

PLANO DE MONITORAMENTO REMOTO PARA FAZENDAS DE CAFÉ

Imagem: Google Earth Engine



10 DE FEVEREIRO DE 2026

AUTOR:

ROZYMÁRIO BITTENCOURT FAGUNDES

Analista de Dados Geoespaciais
Mestre em Agricultura de Precisão



SAFRA DO CAFÉ

Av. Jardim Guanabara, 1900, Boa Vista
Vitória da Conquista – BA
www.safradocafe.com.br
contato@safradocafe.com.br
77 98849 1600

1. Introdução

A cafeicultura moderna, diante da crescente variabilidade climática, da pressão por eficiência produtiva e da competitividade do mercado, demanda a incorporação de ferramentas tecnológicas capazes de elevar o desempenho da produção, reduzir custos operacionais e ampliar a previsibilidade da safra.

Nesse cenário, o monitoramento remoto por meio de imagens de satélite integradas a dados climáticos consolida-se como uma das soluções mais estratégicas para o acompanhamento técnico da lavoura, combinando baixo custo operacional, cobertura contínua e suporte qualificado à tomada de decisão.

Diversas pesquisas científicas demonstram que índices de vegetação e índices espectrais derivados de sensores orbitais apresentam elevada correlação com parâmetros fisiológicos do cafeeiro, permitindo avaliar, de forma espacial e temporal, o vigor vegetativo, o estado nutricional (especialmente relacionado ao nitrogênio), o teor de água na vegetação e as variações na cobertura do solo.

Essa capacidade de monitoramento contínuo possibilita a identificação precoce de anomalias, a detecção de heterogeneidade entre talhões e o direcionamento mais preciso das intervenções agronômicas.

Com base nesses fundamentos técnicos e científicos, o sistema **Safra do Café** foi desenvolvido como uma plataforma de apoio à gestão da propriedade cafeeira. O sistema integra dados de sensoriamento remoto, radar e clima, organizando informações provenientes de fontes confiáveis e consolidadas para auxiliar produtores rurais e consultores agrícolas na interpretação técnica do comportamento da lavoura e no planejamento de ações mais eficientes ao longo do ciclo produtivo.

A realização do monitoramento envolve o conhecimento prévio da área, como manejos adotados, idade do cafeeiro, variedade, densidade de plantas por hectare e objetivo do monitoramento, que envolve um plano a ser seguido por etapas, conforme a fenologia da planta de café no contexto da área de produção.

2. Objetivo

O objetivo deste plano é orientar produtores rurais cafeicultores e profissionais que atuam com assistência técnica sobre a utilização do monitoramento remoto por imagens de satélites e dados climáticos na gestão da lavoura, com base em três pilares que operam de forma integrada e contínua dentro do sistema **Safra do Café**:

1. As recomendações agronômicas descritas no **Manual do Café – Manejo de Cafezais em Produção da EMATER-MG** (Mesquita et al., 2016), que detalham os processos fisiológicos do cafeeiro, sintomas de deficiências nutricionais, impactos de pragas e doenças e as exigências do manejo ao longo do ciclo produtivo;
2. Evidências científicas consolidadas sobre o uso de índices espectrais, sensores ópticos e radar no monitoramento de vigor, nutrição, estrutura do dossel e estresse em culturas perenes;
3. Integração com dados climáticos da plataforma ERA5, permitindo contextualizar o comportamento da lavoura em função das condições ambientais.

Neste contexto, a proposta é complementar o manejo técnico presencial, sendo o sensoriamento remoto ferramenta de apoio à decisão, oferecendo acompanhamento contínuo da lavoura, identificação precoce de riscos produtivos e suporte técnico ao produtor e ao consultor agrícola.

O Manual do Café fornece a base fisiológica para interpretação dos sinais observados. O sistema Safra do Café integra essas informações em um ambiente digital único, organizando dados de satélite, radar e clima em análises objetivas e historicamente comparáveis.

3. Estrutura do modelo de monitoramento: metodologia

O monitoramento está estruturado em duas frentes complementares: acompanhamento do manejo informado e verificação técnica por sensoriamento remoto. O produtor ou responsável técnico informa o cronograma de manejo previsto para a safra, incluindo adubação (macro e micronutrientes), calagem, gessagem, aplicações fitossanitárias, podas, manejo de plantas daninhas, irrigação (quando houver) e demais práticas agronômicas previstas.

O monitoramento remoto acompanha a execução dessas práticas e cruza essas informações com o comportamento fisiológico da lavoura observado por imagens de satélite e dados climáticos, verificando a resposta da lavoura e emitindo orientações/sinais de alerta.

4. Monitoramento por satélites: instrumentos

O monitoramento remoto é realizado por meio do Google Earth Engine (GEE) para a obtenção e processamento das imagens ópticas do Sentinel-2 MSI (S2_SR_HARMONIZED), dados SAR/radar do Sentinel-1 (S1_GRD) e dados climáticos da plataforma ERA5 (ECMWF/ERA5_LAND/DAILY_AGGR), integrados ao sistema Safra do Café, por meio de computação em nuvem.

4.1 Sentinel-2 (índices de vegetação/espectrais)

Permite o cálculo de índices como NDVI, NDRE, GNDVI, CCCI, NDWI, NDMI, MSAVI2 e NBR. Esses índices estão relacionados ao vigor vegetativo, teor de clorofila, status de nitrogênio, densidade do dossel, teor de água na planta e estresse severo. A partir desses índices, é possível:

- Acompanhar a evolução temporal do vigor do cafeeiro.
- Identificar heterogeneidade intratalhão.
- Detectar reboleiras associadas a problemas radiculares ou nutricionais.
- Monitorar resposta fisiológica após adubações e aplicações fitossanitárias.
- Detectar desfolha associada a doenças como ferrugem e cercosporiose.
- Identificar indícios de estresse hídrico prolongado.

4.2 Sentinel-1 (SAR/radar)

O radar permite monitoramento independente de cobertura de nuvens, sendo especialmente relevante em períodos chuvosos. Fornece informações relacionadas à estrutura do dossel e à umidade superficial. Com o Sentinel-1 é possível:

- Detectar alterações estruturais no dossel.
- Identificar mudanças na biomassa estrutural.
- Monitorar variações associadas a estresse hídrico.
- Detectar padrões persistentes de degradação estrutural, mesmo quando o índice óptico permanece aparentemente estável.

4.3 ERA5 (dados climáticos)

A plataforma ERA5 fornece dados diários da precipitação acumulada, temperatura do ar, radiação solar e umidade do ar (ponto de orvalho). Esses dados permitem:

- Relacionar quedas de vigor a eventos climáticos extremos.
- Diferenciar falhas de manejo de impactos climáticos.
- Avaliar risco de seca, geada ou excesso de chuvas.
- Contextualizar variações nos índices espectrais ao longo do ciclo produtivo.

5. Análise de riscos da produção

A análise de riscos será fundamentada nas descrições técnicas do Manual do Café e no comportamento observado por sensoriamento remoto, conforme descrito por pesquisas científicas.

5.1 Risco nutricional

O Manual do Café descreve sintomas característicos de deficiências e excessos de nutrientes.

- **Deficiência de nitrogênio:** provoca clorose uniforme nas folhas mais velhas e redução do crescimento vegetativo. Em escala de talhão, a limitação nutricional tende a se refletir em redução progressiva de NDRE e GNDVI. Caso seja informada adubação nitrogenada e não haja resposta compatível nos índices, há indício de problema de execução, limitação de solo ou deficiência radicular.
- **Deficiência de potássio:** está associada a necrose nas margens das folhas e prejuízo na formação e enchimento de frutos. Pode resultar em queda gradual do vigor e aumento da variabilidade interna do talhão.
- **Deficiência de magnésio:** provoca clorose internerval e redução da eficiência fotossintética. Em nível espacial, pode ser observada queda persistente de NDRE associada à manutenção da biomassa estrutural.
- **Deficiências de zinco e boro:** afetam crescimento apical, desenvolvimento de ramos e pegamento de florada. Embora os sintomas sejam inicialmente foliares, sua persistência pode resultar em redução estrutural do dossel ao longo do tempo.

Neste contexto, o monitoramento considera não apenas valores absolutos dos índices, mas a coerência temporal, a resposta após o manejo realizado e a comparação com o histórico da própria área.

5.2 Risco radicular e nematoides

De acordo com o Manual do Café, problemas radiculares, como nematoides, podem ocorrer de forma aleatória ou em reboleiras. Em imagens de satélite, essas situações tendem a se manifestar como padrões espaciais persistentes de menor vigor.

Mesmo que o NDVI médio do talhão permaneça elevado, o aumento da variabilidade interna e a permanência de manchas indicam risco estrutural. Assim, análise por monitoramento remoto considera a estabilidade dessas anomalias ao longo de múltiplos períodos e sua relação com o histórico produtivo.

5.3 Risco de doenças foliares

Ferrugem e cercosporiose provocam desfolha progressiva e redução da atividade fotossintética. O sensoriamento remoto pode detectar:

- Queda progressiva de NDVI e NDRE.
- Redução do CCCI.
- Aumento de solo exposto detectado pelo MSAVI2.

Se o plano técnico prevê controle fitossanitário e o comportamento espectral indicar desfolha persistente ou redução de vigor incompatível com a fase fenológica, há indício de falha ou atraso na execução.

5.4 Risco de abandono parcial ou manejo interrompido

Áreas com interrupção de manejo nem sempre apresentam queda imediata dos índices de vegetação/espectrais. A biomassa pode permanecer verde por determinado período, mesmo com redução significativa da produtividade. Por isso, a análise considera:

- Desacoplamento entre vigor e fase fenológica esperada.
- Ausência de resposta após períodos críticos do ciclo.
- Redução de uniformidade interna do talhão.

– Curva temporal divergente do padrão histórico da própria área.

O monitoramento não se baseia apenas na presença de vegetação verde, mas na tendência temporal, estabilidade estrutural e coerência com o ciclo produtivo.

5.5 Risco climático

Com integração dos dados ERA5, é possível identificar períodos de déficit hídrico severo, eventos de geada e chuvas excessivas. A queda de índices associada a evento climático documentado é analisada de forma distinta da queda associada a falha de manejo, permitindo interpretação técnica mais precisa.

6. Monitoramento por ciclo produtivo

O monitoramento é organizado conforme as fases fenológicas do café descritas no Manual do Café.

- **Pós-colheita e recuperação vegetativa:** espera-se recuperação do vigor após a colheita. A ausência de reação pode indicar esgotamento nutricional, deficiência radicular ou manejo inadequado.
- **Florada e pegamento:** espera-se estabilidade fisiológica e bom nível de clorofila. Reduções significativas podem indicar deficiência nutricional, estresse hídrico ou falhas no controle fitossanitário.
- **Chumbinho e expansão:** fase de alta demanda nutricional e hídrica. Queda de índices pode indicar deficiência de nutrientes, problemas radiculares ou estresse hídrico.
- **Granação e maturação:** espera-se manutenção do dossel até a maturação. Desfolha precoce ou redução estrutural do dossel indicam risco produtivo.

7. Direcionamento de visitas técnicas

As visitas presenciais podem ser direcionadas quando houver:

- Divergência entre manejo informado e resposta espectral observada.
- Persistência de anomalias espaciais indicativas de problema radicular.
- Indícios de risco nutricional ou fitossanitário não compatíveis com o cronograma informado.
- Alterações estruturais detectadas por radar ao longo do tempo.

Essa abordagem permite maior objetividade no manejo da lavoura, redução de custos operacionais e maior eficiência na alocação de equipes técnicas.

Referências

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*, Amsterdam, v. 138, p. 1–11, 2018.

FAGUNDES, ROZYMARIO. Sensoriamento remoto e redes neurais na estimativa da produtividade do café arábica na Bahia. Dissertação de Mestrado, 107 p., Orientador: Luiz Patric Kayser. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2025.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. A. Sensoriamento remoto em agricultura. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 285 p. LADEIA, C. A. Uso de sensores ativos e passivos na estimativa de teores de nitrogênio e do desenvolvimento fitotécnico e produtivo do cafeeiro. 2020. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2020.

MESQUITA, Carlos Magno de et al. Manual do café: manejo de cafezais em produção. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 72 p.

SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; RODRIGUES, G. C.; LUCHIARI JUNIOR, A. Influência das diferentes faces de exposição ao sol nos índices vegetativos e relativo de clorofila em cafés especiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 12., 2019, Indaiatuba. Anais... Ponta Grossa: SBIAGRO, 2019. p. 361–370.