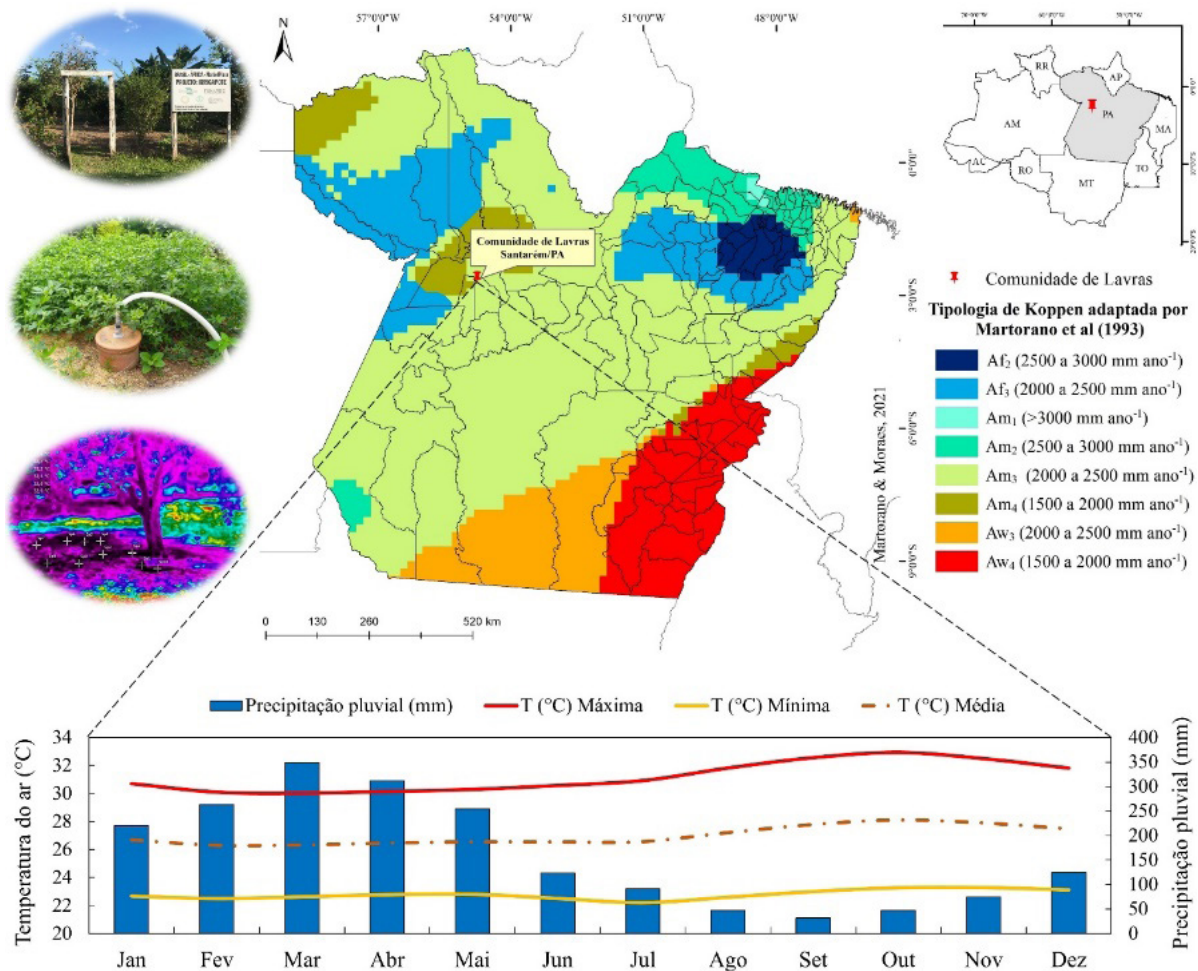


Figura 1 Condições climáticas na unidade de referência tecnológica (URT) na comunidade de Lavras, no município de Santarém, Pará
 Fonte: Mapa elaborado por Martorano & Moraes (2021)

Foi com base nas reduções de custos aos pequenos agricultores que o Projeto IrrigaPote em janeiro de 2016 instalou a unidade de referência tecnológica (URT) na comunidade de Lavras, no oeste do Pará. É importante ressaltar que as pesquisas iniciadas com potes de argila no solo foram desenvolvidas a partir de uma parceria internacional entre o Brasil e a África. Resultados exitosos na África pontaram reduções nos custos ao comparar com outras tecnologias de irrigação, além da praticidade na condução do sistema de irrigação, usando potes de argila enterrados no solo (Araya et al. 2015; Gebru et al. 2018).

No Brasil, a URT instalada na comunidade de Lavras, no município de Santarém foi denominado de Projeto IrrigaPote (Globo Rural 2017; Martorano et al. 2016) e, evidencia a importância de utilização da arte milenar usando os potes, principalmente em propriedades rurais passou a ser aplicada como estratégia de irrigação de baixo custo, diversificação de culturas e, oferta hídrica em períodos de déficits hídricos (Globo Rural 2017) com incremento na produção familiar (Carlos & Martorano 2020). Além de agregar valor econômico na propriedade rural tem proporcionado a redução de perdas térmicas por manter o solo sempre coberto pela diversidade de culturas sempre vegetativas e produtivas no sistema de produção irrigada pelos potes de argila (Martorano et al. 2018; Martorano 2020)

Essa agrotecnologia utiliza a água da chuva que é canalizada do telhado da residência do agricultor para caixa d'água para garantir o abastecimento hídrico nos potes de argila, onde pela força gravitacional a água é transportada por canos PVS que apresentam conectores ligados por canos de plásticos (mangueiras) instalados na tampa dos potes, onde um sistema de boia controla a entrada e manutenção dos potes sempre cheios. A capacidade de armazenamento de água dos potes é de 20 litros, os quais são inseridos no solo e o sistema de boia abastece o conteúdo hídrico, permanentemente. Informa-se que pela estratégia fisiológica das plantas, em períodos de seca há emissão de raízes finas que atingem a parede externa dos potes, onde a água é absorvida pelas plantas em decorrência da porosidade da argila, mantendo-se assim, o atendimento das demandas hídricas das plantas (Martorano 2020).

De acordo com Siqueira et al. (2018) o IrrigaPote apresenta alto potencial de aplicação em outras áreas no território brasileiro, como por exemplo no Paraná, a partir do interesse de produtores de *citrus*. Em Martorano et al. (2018); Martorano (2020) foram apresentados de forma detalhada como o sistema ocorre, mas é importante reforçar que a água é absorvida pelas raízes das plantas por capilaridade, na parede dos potes. As entradas de água nos potes e absorção hídrica pelas plantas são comandadas, basicamente por mecanismo controlados

pela força gravitacional, força gradiente de pressão e potencial hídrico. Esse agrotecnologia disponibiliza às plantas umidade no solo, onde as raízes finas absorvem o conteúdo hídrico na parede dos potes para atender as demandas evapotranspiratórias (Martorano 2020), evitando desperdício hídrico (Carlos & Martorano 2020).

Os potes permitem disponibilizar água às plantas, pois de acordo Allen et al. (1998) o suprimento hídrico deve atender a demanda evapotranspiratória das plantas cultivadas. Portanto, o uso dos potes de argila é uma estratégia de baixo custo aos pequenos produtores, pois além de utilizar água da chuva, possibilita a oferta hídrica às plantas sem o produtor se preocupar com o sistema de irrigação, tudo ocorre mecanicamente.

2.4 Diagnóstico Termográfico Na Área Experimental

O diagnóstico usando a termografia no comprimento de onda do infravermelho próximo foi realizado no dia 10 de dezembro de 2019, na URT que totaliza uma área de 0,5 ha, bem como foram realizadas coletas fora da URT para avaliar a condição térmica na superfície do solo, considerando-se diferentes tipos de cobertura e, possíveis respostas da condição hídrica no solo.

Foram analisados cinco tratamentos (T), conforme descritos na sequência T1: Aceroleira (*Malpighia emarginata*) sombreando solo com serrapilheira na URT do IrrigaPote e T2: Aceroleira (*Malpighia emarginata*) sombreando solo não irrigado sem serrapilheira fora da URT; T3: Solo com serrapilheira na URT, T4: Solo sem serrapilheira fora da URT e T5: Solo com serrapilheira e sombreado com espécie nativa de grande porte na propriedade fora da URT.

A Figura 2 (A, B, C) evidencia a cobertura do solo com serrapilheira decorrente de resíduos no final do ciclo de uma cultura anual e, sob condição de cobertura do solo por cultura em pleno processo vegetativo na URT do Projeto IrrigaPote.

As imagens termográficas e as coletas de solos foram realizadas no período entre 12:00 e 13:00, período com intenso efeito da radiação solar nos alvos diagnosticados na pesquisa de campo. A umidade do solo foi registrada usando sensor portátil diretamente instalado no solo, no momento das coletas termográficas, nas áreas com e sem irrigação.

Na Figura 3 são apresentadas imagens que evidenciam os procedimentos durante as atividades realizadas em campo para avaliar condições no solo, usando trado pedológico para coleta de amostras em diferentes profundidades, coloração como indicativo de umidade e atividade microbiana nas camadas, diagnósticos termográficos na URT e fora da URT (Figura 3A, B, C, D, E e F).



Figura 2 Imagens ilustrando os potes na Unidade de Referência Tecnológica (URT) do Projeto IrrigaPote (A, B) e a placa indicando a URT (C) na comunidade de Lavras, no município de Santarém, no estado do Pará



Figura 3 Imagens fotográficas durante as coleta de dados em campo para exemplificar as condições no solo na Unidade de Referência Tecnológica: A. e B. solo após a tradagem para avaliar cor, textura, umidade nos pontos de coletas dos termogramas; C. indicativo de umidade do solo com o sensor de umidade; D. coletas com a câmera termográfica no infravermelho próximo para avaliar padrões nos alvos sob condição irrigada pelos potes de argila e fora da URT; E. disposição dos potes no sistema IrrigaPote; e F. coleta termográfica na área de remanescente floreal na área do produtor rural

3 Resultados

A Figura 4 demonstra as imagens termográficas nas diferentes condições de cobertura, onde o tratamento 1 (T1) expressa as condições térmicas no solo na URT contendo serrapilheira e sombreado por aceroleira com ampla área vegetativa, indicando os efeitos da oferta hídrica pelos potes de argila e o tratamento 2 (T2) a imagem apresenta o diagnóstico termográfico do solo sombreado por aceroleira, porém com ausência de serrapilheira. Nota-se que os alvos extraídos no solo expressam a resposta térmica nas áreas mais quentes diagnosticadas em campo.

Na Figura 5, as imagens contendo os tratamentos T3 e T4 indicam os valores emitidos pelo solo sob condição de alta exposição à radiação solar direta. Lembrando que no horário da coleta de dados o sol encontra-se praticamente perpendicular a superfície, intensificando o calor em todos os alvos analisados, nesta pesquisa. No solo com serrapilheira sombreado por árvore frondosa secular mantida na propriedade rural as temperaturas variaram entre 30,2°C a 30,7°C (Figura 6) no tratamento T5. Os valores das condições térmicas em cada tratamento estão apresentados na Tabela 1.

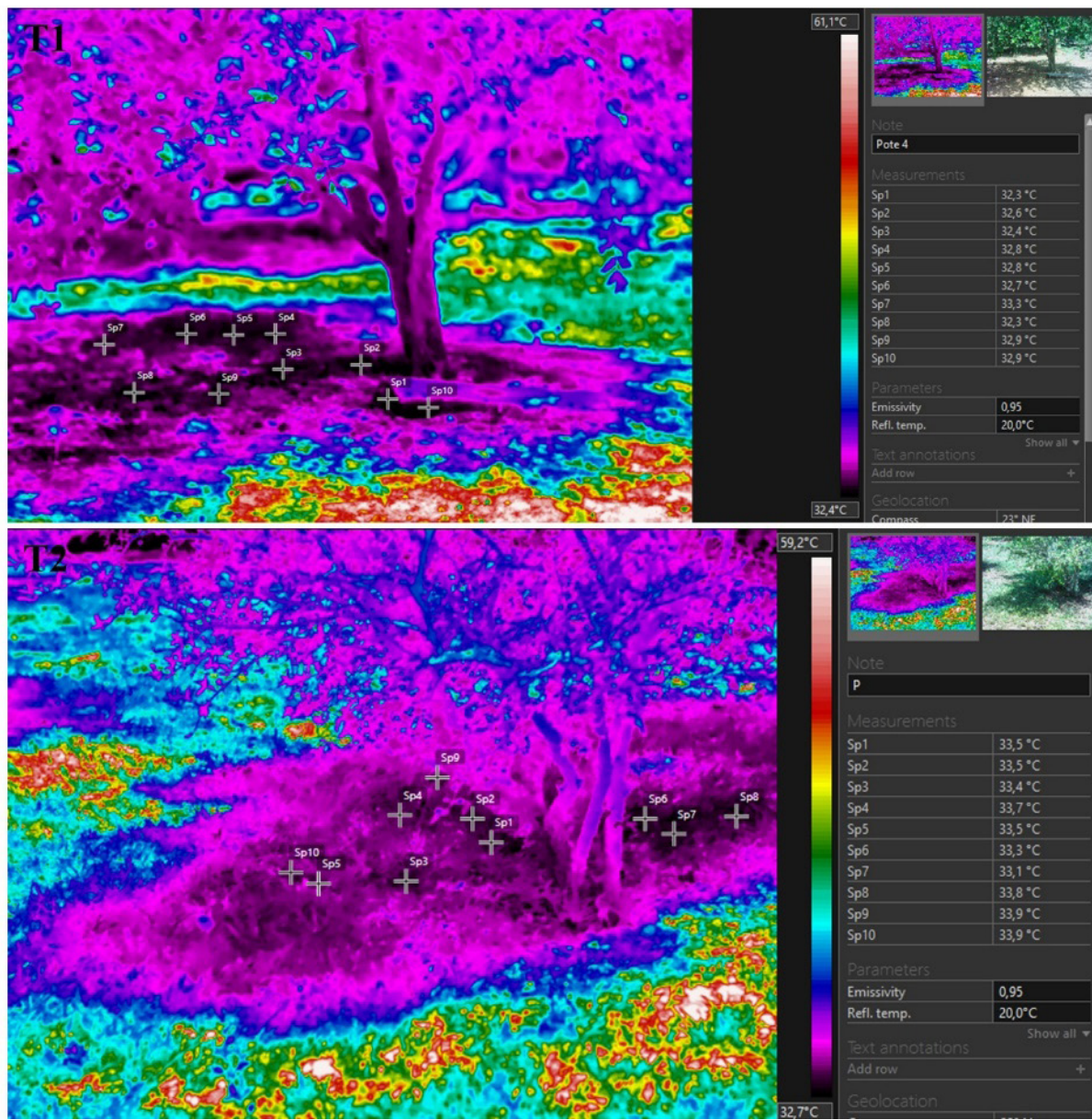


Figura 4 Imagens termográficas em T1: Aceroleira sombreado solo com serrapilheira na URT do IrrigaPote e T2: Aceroleira sombreado solo sem serrapilheira fora da URT, na comunidade de Lavras em Santarém-Pará

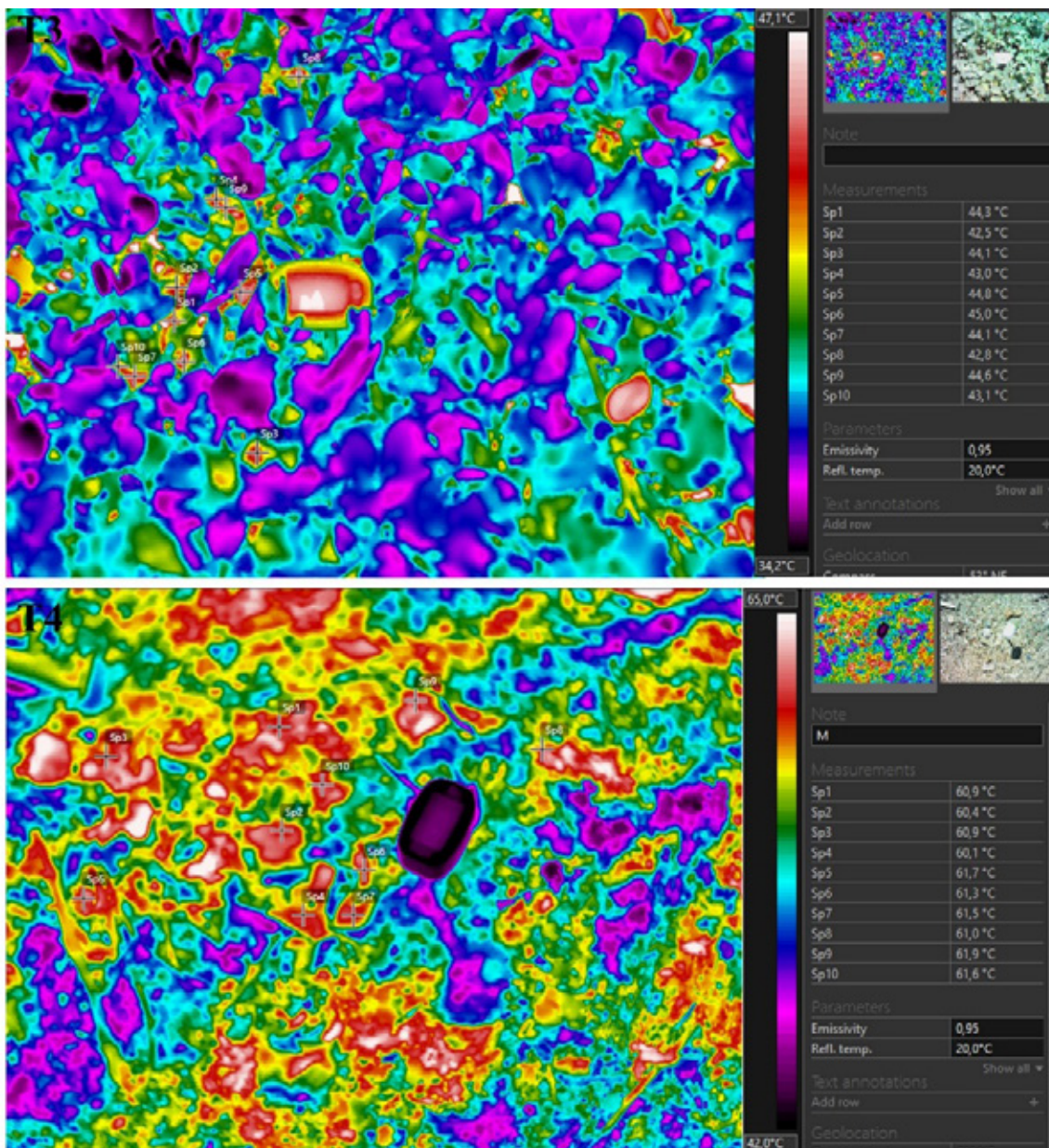


Figura 5 T3: Solo com serrapilheira na URT; T4: Solo sem serrapilheira fora da URT, na comunidade de Lavras, município de Santarém, Pará

Observa-se na Figura 7 que as maiores temperaturas foram diagnosticadas em solo fora da URT e sem cobertura (serrapilheira), indicando que a cobertura palhada e/ou vegetal atenua as cargas térmicas pela redução da incidência direta da radiação solar. Assim sendo, a temperatura no solo por volta das 12h:00 sob solo sem cobertura com serrapilheira estava com valores de 61,3°C a 61,7°C em T4, apontando efeito do calor proveniente da energia incidente, com amplitude térmica média de 1,3°C.

No solo com serrapilheira sem sombreamento, mas na área do sistema irrigado com os potes, as temperaturas estavam variando entre 42,5°C a 45,0°C, sendo as variações explicadas pela umidade no solo mantida pelos resíduos de vegetação, inclusive explicado amplitudes térmicas média de 2,5°, reforçando a importância da URT com os potes de argila mantidos sempre cheios. Todavia, ao comparar entre T3 e T4, nota-se que houve diferença térmica significativa com valores expressivos para a condição do solo em T4 (Figura 7).

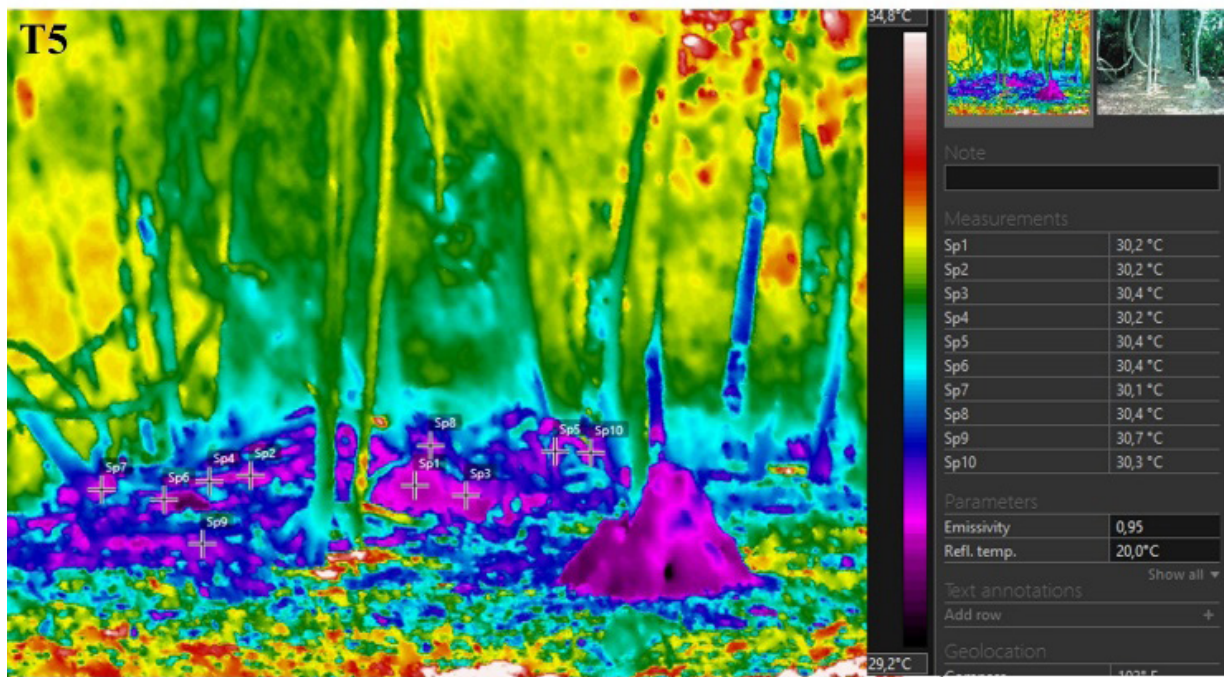


Figura 6 T5: Solo com serrapilheira sombreado por árvore frondosa secular mantida na propriedade rural na comunidade de Lavras em Santarém, no oeste do Pará

Tabela 1 Análise descritiva dos resultados da análise dos dados térmicos nos alvos analisados na unidade de referência tecnológica (URT) e, em seu entorno

Variáveis	Solo com serrapilheira sombreado por Aceroleira (<i>Malpighia emarginata</i>) (T1)	Solo sem serrapilheira sombreado por Aceroleira (<i>Malpighia emarginata</i>) (T2)	Solo com serrapilheira (T3)	Solo sem serrapilheira (T4)	Solo sombreado com espécie florestal nativa (T5)
Número de pontos	10	10	10	10	10
Média	33,6	32,7	43,8	61,0	30,3
Mediana	33,5	32,8	44,1	61,0	30,3
Desvio padrão	0,3	0,3	0,9	0,4	0,2
Variância	0,1	0,1	0,8	0,2	0,0
Curtose	-0,7	-0,2	-1,6	-0,5	2,4
Assimetria	-0,2	0,1	-0,3	0,0	1,4
Intervalo	0,8	1,0	2,5	1,3	0,6
Valores Mínimos	33,1	32,3	42,5	60,3	30,2
Valores Máximos	33,9	33,3	45,0	61,7	30,7
Amplitude Térmica	0,8	1,0	2,5	1,3	0,6

Ao comparar o solo sombreado por aceroleira com serrapilheira na URT (T1) e o solo também sombreado por aceroleira mas sem serrapilheira fora da URT, verificou-se diferença térmica, sendo os valores de T1 superiores aos valores médios de T2. O efeito da carga térmica solar direta em solo sem serrapilheira evidencia perdas hídricas por evaporação do solo, confirmadas pelos elevados valores de amplitude térmica sob condição não irrigada. As menores

temperaturas no solo foram verificadas na área com espécie florestal nativa frondosa secular, mantida na propriedade rural, acredita-se pelos importantes serviços ambientais prestados como provisão de frutos, manutenção de sombra, ou seja, atuando como excelente serviço cultural, pois esse local representa um ambiente preferido dos comunitários nos horários mais quentes do dia.

Ao observar os valores representados na Figura 7, identifica-se facilmente a prestação de serviço ambiental pela manutenção de árvores frondosas em quintais agroflorestais na região. Entre todos cinco tratamentos analisados nesta pesquisa, T5 apresentou, significativamente as menores temperaturas no solo ao comparar com os termogramas que fizeram um *scanner* no solo, no horário de maior carga térmica, no dia 10 de dezembro de 2019. Os resultados evidenciam nos cinco (5) tratamentos que nas áreas sem nenhum tipo de cobertura vegetal, ou seja, solo exposto, a condição térmica apresentou diferença significativa ao comparar com as demais áreas de avaliações termográficas, indicando perdas por evaporação e condução de calor para atmosfera, nos horários mais quentes do dia, explicado pela maior amplitude térmica observada em T3, facilmente identificada na Figura 7.

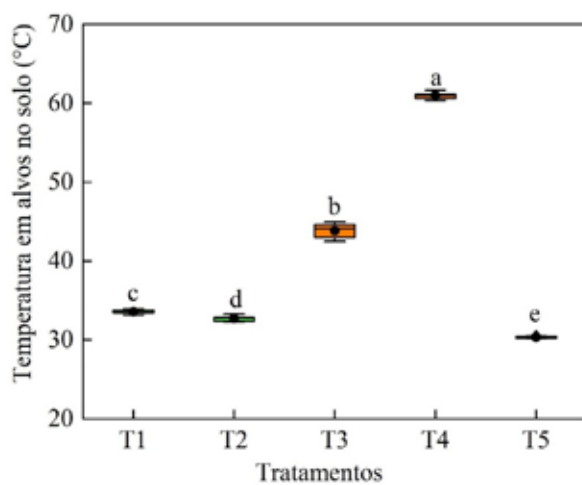


Figura 7 Representação gráfica em forma de caixas (Boxplot) das condições térmicas nos alvos sob diferentes tipos de cobertura diagnosticados na unidade de referência tecnológica (URT) e analisadas estatisticamente

Com base nesses resultados e nas características pedológicas dos solos dominantes (Latosolos Amarelos) na região, reforçam a necessidade de manter a umidade e a serrapilheira no solo para evitar perdas hídricas em períodos de estiagem prologadas, principalmente nos horários de maior incidência da radiação solar, justamente entre 12:00 e 13:00, período em que o diagnóstico termográfico foi realizado, na pesquisa de campo.

4 Discussão

A vegetação influencia na temperatura de superfície por causa de sua capacidade de absorver energia e servir como uma barreira que impede a incidência de energia

diretamente no solo, conforme constatado por Jabert (2012) também relaciona diferenças significativas entre a cobertura do solo e o a temperatura verificando que a temperatura do solo exposto foi a mais elevada, atribuída ao baixo albedo, acumulando energia incidida na superfície com elevação rápida da temperatura no solo. Em arbustos e espécies frondosas a energia solar incidente nas folhas é absorvida, passando a participar nos processos metabólicos das plantas, dispersando o calor na superfície das folhas (Rodrigues et al. 1974).

As respostas térmicas usando sensores remotos ao comparar áreas vegetadas e urbanizadas na cidade de Belém, apontaram a partir da análise de índice de vegetação normalizada (NDVI > 0) os menores valores na temperatura da superfície (TS) reforçando a importância de áreas vegetadas como na região do parque ecológico do Utinga na redução das cargas térmicas em ambientes urbanos com baixa fragmentos de vegetação (Margallo et al. 2020).

Em quintais urbanos no município de Abaetetuba, no Pará, Lobrato et al. (2016) verificaram temperaturas mais elevadas em quintais sem vegetação ao comprar com os quintais vegetados, confirmando o efeito de perda de energia para atmosfera em espaços abertos. Esses autores, destacaram que o índice de conforto térmico (ITU) apontou níveis baixos, mas na percepção dos moradores os espaços com vegetação nos quintais urbanos foram apontados como os mais agradáveis e preferidos nos horários mais quentes do dia.

Diagnósticos termográficos foram realizados para avaliar as variações da temperatura da superfície do solo, nos dias 01 a 03 de agosto, contabilizando-se 48 horas de monitoramento em três tipos de cobertura do solo em cultivo de uva, em Portugal para avaliar respostas térmicas no verão europeu, evidenciando o potencial da termografia, inclusive para fornecer insights quanto as variações na temperatura do solo, em escala local, principalmente para identificar as variações térmicas diárias, diurnas e noturnas (Frodella et al. 2020).

Os valores térmicos observados no solo sob sombreamento com aceroleira na URT ao comparar com as temperaturas no solo na área externa a URT, os menores valores são explicados pela presença da umidade no solo que garante o crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas, evidenciadas pela presença da serrapilheira na área do Projeto IrrigaPote. A água além de fornecer umidade às plantas garantindo a manutenção da produção biomassa, frutos e melhoria das condições ambientais na propriedade rural (Martorano 2020).

Sob condições de altas temperaturas há aumento das perdas por vapor d'água, tanto nas plantas (evapotranspi-

ração) quanto no solo (evaporação), causando redução na disponibilidade hídrica às plantas (Alencar et al. 2009), apontando perdas de água (Cruz et al. 2018), intensificando o estresse hídrico no solo, sob condição de baixo aporte de serrapilheira (Martorano et al. 2009).

A termografia potencializa as análises de respostas das condições térmico-hídricas no solo. O sistema de produção integrado na URT promove reduções nas cargas térmicas, pela manutenção da umidade no solo promovida pela irrigação com os portes de argila. Esses resultados corroboram com os apresentados por Pilato et al. (2018) em que as áreas com vegetação secundária, áreas cobertas com pastagens apresentaram temperaturas inferiores ao compara com os alvos de solo exposto à radiação solar direta, indicando que a cobertura do solo atenua as trocas térmicas e perdas hídricas para atendimento da demanda atmosférica (Martorano et al. 2018).

Sensores térmicos possibilitam detectar outras condições como o estado hídrico, biomassa e inclusive a sanidade das culturas agrícolas (Jones et al. 2009). Informações como as apresentadas nesta pesquisa e nesses autores referenciados visam subsidiar o manejo da irrigação em anos safras, pela detecção de processos como condutância estomática, reforçando a aplicação da termografia na detecção de padrões térmicos, como em superfícies vegetadas (Jones 2004).

Assim sendo, ressalta-se que o projeto IrrigaPote aponta indicadores de consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), principalmente os objetivos 2, 6, 9 e 12 pela oferta de alimentos com reuso de água da chuva e disponibilidade hídrica sustentável e o ODS 13, como medida mitigadora pela agricultura, diante dos cenários de mudanças climáticas e seus impactos.

5 Conclusão

A termografia no infravermelho próximo é uma tecnologia de aplicação rápida, fácil e precisa em pesquisas de campo. A praticidade no manuseio do equipamento e a possibilidade de realização de diagnósticos térmicos, ampliam-se as avaliações em diferentes alvos de interesse em diferentes áreas da geociência. As diferenças térmicas significativas apontadas nos tratamentos analisados reforçam a importância da cobertura do solo com vegetação e/ou serrapilheira na regulação térmica em regiões quentes como no oeste do Pará, na Amazônia.

Os diferentes arranjos de espécies cultivadas na área irrigada com potes de argila, promovem reduções na temperatura do solo. Solo exposto demonstrando ineficiência na manutenção dos estoques de água no solo, intensificando as perdas por evaporação, nos horários mais quentes do

dia. O sistema de produção irrigado com potes de argila aponta indicadores de regulação térmica, um importante serviço ambiental passivo de valoração com os resultados da termografia no infravermelho próximo. Essa tecnologia apresenta potencial de uso por certificadores de avaliações de Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) por reuso da água da chuva, produção de alimentos e regulação térmica na Amazônia.

Em áreas de cultivo de base agroecológica como na Unidade de Referência Tecnológica (UTR), na comunidade de Lavras a diversificação de culturas, além de ampliar a oportunidade de renda ao pequeno produtor em políticas de PSA, pois o uso de arte milenar com potes de argila e irrigação com águas pluviais na produção de alimentos. Essas estratégias são aderentes aos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), principalmente ODS 2 pela oferta de alimentos o ano todo; ODS 6, 9 e 12, em decorrência do reuso de água da chuva para garante a produção agrícola de forma responsável e, ODS 13 como estratégia de regulação térmica mitigadora de efeitos na mudança climática global.

6 Referências

- Alencar, C.A.B Cunha, Martins, F. Coser, A.C. Rocha, W.S.D. & Araújo, R.A.S. 2009, 'Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo'. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 1, pp. 98-108. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300012>.
- Allen, G., Luis, P., Dirk, P. & Martin, R. 1998, 'Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements', *Irrigation and Drainage Paper*, no. 56, FAO, Roma.
- Appleby, A., Balmford, J., Bateman, T., Benton, B., Buntingame, F., Dawking, L., Dalan & Garnett C. 2013, 'Sustainable intensification in Agriculture: Promises and Polices', *Science*, vol. 381, pp. 55-79, <https://doi.org/10.1126/science.1234485>.
- Araya, A.B., Martorano, L.G., Girma A.B., Habtu S., Kebede, H. & Hadgu, K.M. 2015, 'Comparative Efficiency Evaluation of Different Clay Pots Versus Bucket Irrigation System Under Swiss Chard (*Beta vulgaris subsp. cicla*), Growers Condition in Northern Ethiopia', *Malaysian Journal of Medical and Biological Research*, vol. 1, pp. 122-7.
- Bainbridge, A. 2011, 'Buried Clay Pot Irrigation: A Little-Known but Very Efficient Traditional Method of Irrigation', *Agricultural Water Management*, vol. 2, pp. 79-88, [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00119-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00119-0).
- Bharucha, Z.P. & Pretty, J. 2014, 'Sustainable intensification in agricultural systems', *Annals of Botany*, vol. 114, no. 8, pp. 1571-96.
- Carlos D. & Martorano L. 2020, 'Agrotecnologia Irrigapote: Potencial de Expansão de Irrigação de Baixo Custo em Áreas de Cultivos Agrícolas no Brasil' in S. Melo & T. Brasileiro (eds), 'Sociedade, Natureza e Desenvolvimento', CVR editora, vol. 2, Curitiba-Paraná, pp. 560-98.

- Costa, J.M., Ortuño, M.F. & Chaves, M.M. 2007, 'Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture', *J Int. Plant Biol.*, vol. 49, pp. 1421-34.
- Costa, M., Grant, O.M. & Chaves, M.M. 2013, 'Thermal imaging to assess plant-environment interactions', *J Exp Bot.*, vol. 64, pp. 3937-49.
- Cruz, I.A., Benitez, R.J.P. Osornio, R.A., Dominguez, B., David, A., Rodriguez, M. & Morales H. 2018, 'A methodology based on infrared thermography for the study of stress in hands of young people during the Trier Social Stress Test', *Infrared Physics & Technology*, vol. 93. pp 116-23. <https://www.doi.org/10.1016/j.infrared>.
- Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho, P. J. & Santos, J. 2012, 'An overview of climate change impacts on European viticulture', *Food and Energy Security*, vol. 1, pp. 94-110.
- Frodella W., Lazzeri, G., Moretti, S., Keizer, J. & Verheijen, A. 2020, 'Applying Infrared Thermography to Soil Surface Temperature Monitoring: Case Study of a High-Resolution 48 hours Survey in a Vineyard (Anadia, Portugal)', *Sensors*, vol. 20, no. 9, p. 2444. <https://www.doi.org/10.3390/s20092444>
- Gebru, A., Araya, A., Habtu, S., Wolde G., T., Teka, D., & Martorano, L.G. 2018, 'Evaluating water productivity of tomato, pepper and Swiss chard under clay pot and furrow irrigation technologies in semi-arid areas of northern Ethiopia', *International Journal of Water*, vol. 12, pp. 54-65.
- Globo Rural 2017, 'Com baixo custo, potes de argila são usados para irrigar lavouras: Tecnologia simples e de baixo custo vem sendo utilizada como alternativa barata para irrigar lavouras de frutas e hortaliças', acesso em 10 de janeiro 2021, <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/01/potes-de-argila-sao-usados-na-irrigacao.html>>.
- Grosso, J.D. Salviano, M.F. & Pellegrino, G.Q. 2016, 'Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil', *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 31, no. 1, pp. 64-73.
- Jabert, J. 2016, 'A influência da vegetação no índice de conforto térmico em praças de diferentes configurações morfológicas na cidade de Santarém-PA', Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém. http://www.ufopa.edu.br/academico/pos-graduação/banco-de-teses/ppgrma/2010/diniz-junior-jabert/at_download/file
- Jahfer, S. Vinayachandran, P.N. & Nanjundiah, R. S., 2020, 'The role of Amazon river runoff on the multidecadal variability of the Atlantic ITCZ', *Environmental Research Letters*, vol. 15, p. 054013.
- Jones, H. G. 2004, Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology, *Advances in Botanical Research*, vol. 41, pp. 107-163.
- Jones, H. G., Serraj, R. Loveys, B. R. Xiong, L., Wheaton, A. & Price, A. 2009, 'Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field', *Functional Plant Biology*, vol. 36, pp. 978-89.
- Jones, H.G., & Vaughan, R.A., 2010, *Remote sensing of vegetation: principles, techniques and applications*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Kaplan, H. 2007, *Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment*, 3rd edn, SPIE Press, Washington, USA.
- Lima, N.S. Oliveira, A.M. Façanha, F.E.B. Braga, Figueiredo, R.S., Calazães, R.M., Quispe, W.D., Vale, R.S. & Ferreira, A.S. 2019, 'Reduction in Water Levels and Regional Warming of the Amazon River from Peru to the Atlantic Ocean in Brazil due to the Effects of the 2016 ENSO', *Revista Brasileira de Geofísica*, vol. 37, pp. 83-94.
- Lobato, G.J.M., Martorano, L.G., Lucas, F.C.A. Tavares M., A.C.C. & Jardim, M.A.G. 2016, 'Condições térmico-hídricas e percepções de conforto ambiental em quintais urbanos de Abaetetuba, Pará, Brasil', *Ra & Ga*, vol. 38, pp. 245-68.
- Loureiro, R.S., Saraiva, J.M., Saraiva, I., Senna, R.C. & Fredó, A.S. 2014, 'Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará'. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 29, no. esp. pp. 83-94.
- Margalho, E., Silva, T. Cardoso, L., Olinda, R., & Menezes, J.F.G. 2020, 'Influência da mudança do uso e cobertura do solo sobre a temperatura da superfície continental na área urbana de Belém-PA', *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ*, vol. 43, pp. 7-19.
- Martorano, L.G., Bergamaschi, H., Dalmago, G.A., Faria, R.T. de, Mielniczuk, J. & Comiran, F. 2009, 'Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional'. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 13, pp. 397-405.
- Martorano, L.G., Nechet, D., & Pereira, L.C. 1993, 'Tipologia climática do Estado do Pará: adaptação do método de Köppen', *Boletim de Geografia Teórica*, vol. 23, pp. 45-6.
- Martorano, L.G., Vitorino, M.I., Silva, B.P.P.C., Moraes, J.R. da S.C., Lisboa, L.S., Sotta, E.D., & Reichardt, K. 2017, 'Climate conditions in the eastern amazon: rainfall variability in Belem and indicative of soil water deficit', *African. Journal Agricultural Research*, vol. 12, pp. 1801-10.
- Martorano, L. 2020, 'O Reuso da água da chuva pelo projeto IrrigaPote: Estratégia de produção agrícola resiliente na Amazônia' in M. O Silva, *O meio ambiente e a interface dos sistemas social e natural*, Atena, Ponta Grossa-PR, pp. 1-15.
- Martorano, L.G., Araya, A., Moraes, J.R., Lima, A. da S. Costa, D.C. Barbosa, A.M.S. & Marques, M.C. 2018, 'Water Replenishment in Agricultural Soils: Dissemination of the IrrigaPot Technology'. <http://doi.org/10.5772/intechopen.80605>
- Martorano, L.G., Araya, A.B., Kebede, H., & Ferreira, H. 2016, 'Use of efficient, low cost and climate smart irrigation technology under home garden vegetable growers condition in Ethiopia', *EcoSummit*, Montpellier, France, pp. 178-183.
- Moraes, J.R.S.C., Rolim, G.S. Martorano, L.G., Aparecido, L.E.O., Bispo, R.C., Valeriano, T.T.B. & Esteves, J.T. 2020, 'Performance of the ECMWF in air temperature and precipitation estimates in the Brazilian Amazon', *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 140, pp. 3-4.

- Namara, R., Upadhyay, B., & Nagar K. 2005, *Adoption and Impacts of Micro Irrigation Technologies: Empirical Results from Selected Localities of Maharashtra and Gujarat States of India*, Research Report 93, IWMI, pp. 89-93.
- Oliveira, J. R. & Correa, J.R.V. 2001, 'Caracterização dos solos do Município de Belterra, Estado do Pará', *Documentos Embrapa Amazônia Oriental*, Belém, vol. 88, pp. 1-39.
- Oliveira, L.L., Silva, T. M.R., Barreto, N. J. C., Canani, L.G., & Almeida, R.M. 2020, 'Influência do El Niño Oscilação Sul – ENOS – (2015/2016) no regime hidrológico e geração de energia na usina hidrelétrica de Curuá-Una, Amazônia central', *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, vol. 11, no. 4, pp. 136-44. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0012>.
- Pilato, G., Martorano, L.G., Silva, L., Beldini, T., & Neves, K. A. 2018, 'Padrões de alvos em sistema pecuário extensivo diagnosticados por termografia infravermelho no oeste do Pará', *Revista de Agroecossistemas*, vol. 10, pp. 55-72.
- Rodrigues, E., Silva, R. da, Falesi, I.C., Reis, R.S. dos, Morikawa, I.K. & Araujo, J.V, 1974, *Solos da Rodovia PA – 70 Trecho Belém –Brasília–Marabá*. Belém, Boletim Técnico no. 60, IPEAN, pp. 1 – 92.
- Siqueira, A., Martorano, L.G., Moraes, J. R.S.C., Siqueira, T.T. da S., Silva, T.M.G. da, Grossi -Milani, R. 2018, 'IRRIGAPOTE: Aprendizagem coletiva na utilização de tecnologia de irrigação sustentável', *Revista Educação Ambiental em Ação*, no. 64, pp. 26-34.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B.L., 2011, 'Global food demand and the sustainable intensification of agriculture', *PNAS*, vol. 3, no. 108, pp. 845-46.
- Vasudevan, P., Thapliyal, A. & Dastida, M.G., 2007, 'Pitcher or clay pot Irrigation for water conservation', *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering*, Dhaka, Bangladesh.

Recebido em: 26/11/2020

Aprovado em: 24/05/2021

Como citar:

Carlos, D.A.I., Martorano, L.G., Gaspar, A.B.S., Franco, I.M. & Silva, R. 2021, 'Uma Aplicação na Geociência da Termografia Infravermelho para Diagnosticar Padrões Térmico-Hídricos em Solos com Culturas Irrigadas por Potes de Argila no Oeste do Pará, Amazônia', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44: 39655. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_39655