



**BRUNA HARUMI HARA OSAWA**

**DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES VEGETATIVOS DA  
CULTURA DO ALGODÃO NA AVALIAÇÃO DE PADRÕES  
DE FERTILIDADE DO SOLO UTILIZANDO VANT COM  
CÂMERA FOTOGRÁFICA EMBARCADA**

**LAVRAS-MG**

**2023**

**BRUNA HARUMI HARA OSAWA**

**DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES VEGETATIVOS DA CULTURA DO ALGODÃO  
NA AVALIAÇÃO DE PADRÕES DE FERTILIDADE DO SOLO UTILIZANDO  
VANT COM CÂMERA FOTOGRÁFICA EMBARCADA**

Trabalho de conclusão submetido à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia Florestal,  
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

Orientador (a)

Me. Beatriz Macêdo Medeiros

Coorientador (a)

**LAVRAS-MG**

**2023**

**BRUNA HARUMI HARA OSAWA**

**DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES VEGETATIVOS DA CULTURA DO ALGODÃO  
NA AVALIAÇÃO DE PADRÕES DE FERTILIDADE DO SOLO UTILIZANDO  
VANT COM CÂMERA FOTOGRÁFICA EMBARCADA**

**DETERMINATION OF COTTON CROP VEGETATIVE INDICES IN THE  
EVALUATION OF SOIL FERTILITY STANDARDS USING A UAV WITH AN ON-  
BOARD CAMERA**

Trabalho de conclusão submetido à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia Florestal,  
para a obtenção do título de Bacharel.

DATA APROVAÇÃO

Marx Leandro Naves Silva

Junior Cesar Avanzi

Beatriz Macêdo Medeiros

Prof. (a). Dr (a). Marx Leandro Naves Silva

Orientador (a)

---

Me. Beatriz Macêdo Medeiros

Coorientador (a)

**LAVRAS-MG**

**2023**

*Dedico a todos que me apoiaram e me incentivaram ao longo dessa jornada.  
Em especial meus pais, por sempre me fazerem acreditar nos meus sonhos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estar sempre me guiando durante toda a minha caminhada. Agradeço a minha família, principalmente aos meus pais, que são os meus maiores exemplos. Aos meus irmãos que são minha base. A minha segunda família, Tamyres, Thaina, Raissa, Marina, Leticia e Gabriela, que fizeram de Lavras minha segunda casa e a melhor fase da minha vida. Ao meu namorado Gabriel, por sempre estar ao meu lado. Aos professores que me ensinaram e me auxiliaram durante minha graduação. Meu orientador Professor Marx, por guiar e me apresentar novas oportunidades e em especial minha coorientadora e amiga Beatriz, que me inspira com sua dedicação e carisma.

## RESUMO

O algodão está entre as mais importantes culturas de fibras do mundo, sua produtividade atende o comércio mundial, movimentando mais de 26 milhões de toneladas por ano. Na África a produção de algodão é um importante aliado para o desenvolvimento da economia e subsistência da população. Portanto, para garantir a produtividade da cultura é preciso adotar práticas de manejo adequadas do solo, para garantir a efetivação do cultivo e evitar processos que podem ser prejudiciais à cultura, como a erosão. O conhecimento da fertilidade do solo é um dos fatores importantes para assegurar práticas adequadas de manejo. Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo analisar índices de vegetação das vilas Bandiagara II e Siani, localizadas no Mali, África, para correlacionar com a fertilidade do solo nas culturas de algodão presentes. Para classificação dos índices vegetativos, foi utilizado imagens RGB, geradas a partir de câmera fotográfica embarcada em um veículo aéreo não tripulado (VANT). Além disso, com auxílio do software R foi realizada uma análise comparativa dos resultados dos índices, para determinar o melhor a ser utilizado. Os índices apresentaram correlação com os atributos de fertilidade do solo, podendo ser utilizados como uma ferramenta rápida para o diagnóstico da saúde do solo. Os atributos que indicaram maior correlação com os índices de fertilidade foram o Fosforo (P) e o Potássio (K). Com o propósito de indicar práticas de manejo efetivas, é essencial realizar mais estudos para melhor acurácia.

**Palavras-chave:** África, Mali, Qualidade do Solo, Drone.

## **ABSTRACT**

Cotton is one of the most important fiber crops in the world. Its productivity meets the needs of world trade, moving more than 26 million tons a year. In Africa, cotton production is an important ally for the development of the economy and the subsistence of the population. Therefore, in order to guarantee the crop's productivity, it is necessary to adopt appropriate soil management practices to ensure that the crop is effectively cultivated and to avoid processes that can be harmful to the crop, such as erosion. Knowledge of soil fertility is one of the important factors in ensuring proper management practices. In view of this, this research aims to analyze vegetation indices in Bandiagara II and Siani villages, located in Mali, Africa, in order to correlate them with soil fertility in the cotton crops present. To classify the vegetation indices, we used RGB images generated by a camera on an unmanned aerial vehicle (UAV). In addition, a comparative analysis of the results of the indices was carried out using the R software to determine the best one to use. The indices showed a correlation with soil fertility attributes and can be used as a quick tool for diagnosing soil health. The attributes that showed the greatest correlation with the fertility indices were Phosphorus (P) and Potassium (K). To indicate effective management practices, it is essential to carry out further research.

**Keywords:** Africa, Mali, Soil Quality, Drone.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da vila de Siani (esquerda) e Bandiagara II (direita). .....	15
Figura 2 - Temperatura média, máxima e mínima da região de Sikasso. ....	16
Figura 3 - Precipitação média, máxima e mínima da região de Sikasso. ....	16
Figura 4 - Mapa de solos da vila Bandiagara II. ....	17
Figura 5 - Mapa de solos da vila de Siani. ....	18
Figura 6 - Correlação de Pearson da vila Siani. ....	23
Figura 7 - Correlação de Pearson da vila Bandiagara II. ....	24
Figura 8 - Correlação de Pearson para ambas as vilas. ....	25
Figura 9 - Análise de Componentes Principais da vila Siani. ....	26
Figura 10 - Análise de Componentes Principais da vila Bandiagara II. ....	27
Figura 11 - PCA de ambas as vilas. ....	28

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Resultado da análise química das vilas Siani e Bandiagara II. ....	19
Tabela 2 - Índices Vegetativos (IV) utilizados no estudo. ....	20
Tabela 3 - Classificação da correlação de Pearson.....	21

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>Padrões de Fertilidade do solo.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Índices vegetativos .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Análise de dados .....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na África Ocidental a produção de algodão expressa cerca de 75% do valor das exportações agrícolas de alguns países, entre eles o Mali (RIPOCHE et al., 2015). De acordo com as Nações Unidas (2022) no Mali, 70% da mão de obra está envolvida em atividades agrícolas, contribuindo com 36% do Produto Interno Bruto (PIB), no qual o algodão representa 72,9%. Além disso, o cultivo do algodão, intercalado com culturas de grãos como milho e soja, desempenha um papel crucial na segurança alimentar, assegurando um suprimento estável de alimentos para a população (EMBRAPA, 2017). Porém, problemas como a degradação do solo (EMBRAPA, 2008), perda de fertilidade no solo (BENJAMINSEN et al., 2010), pobreza rural e baixa produtividade (ILO, 2016) afetam a produtividade da cultura e o desenvolvimento socioeconômico do país.

Com o intuito de mitigar essas circunstâncias desafiadoras e contribuir para o progresso do Mali, uma série de ações e estratégias estão atualmente em vigor. Isso inclui colaborações governamentais com nações parceiras, como o Brasil, que se destaca na produtividade do algodão, Essa colaboração pode oferecer suporte técnico por meio da transferência de tecnologia, adoção de práticas de plantio direto e controle de pragas, entre outras ações (DE ALMEIDA, 2023).

Para avaliar o desempenho das práticas de manejo agrícola, a agricultura tem adotado técnicas de sensoriamento remoto (SR). Essas técnicas proporcionam uma abordagem mais conveniente para a tomada de decisões agrícolas, como destacado por Molin et al. (2015). Nesse contexto, a coleta de informações é facilitada por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), imagens de satélite (SANTOS et al., 2022), entre outros.

Segundo SANTOS et al. (2022), um dos principais produtos gerados através do SR são os Índices Vegetativos (IV), eles permitem uma análise da correlação entre a vegetação e o solo. Os IV são algoritmos de SR que avaliam a cobertura vegetal com base em sua capacidade de refletir a luz solar, refletindo informações sobre o desenvolvimento, cobertura do solo, biomassa e saúde da vegetação (MAPPA, 2022).

Neste sentido, estudos utilizando IV estão cada vez mais recorrentes, como na avaliação da evolução de culturas agrícolas (LINHARES et al., 2014), avaliação das relações espectrais e temporais no ciclo da soja (TRINDADE et al., 2019), monitoramento de biomassa em cevada (BENDIG et al., 2015), monitoramento da cobertura espontânea e sua influência nas perdas de sedimentos (TAGUAS et al., 2017), estimativa do índice de área foliar em arroz

(YAMAGUCHI et al., 2021), monitoramento de sistemas de manejo do solo com plantas de cobertura (BENIAICH et al., 2019).

Essas considerações são de extrema relevância para orientar a implementação de práticas de manejo agrícola mais eficazes na cultura do algodão. Ao levar em consideração elementos como a fertilidade do solo, as suas características físicas e químicas, bem como as condições hídricas locais, espera-se aprimorar o manejo para o cultivo do algodão, otimizar a produtividade e promover a sustentabilidade agrícola.

Portanto, levando em consideração o exposto, este trabalho segue a hipótese de que por meio de IV das aerofotografias RGB das vilas Bandiagara II e Siani, localizadas no Mali – África, é possível observar padrões de fertilidade do solo nas culturas de algodão. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e analisar índices de vegetação dos cultivos de algodão das vilas, buscando compreender o comportamento da resposta espectral e estabelecer correlações com a fertilidade do solo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O algodão é a fibra natural mais utilizada no mundo, é uma cultura versátil manuseada em diversas áreas, principalmente nas indústrias têxteis. Atualmente o comércio algodoeiro movimenta no mundo cerca de U\$12 bilhões (FORBES, 2022).

Conforme United States Department of Agriculture (USDA, 2023), o Brasil está entre os cinco maiores produtores e exportadores de algodão no mundo. Com experiência neste mercado, projetos de cooperação com o exterior são de grande importância para o desenvolvimento econômico. A cooperação Brasil e África iniciou-se em 2009, com o intuito de compartilhar conhecimentos e tecnologias entre os países e adequar a produtividade algodoeira à realidade local (GOES et al., 2010).

Notoriamente se destacam os países de Burkina Faso e do Mali, localizados no continente africano, no qual hoje ocupam o ranking dos 10 maiores exportadores mundiais de algodão (USDA, 2023). Porém, apesar do destaque desses países no mercado mundial, ainda existem grandes dificuldades no seu cultivo, devido à dificuldade de acesso a tecnologias que permitem auxiliar no manejo moderno agrícola (ABC, 2019). Sendo assim, investimentos e auxílios governamentais internacionais são formas de cooperar favoravelmente para a continuidade do desenvolvimento da cotonicultura nesses países.

A Agência Brasileira de Cooperação (ABC) do Ministério das Relações Exteriores é responsável pela adoção dos programas de cooperação entre os países. Sendo o foco principal abordar a sustentabilidade, com base nas questões econômicas, ambientais e de segurança alimentar. O projeto “Preservação do Potencial Produtivo das Zonas Produtoras de Algodão no Mali – Cotton Solos”, em parceria com a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e o governo do Mali, por meio da Compagnie Malienne pour le Developpement des Textiles (CMDT), com início em 2019, é um dos programas que tem o intuito de estabelecer as pautas citadas. O projeto supracitado, tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do Mali, visando aumentar a produtividade algodoeira com a adoção de melhores práticas de manejos com foco na fertilidade do solo e na conservação do solo e da água (ABC, 2019).

Necessário ao desenvolvimento de algumas atividades do projeto, foram utilizadas imagens de SR a fim de otimizar as idas e os trabalhos de campo. No contexto agrícola, a técnica de SR é amplamente empregada para realizar medições sem a necessidade de contato direto com o objeto de estudo. O uso de SR tem sido muito utilizado no estudo de uso e cobertura dos

solos (SANTOS; SANTOS, 2010), na caracterização da vegetação (FREITAS; CRUZ, 2003) e como subsídio de tomada de decisões na agricultura (SHIRATSUCHI et al., 2014), entre outros.

Isso é realizado por meio da detecção da radiação refletida ou emitida pelos campos agrícolas, cuja intensidade é influenciada por padrões climáticos e pelas características das plantas de interesse. Dentre os parâmetros frequentemente analisados, destacam-se a refletância da luz na superfície das folhas, a capacidade de transmissão de luz através das folhas e a emissão de fluorescência de substâncias como a clorofila e os polifenóis (PESSI et al., 2020).

Na finalidade de analisar as características do uso da terra das vilas Bandiagara II e Siani, situadas ao sul do Mali, foram utilizadas aerofotografias de alta resolução e o Modelo Digital de Terreno (MDT) de VANT, comumente conhecidos como drones. A partir destas, as imagens RGB das vilas auxiliam no planejamento e desenvolvimento das propostas de fertilidade e conservação do solo. Assim como auxiliar no planejamento sustentável de uso e manejo do solo e da água em conjunto com a comunidade local (ABC, 2019).

Os VANT são aeronaves no quais, o piloto não está a bordo, mas é controlado remotamente através de uma interface (DECEA, 2015). Começaram a ter maior visibilidade na década de 80, com os avanços militares (DE ALMEIDA et al., 2023), atualmente tem grande atuação nas áreas ambientais, agricultura e monitoramento de florestas de precisão (SOUSA et al., 2016). A utilização de VANT em áreas agrícolas tem se difundido devido aos avanços tecnológicos, no qual possibilitam a otimização dos equipamentos em relação a um menor custo e potencialização na produção (DE OLIVEIRA et al., 2020). Possibilitam alto nível de precisão, frequência e qualidades das informações obtidas pelas imagens, com isso, é possível obter diversas informações relevantes para indicação de melhores práticas agrícolas (CAVALCANTE et al., 2022).

Um dos produtos do VANT muito testados na agricultura são os IV que são definidos por equações aritméticas de bandas espectrais que medem a atividade da vegetação, através do comportamento da refletância em cada faixa do espectro eletromagnético (SANTOS et al., 2022).

Pesquisadores têm se empenhado na criação de IV como ferramentas essenciais para avaliar de forma qualitativa e quantitativa a presença de vegetação em determinadas áreas por meio de análises espectrais (BANNARI et al., 1995). De acordo com Pettorelli (2013) os IV podem ser definidos como combinações de refletância superficial em dois ou mais comprimentos de onda projetados para destacar uma propriedade particular da vegetação.

Os IV funcionam através da relação inversa entre a densidade da vegetação e a reflectância na faixa visível do espectro eletromagnético (DE BORATTO et al., 2013). Tem como princípio distinguir a cobertura do solo com o uso da terra através do comportamento espectral da vegetação (CHAVES et al., 2013).

As características espectrais da vegetação resultam primordialmente da variação nas concentrações de pigmentos fotossintéticos, estrutura interna e teor de água nas folhas, observáveis em diferentes faixas espectrais, como o visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, entretanto, fatores externos, como a atmosfera, sombreamento, geometria de iluminação e observação, podem influenciar a maneira como os sensores detectam e registram a resposta da vegetação (BATISTA et al., 2011).

O aprimoramento do entendimento da interação entre a resposta eletromagnética e a vegetação ocorre através de estudos no campo do comportamento espectral da vegetação, no qual investigam como as folhas, plantas individuais e a cobertura vegetal como um todo refletem a radiação eletromagnética, permitindo-nos compreender as características espectrais da vegetação (PASSOS et al., 2021).

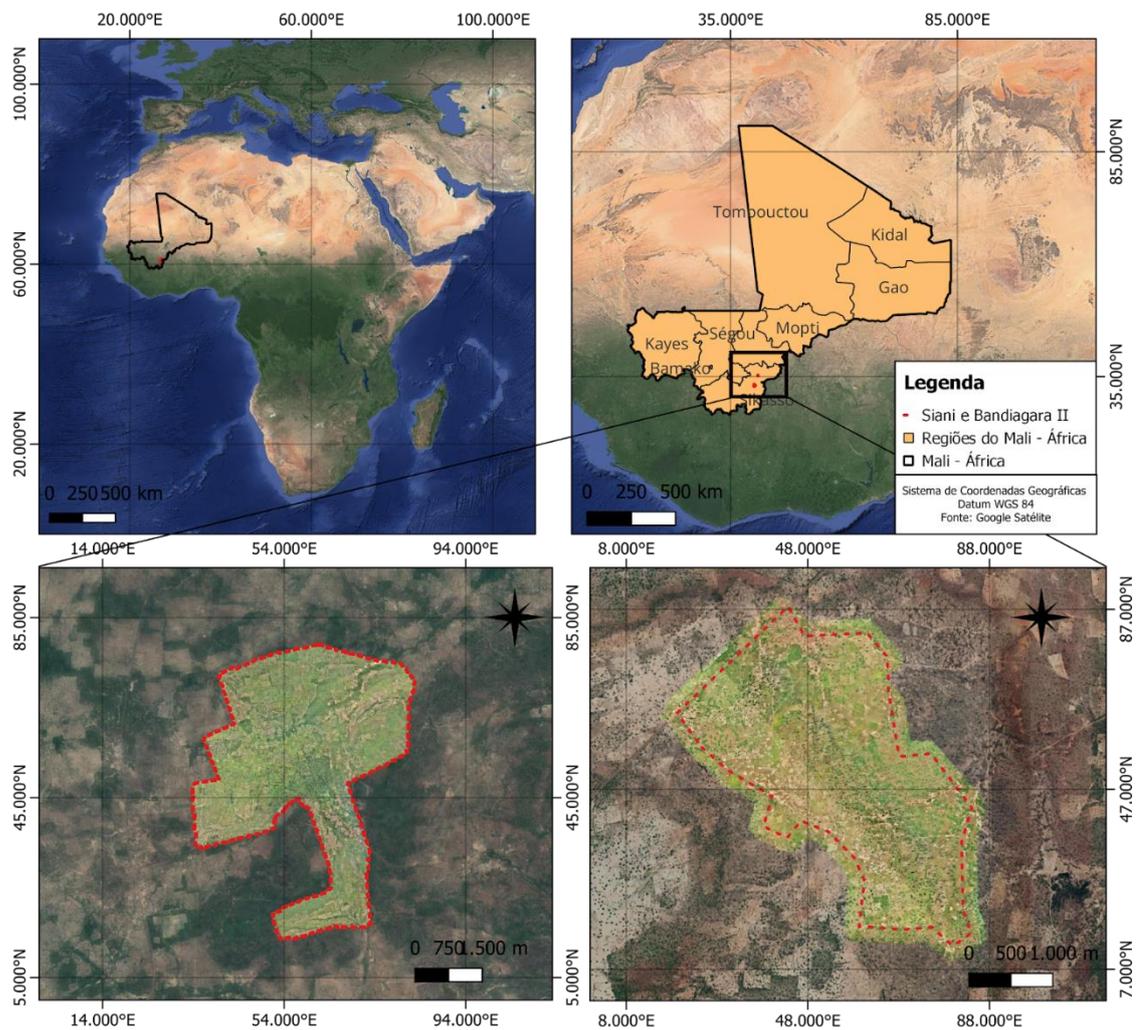
Os IVs abordados neste estudo são caracterizados por serem índices de cor RGB, no qual são aqueles que utilizam as faixas espectrais vermelha, verde e azul. Os índices RGB apresentam vantagens por serem menos sensíveis às variações de iluminação, podendo funcionar com diferentes fundos de resíduos (MEYER; NETO, 2008), bem como, podem ser obtidos rapidamente com uma cobertura espacial mais ampla, apresentam boas correlações com os índices de cobertura vegetal, permite uma maior resolução temporal e possuem custos relativamente mais baixos das câmeras digitais a bordo na faixa visível (BENIAICH et al., 2019).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado ao Sul do Mali (África), na região de Sikasso, nas vilas denominadas Siani e Bandiagara II, respectivamente (Figura 1).

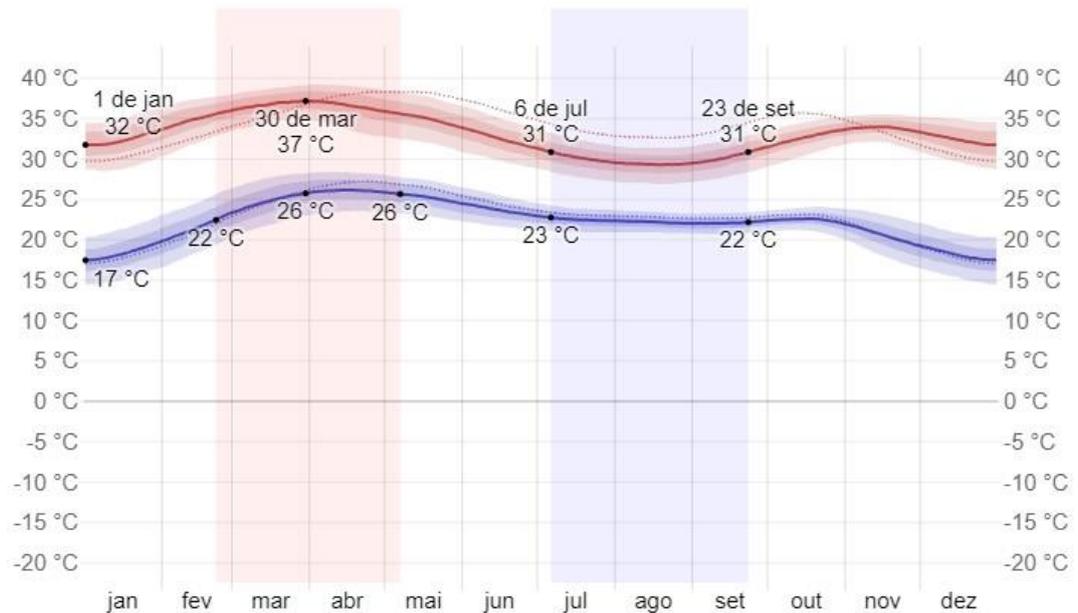
Figura 1 - Localização da vila de Siani (esquerda) e Bandiagara II (direita).



Fonte: Da autora (2023).

O clima da região de Sikasso foi classificado como Aw (Savana equatorial com inverno seco) de acordo com a Köppen e Geiger (PEEL et al., 2007), clima de savana, com estação mais seca no inverno. Março/abril são os meses de temperaturas mais quentes no ano, com temperatura média de 37 °C (Figura 2). Em janeiro, a temperatura média mais fria do ano é em torno de 17 °C.

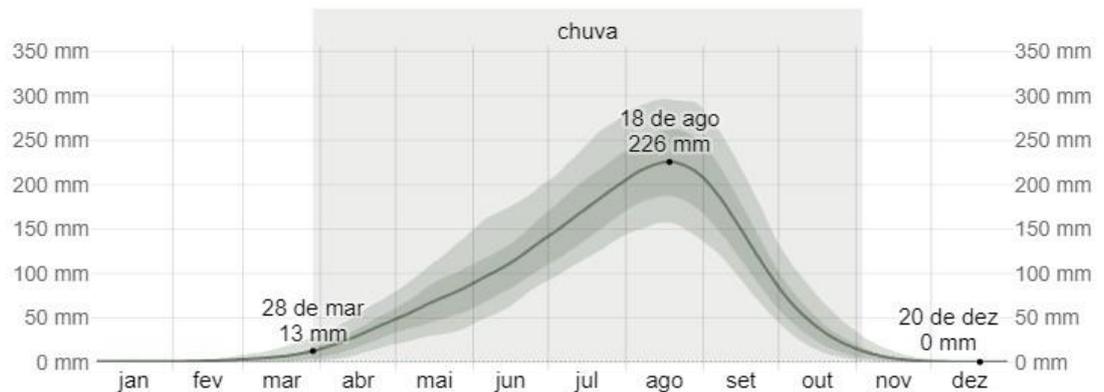
Figura 2 - Temperatura média, máxima e mínima da região de Sikasso.



Fonte: Weather Spark (2016)

A estação chuvosa é de maio a outubro (Figura 3). O mês mais chuvoso na região de Sikasso é agosto, com precipitação média de 225 mm, já nos meses secos (entre novembro e março), quase não há índices de precipitação.

Figura 3 - Precipitação média, máxima e mínima da região de Sikasso.



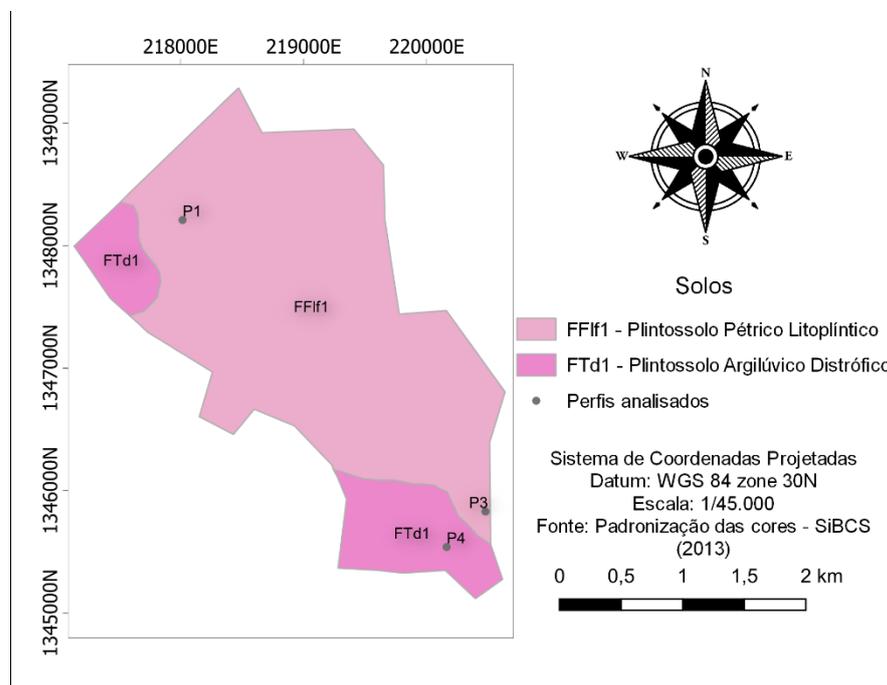
Fonte: Weather Spark (2016)

A vegetação primária do Mali é a savana, caracterizada com uma cobertura contínua de plantas herbáceas, intercalada com agrupamentos dispersos de arbustos e árvores (GOEDERT et al., 2008). As árvores desse bioma são adaptadas as condições de secas, sendo caracterizadas por possuírem raízes profundas, cascas grossas e folhas pequenas, como a espécie de baobá (RODRIGUES M., 2023).

Os solos foram classificados como “solos plínticos” (SANTOS et al., 2023). No qual, são caracterizados como solos que contêm plintita, que é formada por uma camada endurecida, geralmente de cor avermelhada, composta principalmente de óxidos de ferro e alumínio dificultando o manejo desses solos. Além disso, os solos malineses são considerados solos de baixa fertilidade (BENJAMINSEN et al., 2010), devido a um enorme crescimento da exploração do solo (BLANCHARD et al., 2013).

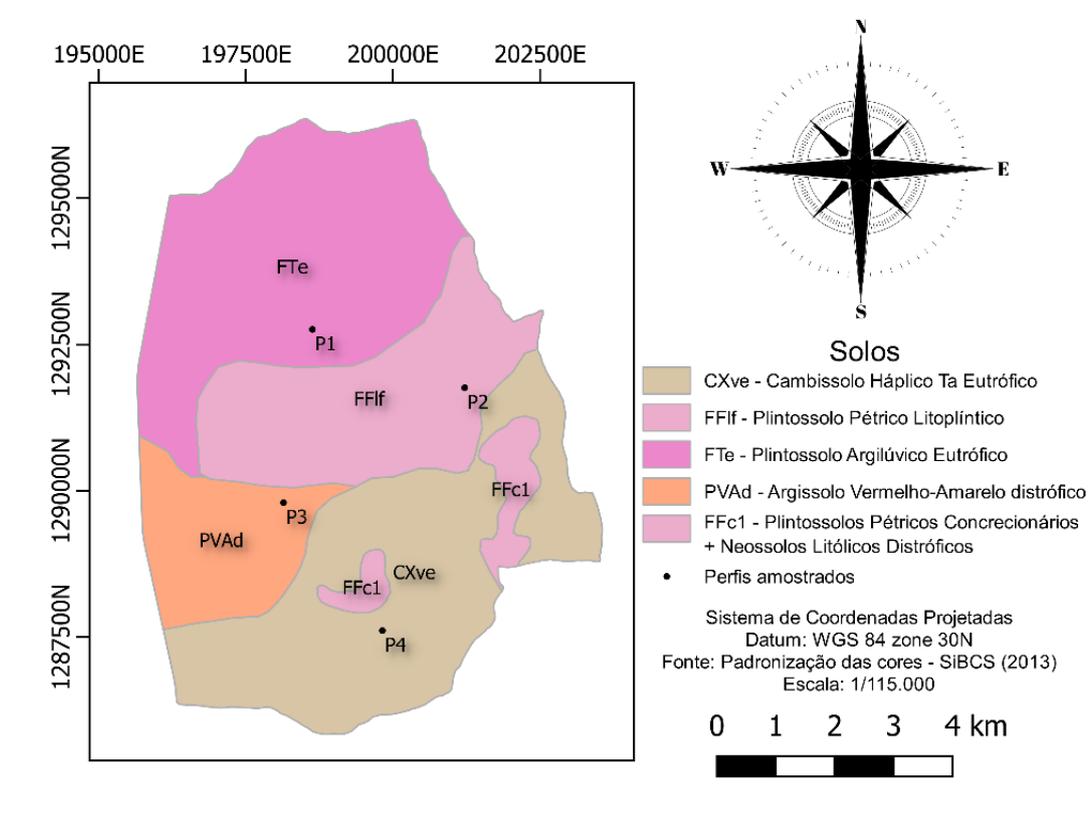
O mapeamento dos solos das áreas de estudo, foram executadas mediante um estudo pedológico conduzido pelos pesquisadores Felipe Haenel Gomes e João José GSM Marques da UFLA. Durante o levantamento, foram identificadas as seguintes categorias taxonômicas de solos na vila: Plintossolo, Argissolo e Cambissolo. Para melhor estudo da área, foram construídos os mapas de solos das vilas (Figura 4 e 5).

Figura 4 - Mapa de solos da vila Bandiagara II.



Fonte: Da autora (2021).

Figura 5 - Mapa de solos da vila de Siani.



Fonte: Da autora (2021).

### 3.2 Padrões de Fertilidade do solo

Foram realizadas amostragem dos solos para determinar a fertilidade do solo na região, desenvolvidas por colaboradores do projeto. A amostragem é constituída pela coleta criteriosa de amostras de solo espacialmente aleatórias, para posteriormente serem enviadas ao laboratório para análise química, esta, tem o objetivo de fornecer as informações precisas sobre as características nutricionais do solo. As análises químicas e físicas do solo foram realizadas segundo as metodologias recomendadas por Teixeira et al. (2017). Os resultados das análises laboratoriais estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado da análise química dos solos cultivados de algodão das vilas Siani e Bandiagara II.

Glebas	pH (H <sub>2</sub> O)	P mg/dm <sup>3</sup>	K	Na	Ca	Mg	Al	SB	V %	M.O. dag/kg
<b>BANDIAGARA II</b>										
1	5	2,7	130,88	23	2,27	1,21	0,1	3,82	48,18	0,82
2	5,2	4,75	102,58	24	2,74	1,27	0,3	4,27	51,05	0,82
3	4,9	0,95	71,1	25	1,96	0,85	0,4	2,99	39,42	0,98
4	5,4	0,26	72,99	24	1,83	0,7	0,2	2,72	45,9	0,6
5	5,9	2,61	76,85	28	3,29	1,33	0,1	4,82	57,9	1,63
6	5,2	1,46	78,02	23	1,97	1,01	0,2	3,18	43,09	2,02
<b>SIANI</b>										
7	5	4,79	110,47	23	2,1	0,95	0	3,33	48,1	0,68
8	5,5	3,08	133,27	22	1,81	0,65	0	2,8	56,03	0,76
9	6	3,82	144,35	26	6,8	2,18	0,1	9,35	48,24	1,63
10	5,3	3,41	102,02	25	3,24	1,28	0,1	4,78	63,92	0,83
11	5,3	3,55	101,85	23	2,8	1,02	0,2	4,08	63,97	0,93
12	6,3	8,96	154,48	24	3,67	1,21	0,1	5,28	78,98	1,08
13	6,3	3,54	112,31	21	1,92	0,53	0	2,74	56,57	0,66

Fonte: Da autora (2023).

### 3.3 Índices vegetativos

Para desenvolvimento dos IV foi necessário realizar a normalização das bandas R (vermelho/red), G (verde/green) e B (azul/blue). Desta forma é possível calcular os níveis cromáticos, isto é, representam o quanto de cada cor primária está presente em um determinado pixel ou região da imagem, variando de 0 a 1 (ARROYO et al., 2016). A normalização é realizada a partir das seguintes equações:

$$r = R / R + G + B$$

$$g = G / R + G + B$$

$$b = B / R + G + B$$

Os IV foram desenvolvidos a partir das imagens RGB, obtidas por câmera fotográfica embarcada em VANT, modelo DJI Phantom 4 RTK, com câmera RGB de 20 megapixels, a câmera possui campo de visão de 84°, lente com distância focal 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm: 24 mm). Para a aquisição das imagens foram realizados voos autônomos a uma altura de 120 m, no mês de outubro de 2019. As imagens foram processadas no software

Agisoft Photoscan 1.4.5, onde foram desenvolvidos os ortomosaicos RGB utilizados neste estudo.

Para desenvolver a relação entre os IV e a fertilidade do solo, foi necessário coletar as informações de interesse no ortomosaico, onde foram extraídos os valores RGB de cada área cultivada por algodão. No qual foi realizado o corte em polígonos nas áreas que foram coletadas as amostras de solo, em seguida a extração dos valores de RGB e sua normalização, e por fim o cálculo dos IV com a extração do valor médio de cada índice.

Para cálculo do IV, foi utilizado a função da calculadora de campo do software livre QGIS 3.28.2 (QGIS, 2023). Na Tabela 2 consta os oito IV desenvolvidos no presente estudo.

Tabela 2 - Índices Vegetativos utilizados no estudo.

IV	Equação	Fonte
ExG (Excesso de Verde)	$2g - r - b$	Woebbecke et al (1995)
WI (Woebbecke Índice)	$g - b / r - g$	Woebbecke et al (1995)
CIVE (Índice de Cores da Extração Vegetação)	$0.441r - 0.881g + 0.385b + 18.78745$	Kataoka et al. (2003)
NGRDI (Diferença Verde-Vermelho Normalizado)	$g - r / g + r$	Tucker (1979)
EXGR (Excesso Verde menos Excesso Vermelho)	$ExG - 1.4r - g$	Meyer and Neto (2008)
VEG (Índice de Vegetação)	$g / (r^a) * (b^{(1-a)}) \quad a = 0.667$	Marchant e Onyango (2002)
SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo)	$1.5 * (g - r) / (g + r + 0.5)$	Li et al. (2010)
COM	$0.36ExG + 0.47CIVE + 0.17VEG$	Guerrero et al. (2012)

Fonte: BENIAICH et al., (2019).

Os índices Excesso de Verde (ExG) e Woebbecke Índice (WI) são comumente utilizados para identificar o contraste entre solo e vegetação com foco na vegetação verde (WOEBBECKE et al., 1995) o índice de cores da extração vegetal (CIVE) também é utilizado nesse princípio, porém como foco em analisar a intensidade dos componentes principais RGB (KATAOKA et al., 2003), já o Índice de Diferença Verde-Vermelho Normalizado (NGRDI) tem como princípio estimar a fração da vegetação (Tucker, 1979), como exemplo, Santos D. et

al. (2023) utilizou esse índice (NGDRI) para analisar a resposta espectral de diferentes estágios da vegetação de Manguezal, no qual, observou-se um resultado promissor da resposta do índice com a cobertura vegetal de interesse. Os índices Excesso Verde menos Excesso Vermelho (EXGR), índice de vegetação (VEG), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e a combinação (COM), foram adaptados para analisar a combinação entre as bandas e entre os índices vegetativos existentes, os índices utilizados neste estudo foram adotados com base nos estudos de Beniaich et al., 2019, os quais os empregaram em sua pesquisa.

### 3.4 Análise de dados

A fim de analisar a relação entre os IV e a fertilidade do solo, foram desenvolvidos a correlação de Pearson e a análise de componentes principais. O coeficiente de correlação de Pearson é um teste estatístico utilizado para medir a intensidade e a direção da relação entre variáveis, permitindo avaliar o grau de associação entre variáveis.

De acordo com Araujo et al. (2019) este coeficiente varia entre -1 e 1, quando o coeficiente se aproxima de -1, a correlação negativa é mais forte, indicando que uma variável tende a diminuir à medida que a outra aumenta. Por outro lado, quando o coeficiente se aproxima de 1, a correlação positiva é mais forte, sugerindo que ambas as variáveis tendem a aumentar ou diminuir juntas. Um coeficiente próximo de zero significa que não há uma relação linear significativa entre as variáveis, ou seja, elas não estão correlacionadas. Portanto, para que a classificação tenha magnitudes definidas para melhor interpretação, foi seguida a metodologia desenvolvida por Shimakura (2006), apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação da correlação de Pearson.

Valor de $\rho$ (+ ou -)	Interpretação
<b>0.00 a 0.19</b>	Uma correlação bem fraca
<b>0.20 a 0.39</b>	Uma correlação fraca
<b>0.40 a 0.69</b>	Uma correlação moderada
<b>0.70 a 0.89</b>	Uma correlação forte
<b>0.90 a 1.00</b>	Uma correlação muito forte

Fonte: SHIMAKURA (2006).

Para simplificar a interpretação visual de conjuntos de dados complexos, recorre-se frequentemente à Análise de Componentes Principais (PCA) no qual é um modelo que tem o

intuito de reduzir a dimensionalidade dos dados minimizando a perda de informação (HONGYU; OLIVEIRA 2016). Para realização da correlação de Pearson e a análise de componentes principais, foi utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado RStudio (RSTUDIO, 2020), no qual a análise foi realizada com significância estatística ( $p < 0,05$ ) e os valores de correlação mais altos acima de 0,6.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante das análises químicas dos solos cultivados com algodão das vilas e dos IV desenvolvidos a partir das aerofotografias RGB das áreas, foi possível observar uma relação entre esses (Figuras 6 e 7). Os solos cultivados por algodão das vilas apresentaram o pH em nível ótimo (entre 5,5 a 6,5), indicando baixa presença de Alumínio (Al). A presença de Al indica nível de toxidez no solo, de tal forma que os solos estudados não apresentam toxicidade.

O pH dos solos de Siani apresentou correlação forte positiva de 0,76 com o índice NGDR e de 0,73 com os índices EXGR e SAVI. Com os demais índices (CIVE, VEG, EXG) apresentou correlação moderada. Nos solos de Bandiagara II, os IV estudados não apresentaram correlação com o pH do solo.

Em relação ao teor de Matéria Orgânica (M.O.) dos solos estudados, apresentaram níveis baixos, menores que 1,5 g/dm<sup>3</sup>, sugerindo que o potencial produtivo está baixo (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Analisando a relação com os IV, nos solos de Siani não apresentaram correlação. Já nos solos de Bandiagara II, a correlação foi forte com o NGRDI e EXG, sendo uma relação positiva e negativa, respectivamente.

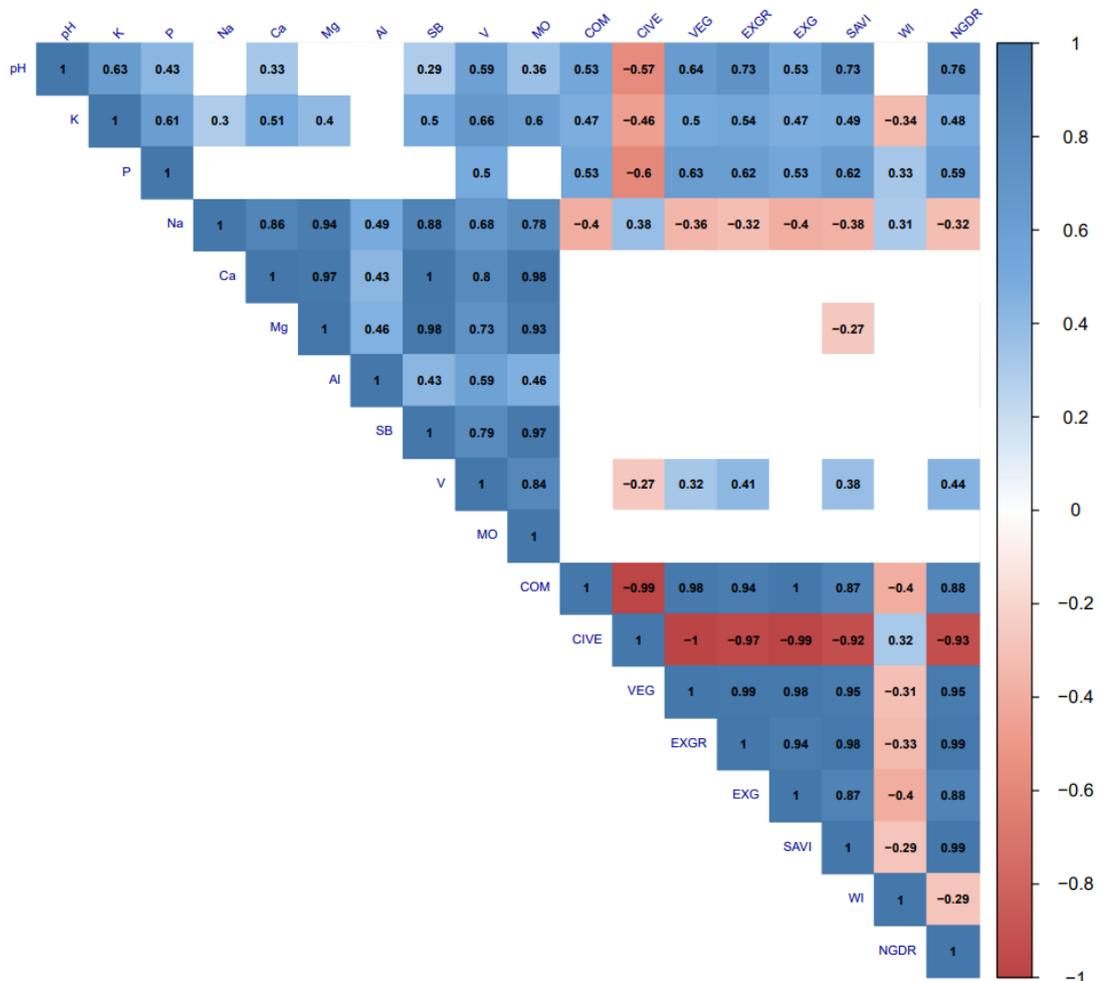
O teor de fósforo (P) também foi identificado como inferior ao adequado para ambas as vilas, apresentando valores inferiores a 5 mg/dm<sup>3</sup>. No que diz respeito aos IV, nos solos de Siani as correlações foram moderadas positivas e negativas quanto a todos os índices estudados. Já nos solos de Bandiagara II, apresentaram correlações fortes e significativas com os índices (exceto o NGDRI, que não apresentou relação). O índice COM foi o que apresentou maior correlação com o teor de P, este é utilizado para segmentar com maior precisão a existência ou não de plantas em um ambiente e observar a resposta a fertilidade (FREIRE-SILVA et al., 2019).

A Soma de Bases (SB) apresentou uma correlação moderada com os índices vegetativos (exceto NGDRI) para vila de Bandiagara II, e não apresentou correlação significativa para SIANI. Para Saturação por Bases (V) as duas vilas se encontram em níveis adequados para

cultura, em SIANI os índices EXGR e NGDR apresentaram correlação moderada com o V, e na vila Bandiagara II apresentou correlação moderada significativa com todos os índices vegetativos exceto os índices EXGR e NGDR, comparando com as duas vilas a Saturação por Base apresentou correlação forte e significativa com todos os índices vegetativos.

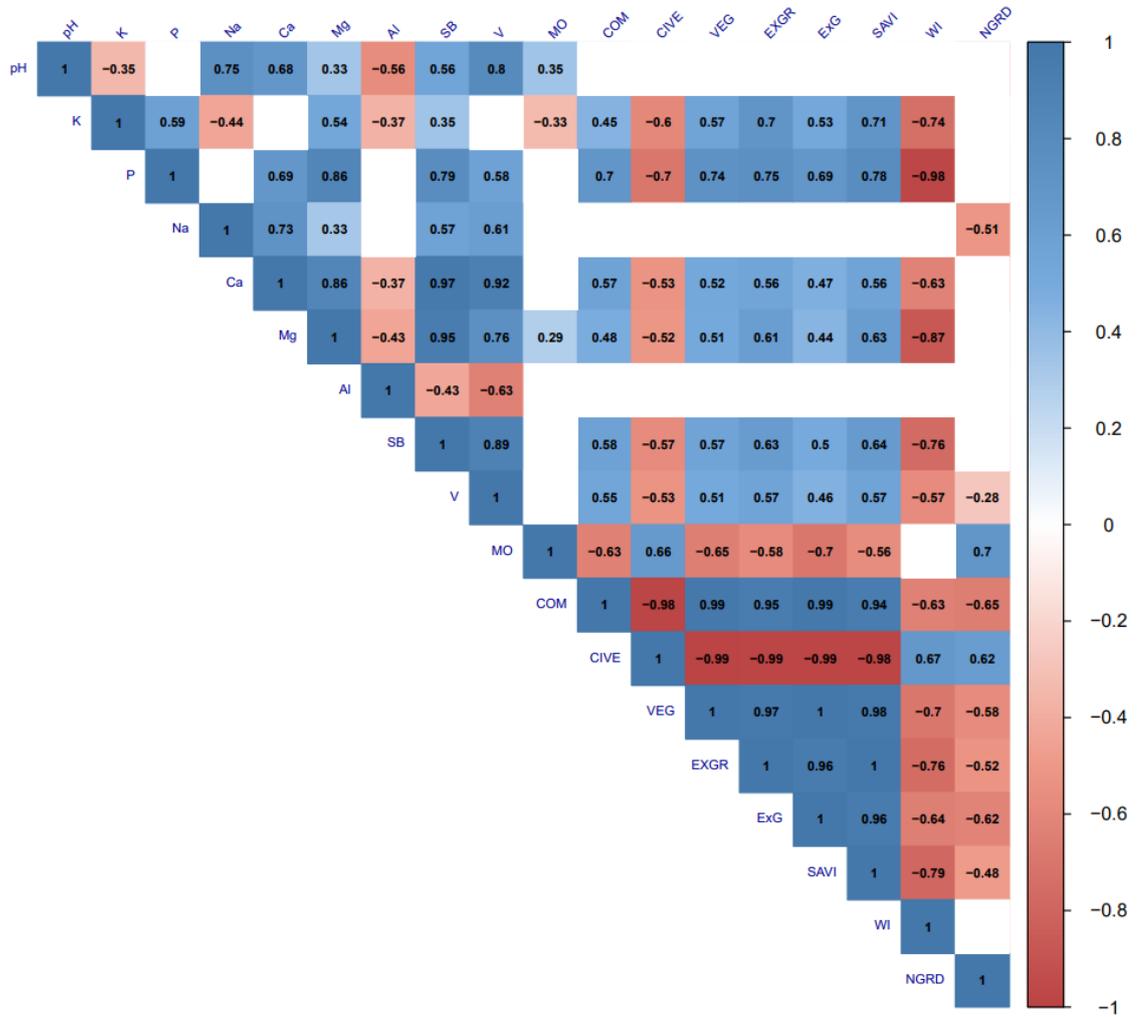
O potássio (K) disponível no solo se encontra em níveis médios para ambas as vilas, este apresentou correlação moderada com todos os índices, exceto o índice WI na vila de SIANI, já em Bandiagara II apresentou correlação de moderada até a forte com os índices vegetativos, exceto com o NGDRI, para ambas as vilas a correlação foi significativa para todos os índices. Os padrões de fertilidade sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) apresentaram pouca correlação com os índices vegetativos para ambas as vilas, exceto para Bandiagara II que apresentou correlação moderada com o Mg e o Ca, no qual se encontram em concentrações médias nos solos. Já o alumínio (Al) não apresentou correlação significativa em ambas as vilas.

Figura 6 - Correlação de Pearson da vila Siani.



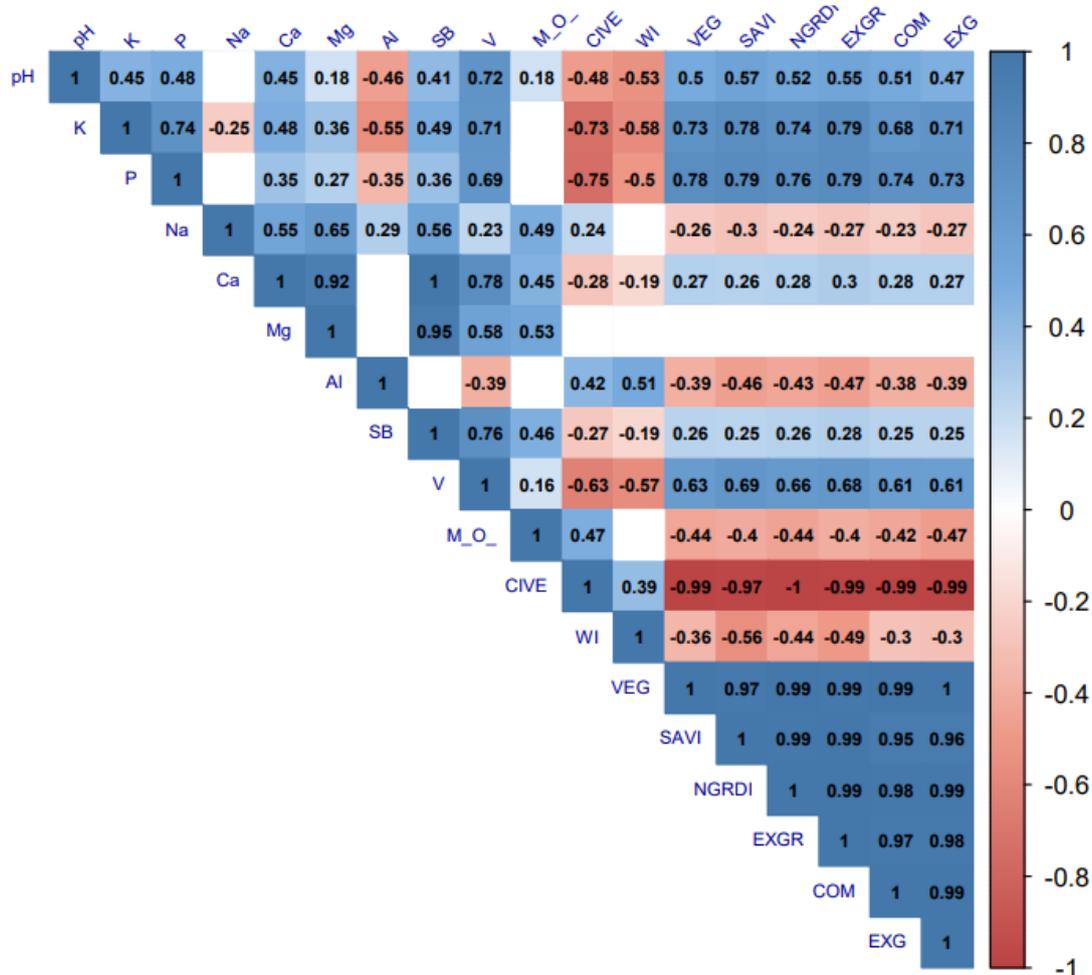
Fonte: Da autora (2023).

Figura 7 - Correlação de Pearson da vila Bandiagara II.



Fonte: Da autora (2023).

Figura 8 - Correlação de Pearson para ambas as vilas.



Fonte: Da autora (2023)

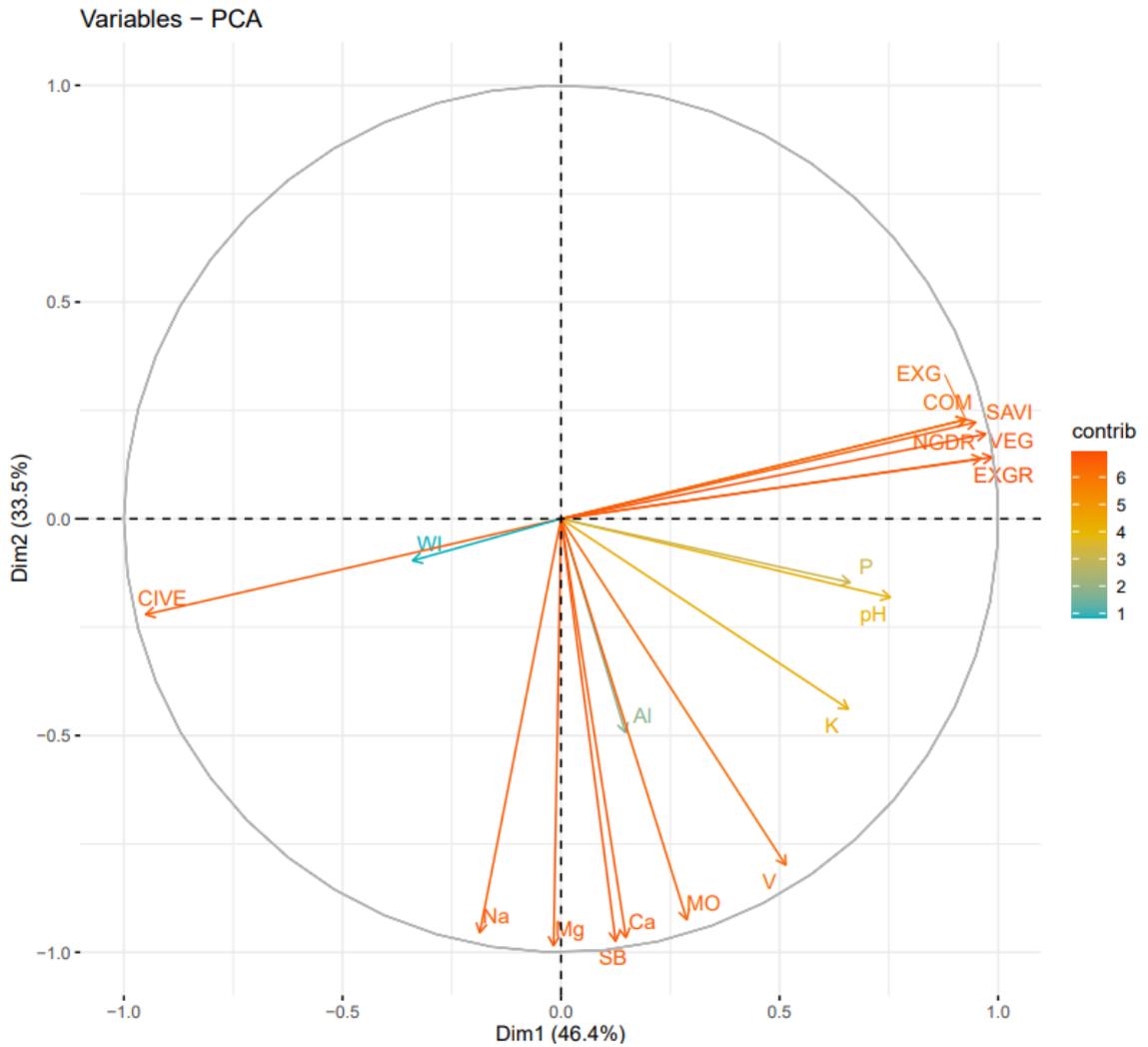
Quanto a PCA dos IV estudados e a fertilidade do solo, é possível observar que em ambas as vilas, os índices EXG, COM, SAVI, NGRDI, VEG e EXGR apresentaram comportamento semelhantes, sugerindo uma colinearidade entre eles. Enquanto o CIVE foi contrário aos demais índices em ambas as vilas, indicando uma contribuição negativa. Em relação ao WI, nos solos de Siani, apresentou menor contribuição, enquanto nos solos de Bandiagara II apresentou relação indireta com o teor de P do solo.

Nos solos de Siani, ao analisar os IV com a fertilidade do solo, foi possível observar que o P e o pH se apresentaram próximos os índices estudados (exceto CIVE), indicando que estes apresentam uma maior relação. Enquanto que nos solos de Bandiagara II, o P apresentou relação indireta com o WI.

Para ambas as vilas os índices de fertilidade apresentaram comportamentos semelhantes, exceto pelo WI e o CIVE (apresentou uma contribuição negativa com os outros índices), além

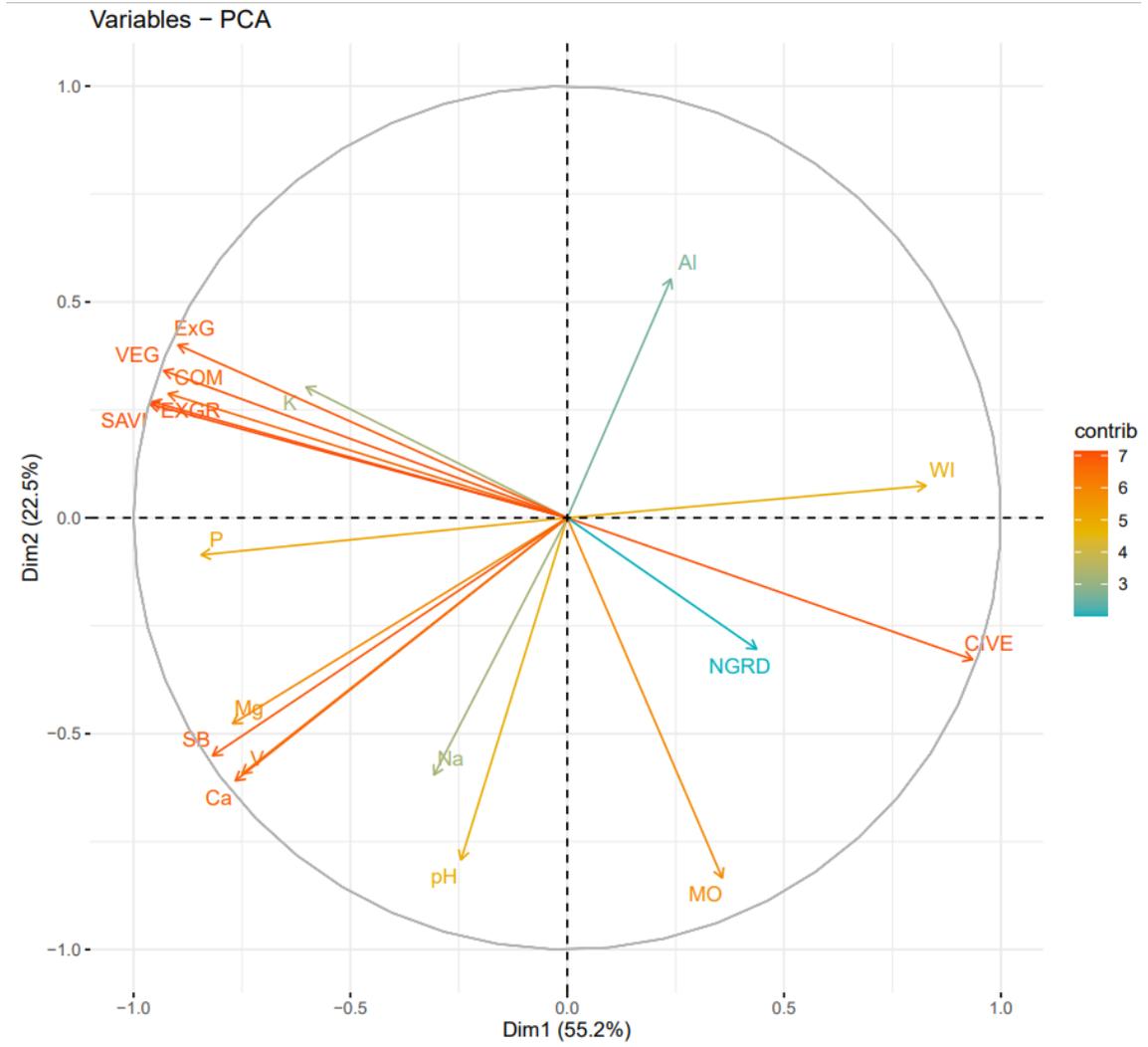
disso, observa-se que o P, K, pH e V estão mais próximas dos índices, e o Al uma relação significativa com o WI.

Figura 9 - Análise de Componentes Principais da vila Siani.



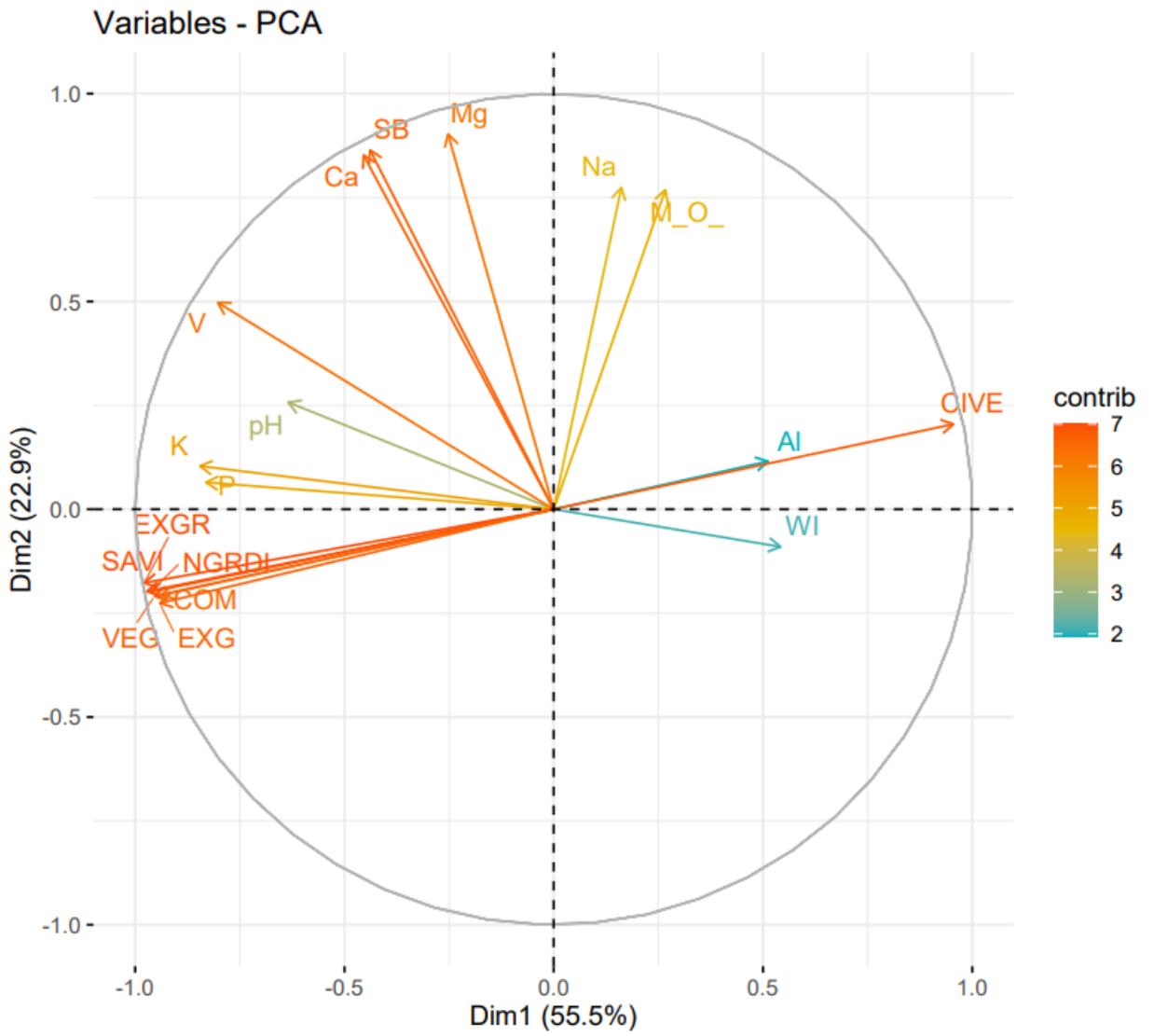
Fonte: Da autora (2023).

Figura 10 - Análise de Componentes Principais da vila Bandiagara II.



Fonte: Da autora (2023).

Figura 11 - PCA de ambas as vilas.



Fonte: Da autora (2023).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi analisado que o Fosforo (P) e o Potássio (K) foram os padrões de fertilidade que mais apresentaram resposta com os índices vegetativos. De modo geral os índices vegetativos que mais obtiveram resposta em ambas as vilas foram o COM, NGRDI, VEG, EXGR, EXG e SAVI.

Os índices vegetativos sofrem influências diversas, como idade do plantio, exposição a luz, época de sobrevoo, assim, para uma análise mais precisa e comparativa, é necessário estabelecer uma metodologia padronizada. Para este experimento, as imagens foram adquiridas em outubro de 2019, quando a cultura de algodão estava em fase de desenvolvimento de capulhos. Nesse sentido, como observação adicional, seria de interesse conduzir uma análise da cultura antes do afloramento dos capulhos, a fim de comparar a resposta espectral da cultura em diferentes estágios de desenvolvimento.

Com a calibração dessa metodologia através de estudos mais precisos, é notável o potencial dessa metodologia para analisar a produtividade da cultura em relação a fertilidade presente. E possivelmente indicar práticas adequadas de manejo do solo.

Além disso, é importante notar que a aplicação desses índices requer uma compreensão profunda das práticas agrícolas específicas em cada região. Portanto, pesquisas futuras e estudos adicionais são necessários para adaptar esses métodos à realidade das vilas, visando otimizar a produtividade agrícola e promover o desenvolvimento sustentável em Mali.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC - AGÊNCIA BRASILEIRA DE COOPERAÇÃO. Novo projeto contribuirá para o desenvolvimento socioeconômico do Mali. Janaina Plessmann, 15 de jul. 2019. Disponível em: <http://www.abc.gov.br/imprensa/mostrarconteudo/1142>. Acesso em: 1 de set. de 2023.

ARAUJO, Jonathas Vinícius Gonzaga Alves; SANTOS, Marcos Dos; GOMES, Carlos Francisco Simões. **Desenvolvimento De Um Código Em Python Para Geração De Matrizes De Correlação De Pearson Com Laços a Partir De “N” Variáveis Tomadas Duas a Duas.** [S. l.], p. 1090–1099, 2020. DOI: 10.5151/spolm2019-080.

ARROYO, J.; GUIJARRO, M.; PAJARES, G. **An instance-based learning approach for thresholding in crop images under different outdoor conditions.** Computers and Electronics in Agriculture, Athens, v. 127, p. 669-679, 2016.

BANNARI A., D. Morin, F. Bonn & A. R. Huete (1995) **A review of vegetation indices, Remote Sensing Reviews**, 13:1-2, 95-120, DOI: 10.1080/02757259509532298.

BATISTA, José Luiz Oliveira et al. **Deteção de mudanças da cobertura e uso do solo a partir de índices espectrais de vegetação em ambiente semiárido: enfoque para o município de Teofilândia, Bahia.** 2011.

BENDIG, J.; YU, K.; AASEN, H.; BOLTEN, A.; BENNERTZ, S.; BROSCHEIT, J.; GNYP, M.L.; BARETH, G. **Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley.** International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2015, 39: 79-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>

BENIAICH A, Silva MLN, Avalos FAP, Menezes MD, Cândido BM. **Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera.** Semin - Cienc Agrar. 2019;40:49-66. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p49>

BENIAICH, A.; SILVA, M.L.N.; AVALOS, F.A.P.; DE MENEZES, M.D.; CÂNDIDO, B.M. **Determination of vegetation cover index under diferente soil management systems of cover plants by using na unmanned aerial vehicle with na onboard digital photographic camera.** Semina: Ciências Agrárias. 2019, 40(1): 49-66.

BENJAMINSEN, Tor A.; AUNE, Jens B.; SIDIBÉ, Daouda. **A critical political ecology of cotton and soil fertility in Mali.** Geoforum, v. 41, n. 4, p. 647-656, 2010.

BLANCHARD, M., Vayssieres, J., Dugué, P., & Vall, E. (2013). **Local technical knowledge and efficiency of organic fertilizer production in South Mali: Diversity of practices.** *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(6), 672-699. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775687>

BORATTO, I.M.P.; GOMIDE, R.L. **Aplicações dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região norte de Minas Gerais.** In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORAMENTO REMOTO, 16., Foz do Iguaçu, 2013. Anais... São Paulo: INPE, 2013. p.7345-7352.

CAVALCANTE, W. S.S., da Silva, N. F., Teixeira, M. B., Neto, G. Z., Cabral Filho, F. R., Cunha, F. N., & Corrêa, F. R. (2022). **Tecnologias e inovações no uso de drones na agricultura**. Technologies and innovations in the use of drones in agriculture. Brazilian Journal of Development, 8(1), 7108-7117.

CHAVES, I. de B., Francisco, P. R. M., Lima, E. R. V. de., Silva, B. B. da, Brandão, Z. N., & Chaves, L. H. G. (2013). **Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da Caatinga da Bacia do Rio Taperoá-PB**. Embrapa Algodão. Relatório Técnico. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/977328/indices-espectrais-diagnostico-davegetacao-e-da-degradacao-da-caatinga-da-bacia-do-rio-taperoa-pb>

DE ALMEIDA, É. C. **Potencialidades na utilização dos drones na agricultura de precisão**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso, Fundação Universidade UFMS, Mato Grosso do Sul.

DE OLIVEIRA, Altacis Junior et al. **Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Voos de VANT (drones). Entenda Melhor!** Disponível em: [https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg\\_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor](https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor). Autor: Daniel Marinho. Acesso: 1 de setembro de 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **O fio que nos une à África**. 22 de jun. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/24071220/o-fio-que-nos-une-a-africa>

FORBES. **Brasil se prepara para ser o maior exportador global de algodão**. ONDEI, Vera 22 de nov. 2022. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2022/11/brasil-se-prepara-para-ser-o-maior-exportador-global-de-algodao/>. Acesso em: 1 set. 2023.

FREIRE-SILVA, J., et al. (2019). Journal of Hyperspectral Remote Sensing, 9, 228-240.

FREITAS, Simone Rodrigues; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. **Índices de vegetação na caracterização de fragmentos de Mata Atlântica no estado do RJ**. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 2737-2744, 2003.

GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. **Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas**. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. (Eds.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: EMBRAPA Cerrados. p. 303-33. 2008.

GOES F., Patriota T. C., Tiburcio J. **Considerações sobre o potencial e os desafios de uma parceria Brasil-África para o desenvolvimento rural**. Boletim de Economia e Políticas Internacional 53: 183-192, 2010.

HONGYU, K., Sandanielo, V. L. M., & de Oliveira Junior, G. J. (2016). **Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação**. E&S Engineering and Science, 5(1), 83-90.

KATAOKA, T.; KANEKO, T.; OKAMOTO, H.; HATA, S. Crop growth estimation system using machine vision. Proceedings 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Kobe, v. 2, n. 1, p. 1079-1083, 2003.

LI, Y.; CHEN, D.; WALKER, C. N.; ANGUS, J. F. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. Field Crops Research, Amsterdam, v. 118, n. 3, p. 221-227, 2010.

LINHARES, M. M.; AMARAL, B. A.; COSTA, A.; ROCHA, N. C.; CÂNDIDO, L. G. **Vant's aplicados ao monitoramento da evolução vegetativa de culturas agrícolas**. In CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. São Pedro. 2014.

MAPPA. **Índices de vegetação IFV (vari, NDVI e NDRE)**. 15 de ago. 2022. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/indices-de-vegetacao-ifv-vari-ndvi-e-ndre/>

MARCHANT, J. A.; ONYANGO, C. M. Shadow-invariant classification for scenes illuminated by daylight. Journal of the Optical Society of America, Washington, v. 17, n. 11, p. 1952-1961, 2000.

MEYER, George E.; NETO, Joao Camargo. **Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications**. Computers and Electronics in Agriculture, 63(2), 282-293, 2008.

MOLIN, José Paulo; DO AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão**. Oficina de textos, 2015.

NAÇÕES UNIDAS (UN). **Brasil e Mali apresentam cooperação para trabalho decente no setor de algodão**. 21 de dez. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/212758-brasil-e-mali-apresentam-coopera%C3%A7%C3%A3o-para-trabalho-decente-no-setor-de-algod%C3%A3o>

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (ILO). **Estudo sobre os Déficits de Trabalho Decente na Cadeia Produtiva do Algodão no Mali**. Agosto de 2016. Consultor: Ibrahima Cisse. Copyright © Organização Internacional do Trabalho, Instituto Brasileiro do Algodão e Agência Brasileira de Cooperação, 2018. ISBN: 978-92-2-031210-0 (web pdf).

PASSOS, A.O. **Índices de Reflectância, NDVI e EVI como Indicadores de Níveis de Degradação das Pastagens Tropicais**. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo), Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2021.

PEEL, M.C.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. Hydrology and Earth System Sciences, 2007: 11: 1633-1644.

PESSI, D. D., Belin, R. B., Junior, P. L. M., & da Silva, N. M. (2020). **Aeronaves remotamente pilotadas e suas aplicações no manejo agrícola e ambiental**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, 37(2), 26605.

PETTORELLI, Nathalie. **The normalized difference vegetation index**. Oxford University Press, USA, 2013.

PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013. 104 p.

QGIS Development Team (2023). QGIS Geographic Information System. Available online: <http://qgis.osgeo.org>

RIPOCHE, Aude et al. **Cotton as an entry point for soil fertility maintenance and food crop productivity in savannah agroecosystems—Evidence from a long-term experiment in southern Mali**. Field Crops Research, v. 177, p. 37-48, 2015.

RSTUDIO TEAM (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>

RODRIGUES, M. Savana: vegetação, características, floresta, fauna e localização. 2023. Disponível em: [https://www.suapesquisa.com/o\\_que\\_e/savana.htm#:~:text=A%20savana%20C3%A9%20uma%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20caracterizada%20pela%20presen%C3%A7a,causados%20por%20raios%20ou%20por%20seres%20humanos.%20](https://www.suapesquisa.com/o_que_e/savana.htm#:~:text=A%20savana%20C3%A9%20uma%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20caracterizada%20pela%20presen%C3%A7a,causados%20por%20raios%20ou%20por%20seres%20humanos.%20)

SANTANA, D. P. **A agricultura e o desafio do desenvolvimento sustentável. Embrapa Milho e Sorgo**. Comunicado Técnico, 132. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005.

SANTOS, A. J., Jorge; A. G., Souza, I.; Moreira, A. **Comparação entre produtos de sensoriamento remoto obtidos por sensores orbitais e RPAS aplicados à conservação de precisão**. Enciclopédia Biosfera, 19(41), 2022.

SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. D. (2010). Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Vaza-Barris, Sergipe. Revista Multidisciplinar da UNIESP: Saber Acadêmico, 10, 57-67.

SANTOS, T. E. D., Gomes, F. H., Mancini, M., Nóbrega, G. N., Avanzi, J. C., Marques, J. J., ... & Curi, N. (2023). **Detailed characterization of plinthic soils in Southern Mali, Sub-Saharan Africa, as a secure basis for specific soil management and food security**. Catena, 226, 107088.

SANTOS, D. M.; DE SOUZA DIAS, A.;VIÉGAS, V. S. Comparação de métodos de mapeamento de manguezal em Guaratiba (RJ) através de GEOBIA e Random Forest utilizando ortofotos geradas a partir de VANT. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2 a 5 de abril de 2023, Florianópolis, SC. Florianópolis: INPE, 2023.

SHIMAKURA, S.E. **Correlação**. In: CE003 - Estatística II. Paraná: Dep. de Estatística da Universidade Federal do Paraná: 71-78p. 2006.

SHIRATSUCHI, Luciano Shozo et al. **Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão**. Bernardi, ACC; Naime, JM; Resende, AV; Bassoi, LH, p. 58-73, 2014.

SOUSA, António; SOUSA, Joaquim J.; COSTA, Jorge. **Detecção de objetos a partir de imagens obtidas por VANT**. In: I Seminário Internacional UAV, 2016

TAGUAS, E.V.; VANDERLINDEN, K.; PEDRERA-PARRILLA, A.; GIRÁLDEZ, J.V.; GÓMEZ, J.A. **Spatial and temporal variability of spontaneous grass cover and its influence on sediment losses in na extensive olive orchard catchment**. *Catena*. 2017, 157: 58-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.05.017>

TEIXEIRA, P.C.; Donagema, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3rd ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 2017.

TRINDADE, F. S.; DE CARVALHO ALVES, M.; NOETZOLD, R.; DE ANDRADE, I. C.; POZZA, A. A. A. **Relação espectro-temporal de índices de vegetação com atributos do solo e produtividade da soja**. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 62, 2019.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **UFLA avança em projeto que envolve conservação e fertilidade do solo em Mali, África**. Notícias de Internacionalização, Lavras, 18 de janeiro de 2023. Disponível em: <https://ufla.br/noticias/internacionalizacao/16040-ufla-avanca-em-projeto-que-envolve-conservacao-e-fertilidade-do-solo-em-mali-africa>. Acesso em: 26 de julho de 2023.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Cotton World as of September 2023**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz>. Acesso em: 1 set. 2023.

Remote Sensing. **Vehicle for Leaf Area Index Estimation in Rice**. 2021: 13(84). <https://doi.org/10.3390/rs13010084>

WEATHER SPARK. Clima, condições meteorológicas e temperatura média por mês de Sikasso (Mali). Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/34019/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Sikasso-Mali-durante-o-ano>. Acesso em: 28 nov. 2023.

WOEBBECKE, D. M.; MEYER, G. E.; VON BARGEN, K.; MORTENSEN, D. A. **Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions**. *Transactions of the ASAE*, v. 38, n. 1, p. 259-269, 1995.

YAMAGUCHI, T.; TANAKA, Y.; IMACHI, Y.; TAMASHITA, M.; KATSURA, K. **Feasibility of Combining Deep Learning and RGB Images Obtained by Unmanned Aerial**