



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021



QUO VADIS SENSORIAMENTO REMOTO EM CAFEIROS

VINICIUS SILVA WERNECK ORLANDO¹; GLECIA JÚNIA DOS SANTOS CARMO²,
THAMIRES GIL GODOY³, DANIEL JOSÉ PADOVANI EDERLI⁴, LETICIA BATISTA
CUNHA⁵, FERNANDO VASCONCELOS PEREIRA⁶

RESUMO

O café é uma das commodities mais consumidas do mundo, mas fatores bióticos e abióticos podem prejudicar sua produção. Como solução, o sensoriamento remoto tem sido utilizado nas avaliações de parâmetros vegetativos da cultura. Com o avanço tecnológico, acredita-se que detectar e quantificar os problemas do cafeeiro por meio de sensores e algoritmos baseados em aprendizado de máquina seja mais preciso, uma vez que tal abordagem proporciona a automação e reprodutibilidade de avaliações de campo. O presente estudo tem o objetivo de reunir e analisar trabalhos dos últimos cinco anos que investiguem o potencial dos dados adquiridos por sensoriamento remoto no monitoramento do cafeeiro e que utilizem aprendizado de máquina. Os resultados apontam um aumento destes algoritmos nos últimos anos. Estudos relacionados a produtividade também foram crescentes. Além disto, a quantidade de pesquisas nacionais tem se equiparado ao de estudos no exterior. Minas Gerais é o estado com mais publicações.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Cafeicultura. Aprendizado de máquina. Agricultura. Monitoramento de safra.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das principais atividades econômicas nacionais com efetiva participação no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Neste cenário, o Brasil é o segundo maior consumidor de café e ocupa o primeiro lugar como maior produtor e exportador a nível mundial do produto cultivado (ABIC, 2021). Em 2020 o país produziu 63,08 milhões de sacas de café e tem estimativa de 49 milhões de sacas para 2021 (CONAB, 2021).

Contudo, alguns fatores podem limitar o desenvolvimento dos cafeeiros e o sensoriamento remoto tem sido utilizado como instrumento para identificar e reduzir tais efeitos (DHANDE; MALIK, 2021; CHEMURA et al., 2018a; VIEIRA; MARCATTI, 2019). Os

¹Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, vinicius.werneck@unesp.br

²Universidade Federal de Uberlândia, gleciajscarco@hotmail.com

³Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, thamires.godoy@unesp.br

⁴Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, daniel.ederli@unesp.br

⁵Universidade Federal de Uberlândia, leticia.cunha@ufu.br

⁶Universidade Federal de Uberlândia, nandovasconcelosp@gmail.com



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

*Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021*



sensores remotos são capazes de captar a luz refletida pelos dosséis, que por meio de processos digitais permitem a identificação de variabilidades ou feições heterogêneas na lavoura. Tais produtos servem de base para tecnificar e determinar o manejo do cafeeiro (SILVA; ALVES, 2013).

Dentre estes fatores, a produtividade é um aspecto sedutor nas pesquisas que envolvem sensoriamento remoto e agricultura porque as informações sobre a produção das safras antes da colheita são importantes para o planejamento de políticas nacionais (SHANMUGAPRIYA et al., 2019). Em paralelo, as pesquisas também buscam compreender os desequilíbrios nutricionais das plantas (CHEMURA et al., 2018b), as doenças que atuam em todos os estágios fenológicos abordadas pela fitopatologia (VELÁSQUEZ et al., 2020), a indisponibilidade de recursos hídricos (QUEMADA et al., 2021), a sustentabilidade dos sistemas de produção (PONS, 2017) e a classificação sobre o uso e cobertura dos solos que viabilizam a análise e quantificação de áreas cultivadas (CHAVES; FERREIRA; DANTAS, 2019).

Além dos interesses inerentes a cultura do café, os recentes avanços tecnológicos nesta esfera propiciaram diversas pesquisas em torno de metodologias que utilizam os algoritmos baseados em aprendizado de máquina (CHEMURA et al., 2018a, 2018b; VELÁSQUEZ et al., 2020). Estes algoritmos utilizam-se da capacidade de aprenderem sem serem estritamente programadas, isto é, por meio dos dados de entrada (MCQUEEN et al., 1995).

Ocorre que a falta de um direcionamento das pesquisas em mapeamentos do café impede um entendimento completo do rumo das investigações no setor. Para orientar futuras pesquisas, este estudo realiza uma revisão sistemática sobre a evolução dos estudos do sensoriamento remoto em cafeeiros por meio do mecanismo de pesquisa Google Acadêmico, para avaliar qual o direcionamento das pesquisas, as regiões em que mais se publicam e se abordam o aprendizado de máquina, nos últimos cinco anos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material de análise foi composto por estudos publicados em periódicos, disponíveis online pelo mecanismo de pesquisa Google Acadêmico, no período de 2016 a 2021. No mecanismo de pesquisa, foi fixado os termos “remote sensing” e “coffee”. Para cada ano avaliado, foram utilizados os periódicos classificados como mais relevantes e em qualquer



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021



idioma e em seguida foi obtido o valor médio para cada classe.

As seis classes gerais em que os estudos foram classificados, com base nas perspectivas dos artigos de revisão, foram: (1) Fitopatologia: estudos relacionados aos insetos, patógenos e doenças na planta; (2) Produtividade: estudos relacionados ao monitoramento de safra, as avaliações e o desenvolvimento de parâmetros fisiológicos; (3) Nutricional: estudos abrangendo as avaliações de nutrientes do solo e da planta. (4) Relações hídricas: estudos contemplando as necessidades hídricas do cafeeiro. (5) Sustentabilidade: estudos relacionados aos sistemas agroflorestais e de adequações para alterações climáticas. (6) Uso e cobertura da terra: estudos de tendência espaço-temporal da área de cultivo.

Os estudos também foram classificados em relação a localização das áreas de investigação, sendo elas: (1) Exterior; (2) Território nacional com exceção de Minas Gerais; (3) Minas Gerais com exceção do Cerrado mineiro e (4) Cerrado mineiro. Além destas classes, foi observado se os estudos continham ou não algoritmos baseados em aprendizado de máquina. Em todas as etapas, não houve a sobreposição de classes.

Com o objetivo de normalizar as classes em função dos anos, as categorias foram calculadas em porcentagens.

3 RESULTADOS

A busca bibliográfica pode ser resumida pela Tabela 1:

Ano	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Classes em %						
Fitopatologia	20	20	14,29	17,65	30	0
Produtividade	0	26,67	21,43	17,65	35	66,67
Nutricionais	0	6,67	21,43	0	10	11,11
Relações hídricas	0	6,67	0	29,41	5	11,11
Sustentabilidade	20	20	7,14	11,76	20	11,11
Uso e cobertura	60	20	42,86	23,53	0	0
Exterior	40	80	71,43	17,65	55	44,44
Nacional	10	0	14,29	11,76	0	11,11
MG	30	13,33	21,43	52,94	45	44,44
Cerrado	20	6,67	0	17,65	0	0
Aprendizado de máquina	11,76	29,41	64,29	5,88	40	40
Total de trabalhos avaliados	10	15	15	17	19	9

Fonte: AUTORES (2021).



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021

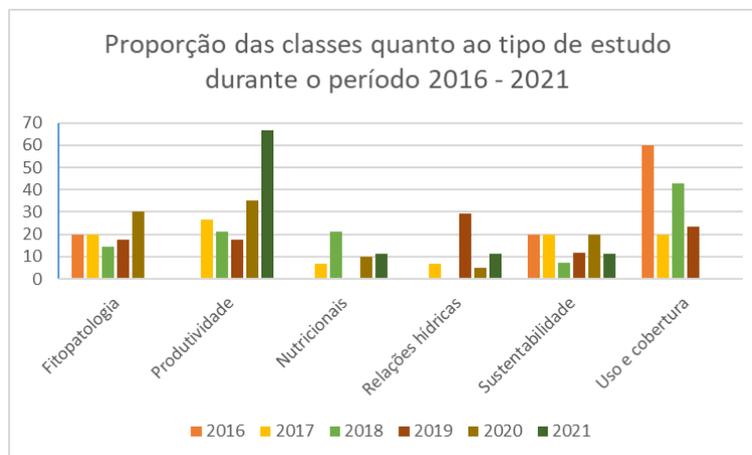


Assim, serão apresentadas as classificações quanto ao tipo de estudo, em relação a localização das áreas de estudo, em relação as aplicações de aprendizado de máquina nos estudos e as suas respectivas localidades.

3.1 Classificação quanto ao tipo de estudo

Seis classes foram definidas quanto ao tipo de estudo: fitopatologia; produtividade; nutricional; relações hídricas; sustentabilidade e uso e cobertura da terra. A Figura 1 apresenta a distribuição destas pesquisas conforme os anos estipulados.

Figura 1. Classes do tipo de estudo em função dos anos avaliados.



Fonte: AUTORES (2021).

3.2 Classificação em relação a localização das áreas de estudo

Em relação à localização das áreas de estudo, foram definidas quatro classes: exterior; território nacional com exceção de Minas Gerais; Minas Gerais com exceção do Cerrado mineiro; e Cerrado mineiro (Figura 2).

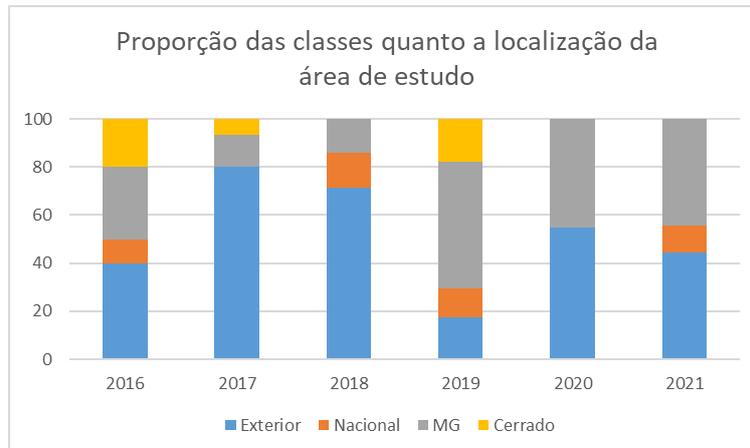
Figura 2. Classes de localização das áreas de estudo em função dos anos avaliados.



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021

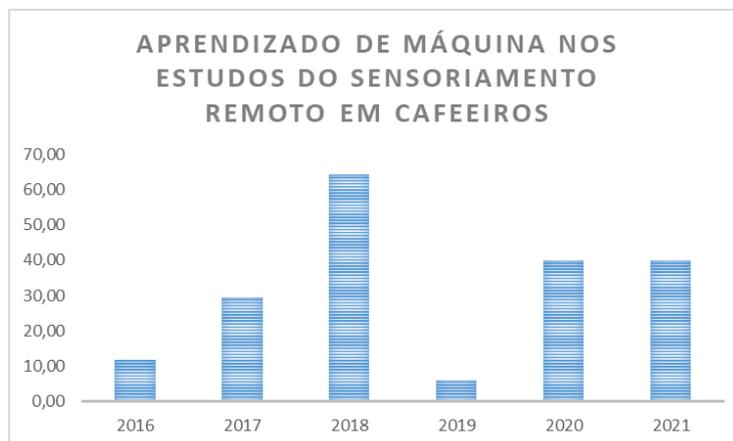


Fonte: AUTORES (2021).

3.3. Classificação em relação às aplicações de aprendizado de máquina

A Figura 3 relaciona a distribuição das pesquisas que utilizaram o aprendizado de máquina em função do total avaliado por ano.

Figura 3. Porcentagem da utilização do aprendizado de máquina em estudos de sensoriamento remoto do cafeeiro em função dos anos avaliados.



Fonte: AUTORES (2021).

A Figura 4 ilustra a localidade das investigações que utilizaram o aprendizado de máquina.

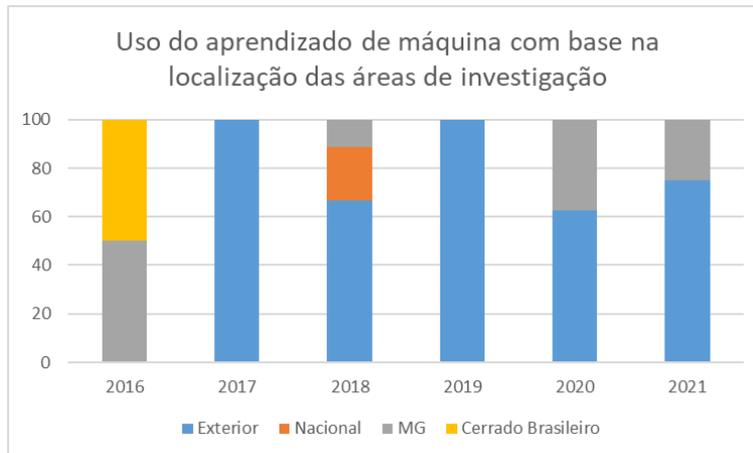
Figura 4. Porcentagem da localização das áreas em que mais utilizam o aprendizado de máquina nas pesquisas do sensoriamento remoto em cafeeiros.



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021



Fonte: AUTORES (2021).

4 DISCUSSÕES

4.1 Quanto ao tipo de estudo

A classe de produtividade foi a que mais cresceu a partir de 2017, havendo uma queda nos anos de 2018 e 2019, seguida de uma ascensão em 2020 e 2021. Tal resultado pode ser comparado ao histórico do preço do café (COOXUPÉ, 2021), onde houve a valorização das sacas de café até o ano de 2017, queda nos anos de 2018 e 2019 e retomada nos anos de 2020 e 2021. Assim, observa-se que as pesquisas relacionadas a produtividade, acompanham o valor de mercado internacional das sacas de café.

A classe de uso e cobertura da terra foi a segunda mais abordada entre os pesquisadores. Conforme (HUNT et al., 2020), esta finalidade tem sido comum e amplamente abordada entre os estudos internacionais, principalmente com os sensores orbitais da série Landsat. Ainda conforme os autores, estes estudos apontam uma dificuldade em separar áreas heterogêneas, e por isto, utilizam os dados multiespectrais para classificação de áreas cafeeiras.

A classe de sustentabilidade foi a única que permaneceu presente em todos os anos avaliados. Assim como para a classe de produtividade, os valores foram menores em 2017 e 2018. Para Kittichotsatsawat, Jangkrajarn e Tippayawong (2021), as questões globais envolvidas em pesquisas relacionadas a sustentabilidade fazem com que os produtores necessitem constantemente garantir a segurança alimentar, o controle de qualidade e as práticas ambientalmente corretas na cafeicultura para serem competitivos no mercado.

A classe de Fitopatologia apresentou uniformidade com o passar dos anos, havendo um maior volume (30%) no ano de 2020. Conforme Ali et al. (2019), os artigos desta linha



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

*Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021*



utilizam em sua maioria de dados hiperespectrais, sendo dependentes das evoluções destes sensores.

As classes de nutrição e das relações hídricas do cafeeiro obtiveram maiores destaques nos anos de 2018 e 2019, respectivamente. Apesar da detecção de informações nutricionais ser o campo mais importante em que o sensoriamento remoto pode atuar (SHANMUGAPRIYA et al., 2019), observa-se que outros parâmetros estão disputando espaço entre os pesquisadores, até porque determinados estresses, incluídos em outras classes, podem cadenciar a distribuição de nutrientes nas plantas (VIEIRA JUNIOR; FERNANDES, 2015; PIRES; ALVES; POZZA, 2020). Quemada et al. (2021) revisaram os estudos que envolvem o sensoriamento remoto e as relações hídricas das plantas. Assim como neste estudo, os autores relatam que de 2018 para 2019 houve uma ascensão de estudos na área, reduzindo de 2019 para 2020. Conforme Quemada et al. (2021), as publicações na área estão relacionadas ao aprimoramento tecnológico dos sensores e as folhas, cerca de 35,1% dos estudos, é a parte da planta mais investigada.

4.2 Quanto à localização da área de estudo

A classe de pesquisas no exterior aponta que demais países produtores estão avançando no campo científico do sensoriamento remoto da cafeicultura, como é o caso da Colômbia (VELÁSQUEZ et al., 2020; REYMONDIN; BUNN, 2019), Indonésia (REYMONDIN; BUNN, 2019), Vietnã (KOUADIO et al., 2021), Etiópia (TAKAHASHI; TODO, 2017) e Guatemala (PONS, 2017).

No Brasil, menos de 10% de pesquisas em média, foram fora do estado de Minas Gerais. As regiões produtoras do sul mineiro e a Universidade Federal de Lavras possuem grande impacto no número de publicações avaliadas (PIRES; ALVES; POZZA, 2020; MIRANDA et al., 2020; MARIN et al., 2019).

Dentro das proporções apresentadas neste estudo, o Cerrado mineiro tem se aprofundado nas questões do sensoriamento remoto do cafeeiro. Foram encontradas pesquisas relacionadas às relações hídricas (ORLANDO, 2019) e a patógenos com potencial de dano econômico (MARTIN; GALO; VIEIRA, 2017).

4.3 Quanto à utilização do aprendizado de máquina



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

*Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021*



A Figura 3 aponta que em 2017 (29,41%) houve crescente demanda de estudos com aprendizado de máquina no exterior. Logo, em 2018 (64,29%) foi o ano de maior aplicação do aprendizado de máquina aos estudos de sensoriamento remoto de cafeeiros, compreendendo não só o exterior, mas publicações do contexto nacional e do estado de Minas Gerais, conforme representado na Figura 4. Em 2019 (5,88%), nota-se a queda significativa do número de pesquisas. Já nos anos de 2020 e 2021 (40% em ambos), representam um aumento em relação a 2019 não só em números, mas como uma aparente polarização entre as pesquisas do exterior e de Minas Gerais.

Para Yao et al. (2017), estes algoritmos promovem excelentes resultados na classificação de imagens de sensoriamento remoto agrícola, e as pesquisas convergem para o uso massivo de técnicas de aprendizado profundo.

Apesar deste estudo ter sido realizado em meados de 2021, nota-se que os trabalhos envolvendo o aprendizado de máquina em pesquisas da área já estavam em 40%, isto é, nos mesmos números do ano de 2020. Tal resultado pode ser observado pela popularização destes algoritmos no estado de Minas Gerais.

5 CONCLUSÕES

Nos estudos que avaliam a aplicação do sensoriamento remoto em cafeeiros nos últimos anos, houve o aumento progressivo de investigações relacionadas à produtividade e maior destaque por parte dos pesquisadores na utilização de ferramentas computacionais baseadas em aprendizado de máquina.

Observa-se que os trabalhos com áreas de estudo localizadas no exterior são historicamente em proporções maiores, porém o Brasil tem se equiparado a este número. No país, o estado de Minas Gerais não é só o maior produtor de café, mas também é o estado que mais publica no setor avaliado.

REFERÊNCIAS

ALI, M.M. et al. Non-destructive techniques of detecting plant diseases: A review. **Physiological and Molecular Plant Pathology**. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ - ABIC. Disponível em: <<http://abic.com.br/>>. Acesso em: 02 jun. 2021.



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021



CHAVES, M. E. D.; FERREIRA, E.; DANTAS, A.A.A. Thresholds definition in MOD13Q1 and VGT-S10 time series for coffee crop area estimation in Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba.

Theoretical and Applied Engineering, v. 3, n. 2, pp. 1-10. 2019.

CHEMURA, A. et al. Machine learning prediction of coffee rust severity on leaves using spectroradiometer data. **Tropical Plant Pathology**, v. 43, n. 2, pp. 117-127. 2018a.

CHEMURA, A. et al. Mapping spatial variability of foliar nitrogen in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations with multispectral Sentinel-2 MSI data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.138, pp.1-11. 2018b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Observatório agrícola: Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, V.6 - SAFRA 2020 - N.3 - Terceiro levantamento**, setembro 2020. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 24 jun. 2021.

COOPERATIVA REGIONAL DE CAFEICULTORES EM GUAXUPÉ - COOXUPÉ. **Preço histórico do café**. Disponível em: <<http://portalweb.cooxupe.com.br:8080/portal/precohistorico cafe.jsp>> Acesso em: 27 de jun. de 2021.

DHANDE, A.; MALIK, R. Hyper spectral remote sensing for damage detection and classification models in agriculture-a review. **Information technology in industry**, v. 9, n. 1, pp. 380-386. 2021.

HUNT, D. A. et al. Review of Remote Sensing Methods to Map Coffee Production Systems. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, p. 2041. 2020.

KITTICHOTSATSAWAT, Y.; JANGKRAJARNG, V.; TIPPAYAWONG, K.Y. Enhancing Coffee Supply Chain towards Sustainable Growth with Big Data and Modern Agricultural Technologies. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4593. 2021.

KOUADIO, L. et al. Performance of a process-based model for predicting robusta coffee yield at the regional scale in Vietnam. **Ecological Modelling**, v. 443, p.109469. 2021.

MARIN, D. B. et al. Multispectral radiometric monitoring of bacterial blight of coffee. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 5, pp. 959-982. 2019.

MARTINS, G.D.; GALO, M.D.L.B.T.; VIEIRA, B.S. Detecting and mapping root-knot nematode infection in coffee crop using remote sensing measurements. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 10, n. 12, pp. 5395-5403. 2017.

MCQUEEN, R.J.; GARNER, S.R.; NEVILL-MANNING, C.G.; WITTEN, I.H. **Applying machine learning to agricultural data**. Computers and electronics in agriculture, 12(4), 275-293. 1995.



II Simpósio Regional de Agrimensura e Cartografia

“Ampliando os horizontes e discutindo o futuro da geoinformação e do cadastro territorial do Brasil”

Universidade Federal de Uberlândia – UFU / Campus Monte Carmelo
22 a 24 de novembro de 2021



MIRANDA, J. R. et al. Detection of coffee berry necrosis by digital image processing of landsat 8 oli satellite imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 85, p.101983. 2020

ORLANDO, V.S.W. **Potencial de imagens multiespectrais tomadas por ARP no monitoramento do manejo da irrigação da cultura do café**. TCC - Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

PIRES, M.S.O.; ALVES, M.C.; POZZA, E.A. Multispectral radiometric characterization of coffee rust epidemic in different irrigation management systems. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 86, p. 102016. 2020.

PONS, D. **Exploring Historical Coffee and Climate Relations in Southern Guatemala: An Integration of Tree Ring Analysis and Remote Sensing Data**. 2017. 146 p. Dissertation - Presented to the Faculty of Natural Sciences and Mathematics University of Denver. 2017.

QUEMADA, C. et al. Remote Sensing for Plant Water Content Monitoring: A Review. **Remote Sensing**, v. 13, n. 11, p. 2088. 2021.

REYMONDIN, L.; BUNN, C. Mapping and Monitoring of Coffee and Forests in Colombia + Indonesia: Coffee and Forest Conservation Workshop. **International Center for Tropical Agriculture (CIAT)**, 14 p. 2019.

SHANMUGAPRIYA, P. et al. Applications of remote sensing in agriculture-A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 1, pp. 2270-2283. 2019.

SILVA, F.M.; ALVES, M.C. **Cafeicultura de Precisão**. Lavras-MG: Editora UFLA, pp. 63-64. 2013.

TAKAHASHI, R.; TODO, Y. Coffee certification and forest quality: evidence from a wild coffee forest in Ethiopia. **World Development**, v. 92, pp.158-166. 2017.

VELÁSQUEZ, D. et al. A method for detecting coffee leaf rust through wireless sensor networks, remote sensing, and deep learning: Case study of the Caturra variety in Colombia. **Applied Sciences**, v. 10, n. 2, p. 697. 2020.

VIEIRA JUNIOR, J.R.; FERNANDES, C.F. **Doenças do cafeeiro**. Porto Velho, Embrapa Rondônia, pp. 281-307. 2015.

VIEIRA, R.P.H.; MARCATTI, G.E. Detecção de anomalias na cultura do café utilizando imagens do satélite Sentinel-2. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Santos, SP, BRAsil. p. 2576-2579. 2019.

YAO, C. et al. A review on image classification of remote sensing using deep learning. **3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)**. Chengdu, China. p.1947-1955. 2017.