

Mapeamento de parâmetros agronômicos do cafeeiro a partir de imagens tomadas por aeronave remotamente pilotada

Mapping coffee agronomic parameters based on remotely piloted aircraft images

Mapeo de parámetros agronómicos del café a partir de imágenes obtenidas por aeronaves plotadas a distancia



Pablo Henrique de Souza Assis

Universidade Federal de Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

pablohnrqsa@gmail.com



George Deroco Martins

Universidade Federal de Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

deroco@ufu.br



Vinicius Silva Werneck Orlando

Universidade Federal de Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

viniwerneck@outlook.com

Resumo O cultivo dos grãos de café vem se mostrando cada vez mais como uma das culturas predominantes no mercado atual. Com isso, faz-se necessário compreender e monitorar as variabilidades existentes nas grandes lavouras pelo mundo. Para tanto, as técnicas de Sensoriamento Remoto direcionadas ao monitoramento das variabilidades espectrais de uma cultura torna possível mapear e estudar as variabilidades espaciais e os fatores limitantes da produção. Dentre diversas variáveis, este trabalho objetivou o mapeamento de parâmetros relacionados à produtividade, tais como o Teor de Clorofila e a Área Foliar de uma cultura cafeeira localizada nas proximidades do município de Monte Carmelo - MG. O

mapeamento foi gerado a partir de modelos de regressão através da relação entre amostras obtidas in situ com o valor radiométrico de imagens tomadas por uma aeronave remotamente pilotada à 70 e 120 metros de altitude. Os resultados mostraram que para o voo de maior altitude a correlação entre as medidas de campo e a radiometria das imagens foi melhor. A precisão dos modelos estimadores apresentou melhor correlação com os índices TGI ($r = 0,536$ e $RMSE = 16,43\%$) para a clorofila e NDVI ($r = 0,484$ e $RMSE = 15,87\%$) para a área foliar.

Palavras-chave: Coffea arabica. Parâmetros agronômicos. Modelos de regressão.

Abstract The cultivation of coffee beans has increasingly been shown to be one of the predominant crops in the current market. With this, it's necessary to understand and monitor the variability existing in large crops around the world. Therefore, remote sensing techniques aimed at monitoring the spectral variability of a crop makes it possible to map and study spatial variability and production limiting factors. Among several variables, this work aimed to map parameters related to productivity, such as chlorophyll content and leaf area of a coffee crop located near the municipality of Monte Carmelo - MG. The mapping was generated from regression models through the relationship between samples obtained in situ with the radiometric value of images taken by a remotely piloted aircraft at 70 and 120 meters high. The results showed that for higher flight the correlation between field measurements and radiometry of images was better. The accuracy of the estimator models showed a better correlation with the TGI indices ($r = 0.536$ and $RMSE = 16.43\%$) for chlorophyll and NDVI ($r = 0.484$ and $RMSE = 15.87\%$) to the leaf area.

Keywords: Coffea arabica. Agronomic parameters. Regression models.

Resumen El cultivo de café ha demostrado cada vez más ser uno de los cultivos predominantes en el mercado actual. Con esto, es necesario monitorear la variabilidad existente en los grandes cultivos del mundo. Por lo tanto, las técnicas de teledetección destinadas a monitorear la variabilidad espectral de un cultivo permiten mapear la variabilidad espacial y los factores limitantes de la producción. Así, este trabajo tenía como objetivo mapear parámetros relacionados con la productividad, tales como el contenido de clorofila y el área de hoja de un cultivo de café situado en Monte Carmelo - MG. El

mapeo se generó a partir de modelos de regresión a través de la relación entre muestras obtenidas in situ con el valor radiométrico de las imágenes tomadas por un avión pilotado a distancia a 70 y 120 metros de altitud. Los resultados mostraron que para un vuelo de mayor altitud la correlación entre las mediciones de campo y la radiometría de las imágenes era mejor. La precisión de los modelos de estimadores mostró una mejor correlación con los índices TGI (r a 0,536 y RMSE a 16,43%) para clorofila y NDVI (r a 0,484 y RMSE a 15,87%) a la zona de la hoja.

Palabras clave: Coffea arabica. Parámetros agronómicos. Modelos de regresión.

Introdução

A agricultura assume grande papel na sociedade devido à sua forte influência em relação ao setor de serviços, sendo assim, considerada um dos pilares para a manutenção da economia mundial (CONCEIÇÃO; ZUCHI, 2014). Dentre as diversas culturas produzidas no país, a produção cafeeira é uma das que mais se destacam (MATIELLO et al., 2016). Para a safra de 2020 o café brasileiro teve produtividade estimada entre 57,2 milhões e 62,02 milhões de sacas beneficiadas do tipo arábica e conilon (CONAB, 2020). A estimativa da receita bruta das lavouras de café brasileiro para o ano de 2020 está prevista em R\$ 438 bilhões, isto é, um aumento de 25% em comparação ao ano anterior (EMBRAPA, 2020).

Levando em consideração as grandes dimensões do território nacional que são utilizadas para agricultura, é importante que o país possua e utilize-se das melhores e mais avançadas tecnologias de estudo e monitoramento das culturas e atividades agropecuárias (FORMAGGIO; SANCHES, 2017). O sensoriamento remoto é uma tecnologia que tem potencial no monitoramento da agricultura, pois conforme cita Martins (2016), direcionando-se essa prática como ferramenta de planejamento, controle e análise de dados agrícolas, possibilita-se o monitoramento das variações espectrais e espaciais e dos fatores limitantes da produção, fato que auxilia no processo de tomada de decisão e no manejo otimizado das culturas no campo de produção.

Assim, tais informações podem ser obtidas através da mensuração de aspectos biofísicos de interesse, sendo que essas variáveis são a base para contribuições em diversas áreas da agricultura (FORMAGGIO; SANCHES, 2017). Dentre esses parâmetros, a clorofila é essencial para realização do processo fotossintético, no qual a energia luminosa é convertida em energia química auxiliando na nutrição e desenvolvimento das plantas. O teor de clorofila está correlacionado com a concentração de nitrogênio na planta. A ausência de tal concentração reduz as reações bioquímicas do metabolismo do carbono e reduz a biossíntese de clorofila, bem como a área foliar o que consequentemente prejudica a produtividade (OLIOSI et al., 2017).

Logo, a área foliar também é outro importante indicador. Além de auxiliar em estudos relacionados com morfologia, anatomia e ecofisiologia vegetal, a folha é o principal órgão da planta, responsável pelas trocas gasosas e pela recepção da energia luminosa que posteriormente será convertida e utilizada como nutriente para a planta. Além disso, as dimensões foliares dão suporte na determinação do índice de área foliar (IAF), que pode estimar a produtividade de um ecossistema vegetal, seu crescimento e desenvolvimento das folhas (TARTAGLIA et al., 2016).

Atualmente, uma série de novos sensores multiespectrais instalados em plataformas espaciais, incluem bandas espectrais específicas que detectam as variações de clorofila nas folhas e fornecem informações sobre estrutura e condição sanitária da vegetação, sendo apropriadas para monitorar as atividades agrícolas (MARTINS, 2016). Embora os sensores orbitais tenham uma área maior de recobrimento, o uso de sensores multiespectrais acoplados em aeronaves remotamente pilotadas (ARP's), minimizam o custo das operações se tornando um meio rápido e preciso para avaliar o ciclo de desenvolvimento agrícola (FURLANETTO et al., 2017). Nesta perspectiva, as ARP's apresentam alta performance e excelente nível de detalhamento, sendo consideradas de baixo custo e fácil manuseio. Assim, essas ARPs podem ser equipadas com sensores térmicos, câmeras multiespectrais e câmeras RGB (câmeras convencionais com aquisição de imagens nos comprimentos de onda do azul, verde e vermelho) que auxiliam na detecção de falhas no plantio, registro de estresses hídricos, controle de pragas e problemas nutricionais (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

Portanto, este trabalho propõe avaliar o potencial do vínculo entre ARPs de baixo custo, sensores remotos de alta resolução e informações obtidas em campo, para fins do mapeamento do teor relativo de clorofila e a área foliar na cultura cafeeira por meio de técnicas de amostragem. Para tanto, considerou-se o uso da câmera Mapir Survey 3 operando em conjunto à câmera RGB acopladas na ARP modelo Phantom 4 Pro. Este conjunto gera imagens que contam com uma banda centrada no infravermelho próximo (IVP) e demais bandas na luz visível. Tais características possibilitam o

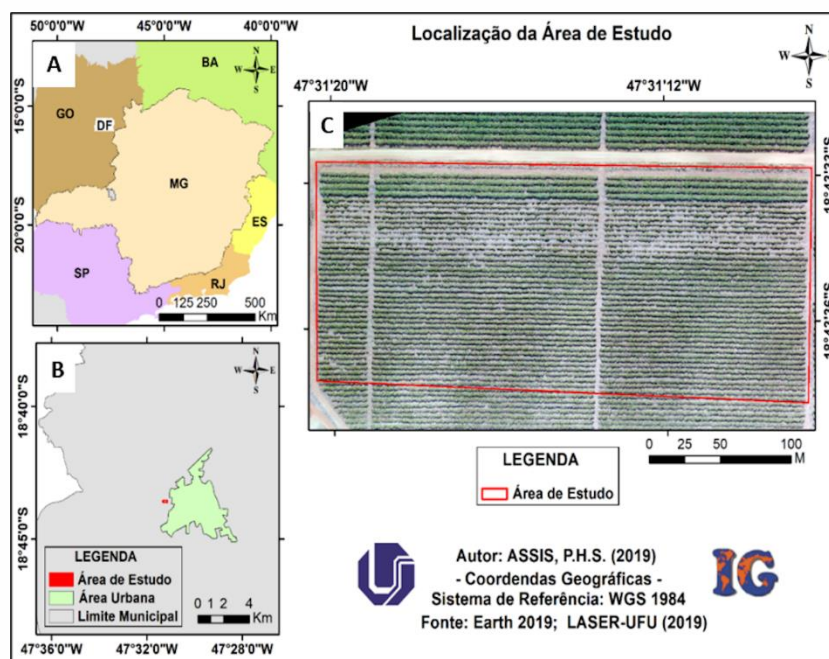
desenvolvimento de modelos estatísticos de estimativa apoiados em técnicas de sensoriamento remoto, no que se refere à agricultura de precisão, voltada ao mapeamento de parâmetros biofísicos do café. Deste modo, é possível detectar e compreender o comportamento dessas variáveis na lavoura, fato que auxilia os produtores na tomada de decisão, trazendo consequentemente a redução de custos e o manejo otimizado.

Métodos

Área de estudo e materiais

A área onde ocorreu o estudo (Figura 1), possui uma alta variabilidade de área foliar e consequentemente do teor de clorofila, encontrando-se próxima à região urbana do município de Monte Carmelo – MG, nas coordenadas geográficas a latitude de 18°43'35" Sul e longitude 47°31'14" Oeste, com extensão aproximada de 9 hectares e cultivada com café arábica (*Coffea arábica* L.). O município está situado na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. (A) Minas Gerais. (B) Limite Municipal e área urbana. (C) Região de estudo

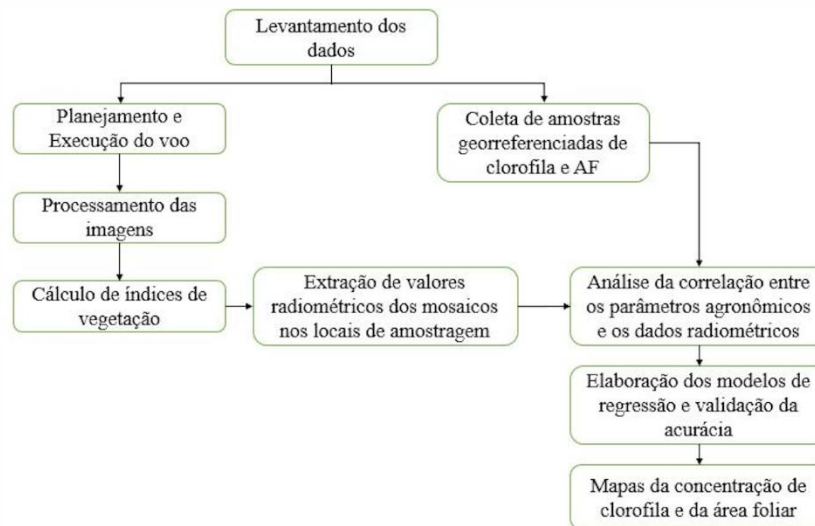


Fonte: Autoria própria (2019).

Procedimentos metodológicos

Os procedimentos executados neste trabalho são descritos pelo fluxograma da Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma dos processos metodológicos



Fonte: Autoria própria (2019).

A princípio, a parte de aquisição dos dados seguiu-se por duas vertentes. A primeira refere-se à mensuração dos valores do teor de clorofila e área foliar tomada a partir de 75 pontos amostrais aleatórios pertencentes à área de estudo. Para tanto, os valores de tais amostras obtidas em cada ponto de coleta foram georreferenciadas via receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) no modo de posicionamento RTK (Real Time Kinematic) e posteriormente planilhadas no software Excel.

Os valores do teor de clorofila foram óbitos com um medidor eletrônico do modelo ClorofiLOG Falker 1030. Este equipamento é baseado nos princípios de absorção e reflectância das folhas, captando essa radiação através do receptor e convertendo em sinais eletrônicos que determinam o estado nutricional da folha (FALKER, 2008). As medidas foram extraídas nas regiões do terço médio e terço superior de cada planta. Com isso, foi decidida à execução de quatro leituras por planta com a finalidade de se obter um valor médio do teor de clorofila para cada planta através do cálculo da média aritmética.

Os princípios de aquisição das dimensões foliares para o estudo foi equivalente aos do teor de clorofila, ou seja, as leituras

também foram realizadas no terço médio e superior de cada planta. As variáveis obtidas foram o maior comprimento e a largura do meio de cada folha, em centímetros, tomadas por uma régua milimétrica de acrílico. O cálculo da AF foi empregado seguindo a Equação 1, proposta por Barros et al. (1973):

$$AF = 0,667 * C * L \quad \text{(Equação 1)}$$

Tal equação baseia-se nas dimensões da área de um retângulo imaginário circunscrito em torno da folha de café, onde C é o comprimento da folha em centímetros e L é a largura do meio da folha em centímetros (BARROS et al., 1973).

Já a segunda vertente refere-se ao planejamento e execução dos voos. Os mesmos ocorreram no dia 20 de agosto de 2019 às 11:30 horário de Brasília, concomitantes com a obtenção das medidas de campo. Para tal realização, foi utilizada uma ARP modelo Phantom 4 Advanced com uma câmera RGB e outra modelo Mapiir Survey 3 acopladas. Os parâmetros estipulados para o aerolevanteamento são observados na Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros estabelecidos para o aerolevanteamento

Elementos	Valores utilizados
Altura de voo	70 m / 120 m
GSD	2 cm / 3,6 cm
Tempo de voo	7 min e 26 s / 5 min e 9 s
Sobreposição longitudinal	75%
Sobreposição lateral	65%

Fonte: Autoria própria (2019).

Vale salientar que a opção pela execução de dois voos em altitudes distintas teve como objetivo avaliar a influência da variável altitude nos resultados estatísticos dos modelos. Posto isto, a etapa

seguinte foi realizar o processamento das imagens, parte na qual as mesmas são unidas gerando-se assim um mosaico. Portanto, como o aerolevantamento foi realizado por duas câmeras distintas, isto é, a câmera RGB e a câmera Mapir Survey 3, logo o resultado do processamento gerado no software pix4Dmapper foram dois mosaicos distintos.

Em seguida, foram gerados os índices de vegetação. O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é tradicionalmente utilizado como base para diferentes tipos de análises sobre as condições da vegetação. Rouse et al. (1973) normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a +1 propondo o índice NDVI. Para alvos terrestres os valores variam entre 0 e valores superiores. Para superfícies aquosas os valores variam entre valores inferiores a 0. O índice é dado pela Equação 2:

$$NDVI = \frac{(IVP - R)}{(IVP + R)} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde IVP é a banda espectral do infravermelho próximo e o R é a banda espectral do vermelho (luz visível). O cálculo do NDVI foi realizado no software ENVI por meio da ferramenta BandMath e resultou em uma nova imagem. Para este trabalho também foi calculado o índice de vegetação Triangular Greenness Index (TGI). Desenvolvido por Hunt Jr et al. (2012), este índice estima a concentração de clorofila nas folhas com base na área de um triângulo, onde os sinais de reflectância na região do vermelho, verde e azul delimitam seus vértices. McKinnon e Hoff (2017) posteriormente realizaram estudos com o sensor Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS), sendo este o mais comum encontrado nas câmeras digitais da atualidade. Através do estudo de comprimentos de onda típicos desse sensor, normalizado pelo sinal verde, o cálculo do TGI é dado pela Equação 3:

$$TGI = G - 0.39 * R - 0.61 * B \quad (\text{Equação 3})$$

Onde G (550nm), R (670nm) e B (480nm) correspondem às reflectâncias medidas nos canais espectrais do verde, vermelho e azul, respectivamente.

Para concluir a etapa de processamento digital das imagens, foi extraído os valores radiométricos do mosaico referente aos pontos de amostragem. Para tanto, foi criada uma shapefile que continha polígonos vetorizados sobre as amostras georreferenciadas. Esses polígonos são chamados Regions of Interesting (ROI's) e contém os valores radiométricos dos pixels que estão dentro da região de interesse, isto é, na área de recobrimento de cada polígono. Com isso, essas informações são extraídas pela ferramenta ROI tool do software ENVI. O software também possibilita o cálculo da média desses valores para cada polígono através da ferramenta ROI Statistics.

Para finalizar o estudo, as amostras obtidas in situ foram correlacionadas com as informações radiométricas extraídas das bandas R, G, B e IVP provenientes da câmera Mapir Survey 3 e da câmera RGB além dos índices de vegetação calculados. Com isso, os modelos de estimativa foram gerados apenas para as bandas ou índices que apresentaram maior correlação com a clorofila e a área foliar. Com o intuito de se obter uma correlação significativa, foi considerado um P-valor menor que 0,05 a partir da correlação de Pearson. Desta forma, os modelos de estimativa foram gerados através da análise de regressão. Conforme descreve Lira (2004), esta análise estatística tem o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Em outras palavras, esta análise gera uma equação que tenta explicar o comportamento dessas variáveis (BUSSAB; MORETTIN, 2010). Dentre as equações geradas, optou-se sempre por aquelas que melhor se ajustavam aos dados, isto é, aquelas com maior coeficiente de determinação (R^2). Contudo, foi necessário verificar a acurácia dos modelos criados. Para isso, os modelos foram aplicados sobre a radiometria de 15 pontos de validação (checkpoints). Desse modo, obtiveram-se valores da concentração de clorofila estimada tornando possível o cálculo do Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) sendo este um método

bastante utilizado para verificação da acurácia de modelos estimadores (Equações 4 e 5).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_o - X_e)^2}{n}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$RMSE(\%) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_o - X_e)^2}{n}} * \frac{100 * n}{\sum_{i=1}^n X_e} \quad (\text{Equação 5})$$

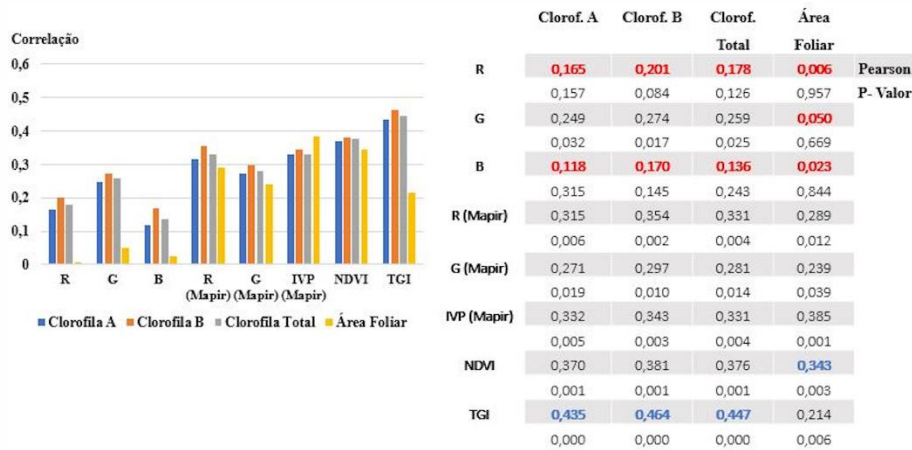
Onde RMSE é a raiz do erro médio quadrático; RMSE (%) é a raiz do erro médio quadrático em porcentagem; X_o representa os valores observados in situ; X_e representa os valores estimados de clorofila e área foliar; n é o número de amostras. Os modelos validados foram aplicados nas bandas de interesse, gerando-se os mapas com a variação do teor de clorofila e área foliar da região de estudo.

Resultados

Análise da correlação entre os parâmetros biofísicos, bandas e índices multiespectrais

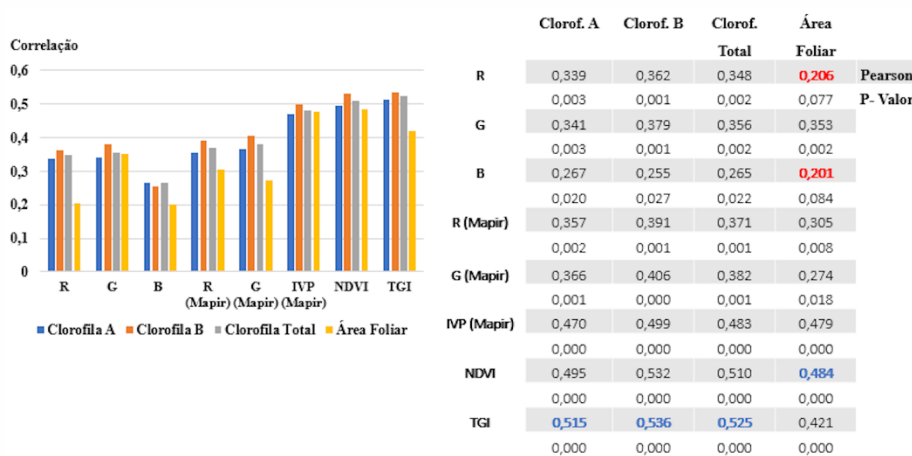
A Figura 3A e Figura 3B apresentam as correlações entre os parâmetros agronômicos, as bandas espectrais e os índices de vegetação para as altitudes de 70 e 120 metros respectivamente.

Figura 3A – Correlação entre os parâmetros, bandas e índices de interesse para a altitude de voo de 70 metros



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 3B – Correlação entre os parâmetros, bandas e índices de interesse para a altitude de voo de 120 metros



Fonte: Autoria própria (2019).

Considerando as informações dos gráficos acima e o fato de que na metodologia proposta por este trabalho fora estipulado que para p-valores < 0,05 as correlações seriam significativas, os dados mostram que as correlações para o voo à 70 metros de altitude foram inferiores aos de 120 metros. Isto pode ser comprovado observando-se a presença de nove valores que não resultaram em correlações significativas (cor vermelha) para o voo mais baixo, o que é evidenciado pelo alto p-valor nesta situação. Com isso,

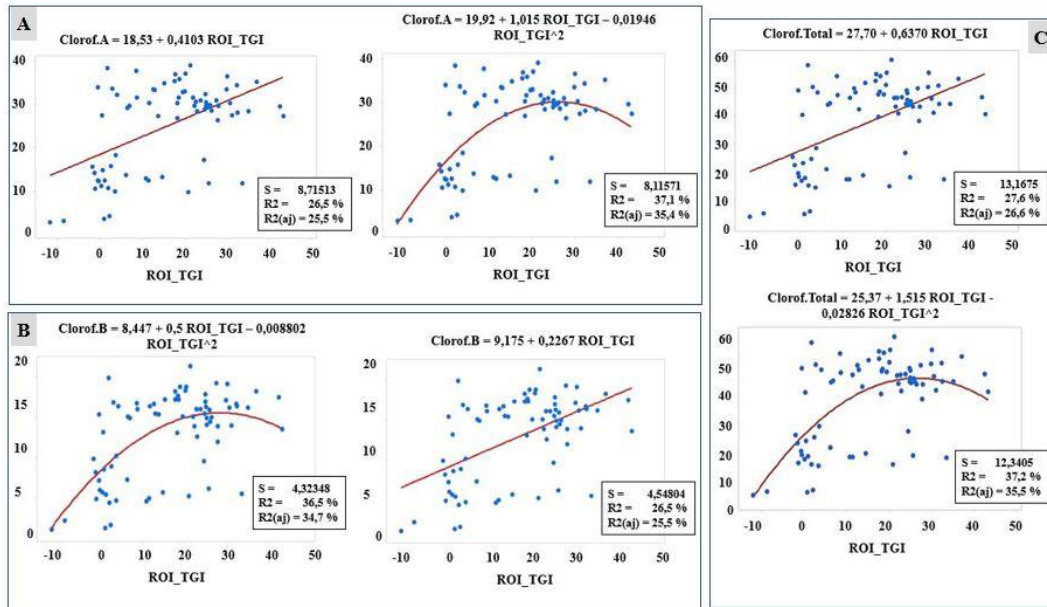
podemos partir do pressuposto que a variável altitude de voo teve influência nos resultados estatísticos para este trabalho. Considerando-se a diferença de resolução espacial causada pelo fator altitude, quanto maior a resolução espacial, maior será o detalhamento das informações o que pode influenciar na precisão de modelos estatísticos. Logo, imagens com resolução espacial não tão alta generalizam as informações e otimizam os resultados dos modelos estimadores. Brandão et al., (2011) utilizaram imagens do satélite Landsat 5 para gerar índices de vegetação como base para modelos estimadores do índice de área foliar e nitrogênio no algodoeiro conseguindo acurácia superior à 70% para grande parte dos modelos gerados.

Observando agora as informações para o voo à 120 metros, percebe-se que a quantidade de correlações não-significativas é menor, fato que pode ser evidenciado pela presença do p-valor baixo para a maioria dos dados. Como as informações para o voo à 120 metros possuem o maior valor absoluto do coeficiente de correlação de Pearson, de modo específico, ($r = 0,484$) para área foliar com o índice NDVI e ($r = 0,515$; $r = 0,536$; $r = 0,525$) para clorofila A, B e Total com o índice TGI, foi decidido que estes dois índices melhor descreveriam o comportamento dos parâmetros a serem mapeados. A correlação com os índices de vegetação é justificável pelo fato de tais índices serem desenvolvidos através de formulações matemáticas que visam permitir melhor avaliação da cobertura vegetal de uma área. Conforme citam Formaggio e Sanches (2017), tais formulações são descritas como medidas semi-analíticas da atividade da vegetação e têm sido amplamente utilizadas em razão do alto nível de fidedignidade na representação das variações da folhagem verde com o objetivo de detectar variabilidades especializadas.

Modelos de regressão e mapa do teor relativo de clorofila

A Figura 4 mostra os gráficos de regressões entre a clorofila e o TGI gerados no software MiniTab 18.

Figura 4 – Gráficos de regressões entre a clorofila A, B, Total e o índice TGI. (A) Modelos para clorofila A. (B) Modelos para clorofila B. (C) Modelos para clorofila Total.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para todas as situações, a figura acima indica que os modelos de regressão do tipo polinomial quadrática melhor descrevem o comportamento dos dados. Tal fato pode ser justificado comparando-se a diferença entre os coeficientes de determinação (R^2). Para a clorofila A o modelo consegue explicar 37,1% dos valores observados, isto é, 10,6% melhor do que a regressão linear. Já para a clorofila B, essa diferença equivale à 10%. Por fim, para a clorofila Total, isto é, soma das clorofilas A e B, a regressão quadrática se mostra 9,6% mais eficiente que a linear explicando 37,2% dos dados observados. Além disso, o desvio-padrão das medidas (S) é menor para o modelo polinomial quadrático para as três clorofilas.

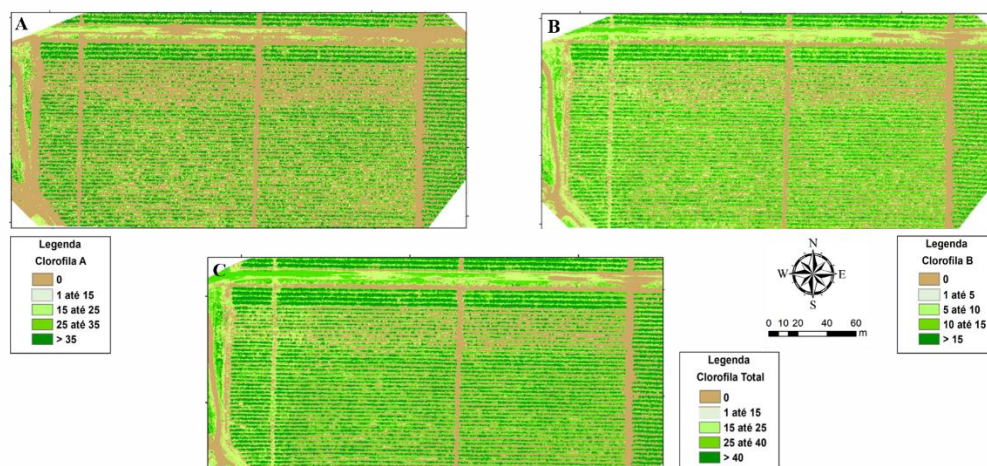
Tabela 2 – Validação dos modelos de regressão pelo RMSE

	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
RMSE	4,73	2,42	6,92
RMSE (%)	17,01	16,95	16,43

Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 2 indica que no geral, os modelos possuem um erro médio percentual de aproximadamente 16,8%, ou seja, os mesmos estimam os dados com uma acurácia de 83,2%, o que é considerável. Percebe-se que a clorofila B possui o menor erro (RMSE = 2,42) em unidades de clorofila. Contudo, quando analisamos em termos de porcentagem, o modelo mais preciso é o que estima a clorofila total (% RMSE = 16,43), ou seja, o modelo está estimando os dados com 83,57 % de precisão. Além do mais, vale ressaltar que as variáveis independentes utilizadas nos modelos de regressão atenderam os pressupostos de: normalidade, autocorrelação, ausência de outliers e heterocedasticidade dos resíduos e também tiveram a ausência multicolinearidade entre as variáveis predictoras.

Figura 5 – Mapa da concentração da clorofila na área de estudo. (A) Teor de Clorofila A. (B) Teor de Clorofila B. (C) Teor de Clorofila Total



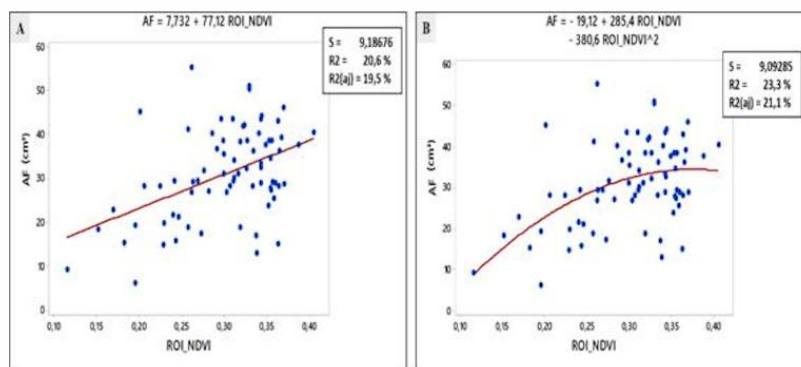
Fonte: Autoria própria (2019).

O mapa dado pela Figura 5 aponta que os valores mais significativos de clorofila foram encontrados nas regiões norte e leste da lavoura. Foi detectado também a presença de clorofila nas ruas e carregadores, o que é justificável pela existência de vegetação rasteira e folhas caídas da cultura naqueles locais. Percebe-se também a deficiência de clorofila em uma faixa próxima à região centro-norte do cultivo. Logo, compete aos profissionais da área da agricultura a ida in situ para a identificação de possíveis fenômenos que estejam influenciando nos baixos resultados de clorofila detectados.

Modelos de regressão e mapa da área foliar

A Figura 6 mostra os gráficos de regressões entre a área foliar e o NDVI gerados no software MiniTab 18.

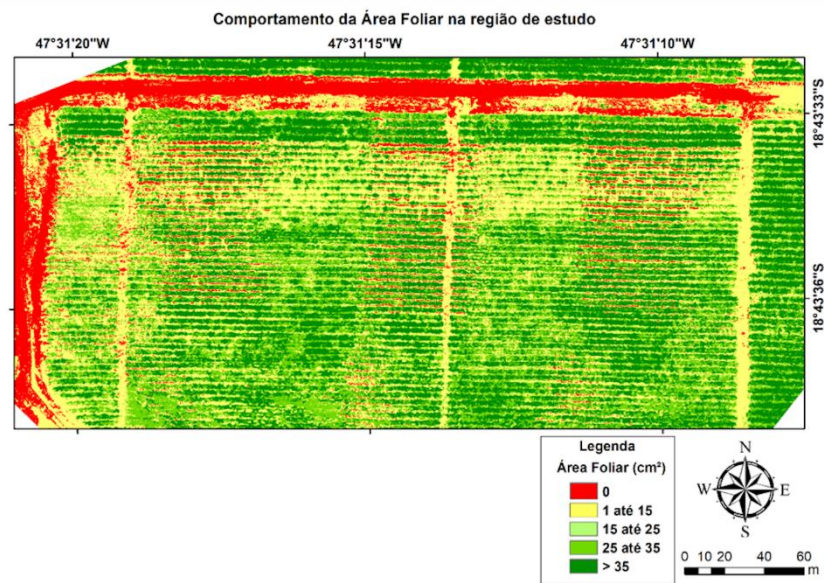
Figura 6 – Gráficos de regressões entre a área foliar e o índice NDVI. (A) Regressão linear simples. (B) Regressão polinomial quadrática.



Fonte: Autoria própria (2019).

Os modelos de regressão entre a área foliar e o índice NDVI mostram que a regressão do tipo polinomial quadrática melhor descreve o comportamento dos dados. O coeficiente de determinação (R^2) para este caso propõe que o modelo consegue explicar 23,3% os valores observados, ou seja, 2,7% melhor que a do tipo linear simples. Além disso, o desvio-padrão das medidas (S) é menor para o modelo polinomial quadrático. O RMSE calculado para este modelo, em unidades área foliar ($RMSE = 5,15$) e em valor percentual ($RMSE\% = 15,87$) indica que o mesmo consegue estimar os dados com uma precisão de 84,13%, o que é considerável. Portanto, o mapa do comportamento do teor de clorofila (Figura 7) foi gerado a partir da equação disposta na Figura 6B.

Figura 7 – Mapa da distribuição da área foliar sobre a região de estudo




Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando o mapa percebe-se a presença altos valores de área foliar distribuídos por toda a região de estudo. Contudo, há também um déficit desse parâmetro em uma faixa da região centro-norte semelhante ao mapa do teor de clorofila anteriormente apresentado. Existe também a presença de solo exposto (caracterizado pela cor vermelha) bem como a presença de baixos valores (cor amarela) desse parâmetro presente nas ruas e carregadores do café. Novamente, compete aos profissionais da área da agricultura a ida in situ para a identificação de fenômenos que possivelmente estejam influenciando nos baixos resultados de área foliar detectados.

Considerações finais

A câmera Mapir Survey 3 acoplada à plataforma Drone Phantom 4 Advanced tem potencial no mapeamento dos parâmetros agrônômicos estudados neste trabalho. Contudo, vale salientar que a câmera possui certas limitações que contribuem para a redução na precisão dos dados.

Dos modelos de regressão gerados, o estimador de clorofila teve precisão de 83,2% enquanto que o modelo para área foliar teve precisão de 84,13%, sendo assim o modelo mais acurado. Ambos os parâmetros foram estimados com uma eficácia significativa.



Mapeamento de parâmetros agrônômicos do cafeeiro a partir de imagens tomadas por aeronave remotamente pilotada

Pablo Henrique de Souza Assis . George Deroco Martins . Vinicius Silva Werneck Orlando

A plataforma ARP aplicada ao sensoriamento remoto mostrou seu potencial quanto à resolução temporal, alto desempenho e não dependência da influência de condições climáticas tais como nuvens.

Por fim, o trabalho mostrou que os resultados da estatística geral dos dados foram melhores para o voo à 120 metros de altitude. Sensores embarcados em ARP's possuem alta resolução espacial o que é benéfico para alguns estudos. Todavia, a área de pesquisa que envolve o desenvolvimento de modelos estimadores necessita de boa resolução espectral e como essas imagens são obtidas a uma altitude muito baixa, o nível de informação é muito grande e os algoritmos não conseguem processar de forma eficiente esses dados.

Referências

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGAFILHO, L. J. **Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo')**. Revista Ceres, Viçosa, v.20, n.107, p.44-52, 1973.

BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; SILVA, B. B. Índice de vegetação obtidos por imagens de satélite como estimadores do IAF e nitrogênio no algodoeiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, 2011, Curitiba -PR, **Anais...** João Pessoa: INPE, 2011. p.0659-0666.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 6ª Ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010. 535p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Bienalidade positiva impulsiona safra de café no país e aumenta produção**. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3223-bienalidade-positiva-impulsiona-safra-de-cafe-na-maior-parte-do-pais-e-aumenta-producao> > Acesso em: 10 mar. 2020.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. da.; ZUCHI, P. H. C. **Agricultura**: evolução e importância para a balança comercial brasileira. Brasília: Ipea, 2014. 36p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Receita bruta da lavoura dos cafés do Brasil prevista para 2020 tem aumento de 25% em comparação com 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/50684374/receita-bruta-da-lavoura-dos-cafes-do-brasil-prevista-para-2020-tem-aumento-de-25-em-comparacao-com-2019>> Acesso em: 10 mar. 2020.

FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. 33p.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de textos, 2017. 288p.

FURLANETTO, R.H.; NANNI, M.R.; CRUSIOL, L.G.T.; SILVA, G.F.C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Potencial de utilização de sensores multiespectral e hiperespectral no estudo de diferentes alvos agrícolas. In: Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, XII, 2017, Londrina, **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2017. p. 146-154.

HUNT, E. R. EITEL, J.; DAUGHTRY, C.; LONG, D. **Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index**. *Agronomy Journal*, [s.l.], v. 103, n. 4, p.1090-1099, julho 2012.

LIRA, S.A. **Análise de correlação: Abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 196 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004.

MARTINS, G. D. **Inferência dos níveis de infecção por nematoides na cultura cafeeira a partir de dados de sensoriamento remoto adquiridos em multiescala**. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**. São Paulo: Futurama Editora, 2016. 585p.

MCKINNON, T.; HOFF, P. **Comparing RGB-based vegetation indices with NDVI for agricultural drone imagery**. Boulder, 2017.

Mapeamento de parâmetros agrônômicos do cafeeiro a partir de imagens tomadas por aeronave remotamente pilotada

Pablo Henrique de Souza Assis . George Deroco Martins . Vinicius Silva Werneck Orlando

Disponível em: < <https://agribotix.com/wp-content/uploads/2017/05/Agribotix-VARI-TGI-Study.pdf> > Acesso em: 12, mar. 2020.

OLIOSI, G.; RODRIGUES, J. O.; FALQUETO, A. R.; PIRES, F. R.; MONTE, J. A.;

PARTELLI, F. L. **Fluorescência transiente da clorofila A e crescimento vegetativo em cafeeiro conilon sob diferentes fontes nitrogenadas.** *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 2, p.248-259, junho 2017.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.* In: **Third ERTS Symposium, Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

TARTAGLIA, F. L.; RIGHI, E. Z.; ROCHA, L.; LOOSE, L. H.; MALDANER, I. C.; HELDWEIN, A. B. **Non-destructive models for leaf area determination in canola.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande -PB, v.20, n.6, p.551-556, abril 2016.

Publisher

Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Socioambientais. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFG.

As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidos em grupo. O primeiro autor Pablo Henrique de Souza Assis ficou especialmente responsável pelo desenvolvimento metodológico e pela aquisição dos dados. O segundo autor George Deroco Martins, pela interpretação e análise dos dados obtidos bem como pela tradução do artigo. O terceiro autor, Vinicius Silva Werneck Orlando, pelos procedimentos técnicos e elaboração dos produtos.

Pablo Henrique de Souza Assis, Graduado em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica pela Universidade Federal de Uberlândia. Mestre em Agricultura e Informações Geoespaciais pela Universidade Federal de Uberlândia. Atua como professor convidado em Faculdades Associadas de Uberaba.

George Deroco Martins, Engenheiro Cartógrafo e Doutor em Ciências Cartográficas. Docente da Universidade Federal de Uberlândia no Instituto de Geografia. Atualmente é coordenador do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia.

Vinicius Silva Werneck Orlando Graduado em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica e Mestre em Agricultura e Informações Geoespaciais pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente é Doutorando em Ciências Cartográficas pela Faculdade de Ciências e Tecnologia e faz doutorado sanduíche no Politécnico de Torino, Itália. Tem direcionado as pesquisas para as áreas de Sensoriamento Remoto, utilizando análises de dados hiperespectrais e imagens multiespectrais nos mais variados tipos de estresses aos cafeeiros, em especial a praga bicho-mineiro.

Data de recebimento: 17 de janeiro de 2022

Aceite: 18 de abril de 2023

Publicação: 31 de agosto de 2023