

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

IARA APARECIDA DIAS

**COMPARAÇÃO DE SENSOR MULTIESPECTRAL DE BAIXO CUSTO COM
SENSOR COMERCIAL NA RESPOSTA ESPECTRAL DE CAPIM-BRAQUIÁRIA**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2025

IARA APARECIDA DIAS

**COMPARAÇÃO DE SENSOR MULTIESPECTRAL DE BAIXO CUSTO COM
SENSOR COMERCIAL NA RESPOSTA ESPECTRAL DE CAPIM-BRAQUIÁRIA**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Flora Maria de Melo Villar

Coorientadora: Priscila Pascali da Costa
Bandeira

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2025


IARA APARECIDA DIAS

**COMPARAÇÃO DE SENSOR MULTIESPECTRAL DE BAIXO CUSTO COM
SENSOR COMERCIAL NA RESPOSTA ESPECTRAL DE CAPIM-BRAQUIÁRIA**


Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADA: 31 de janeiro de 2025.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **IARA APARECIDA DIAS**
Data: 05/02/2025 21:13:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Iara Aparecida Dias
Autora

Documento assinado digitalmente
 **FLORA MARIA DE MELO VILLAR**
Data: 06/02/2025 10:38:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Flora Maria de Melo Villar
Orientadora

*Aos meus pais, aos meus irmãos Yasmim e Lucas, e ao Danilo,
pelo apoio e incentivo em todos os momentos, dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças sempre que achei que não teria, e a Nossa Senhora, que me cobriu com seu manto protetor e intercedeu por mim junto a Jesus.

Aos meus pais, Irinéa e Tiago, pelo apoio, incentivo e amor incondicional.

À minha irmã Yasmim, por ser minha alegria e motivação constante, e ao meu irmão Lucas, pelo amor puro e sincero.

Ao Danilo, pelo companheirismo e apoio inestimável.

Às minhas amigas Clarice, Eleniz, Thaís e Ana Carolina, pela amizade, apoio e companheirismo ao longo desta jornada.

Ao meu afilhado, João Pedro, por me ensinar que o amor pode ser imenso, mesmo vindo de um ser tão pequeno.

Às colegas Poliana, Priscila e à professora Flora, pela orientação e conhecimento compartilhado.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Grupo Agros, Coamo, GETAM, Agrijúnior e Tiago Móveis, por terem me moldado como pessoa e profissional.

Muito obrigada!

“Porque quando estou fraco, então é que sou forte.”

2 Coríntios 12:10

RESUMO

Sistemas de pastejo eficientes são essenciais para maximizar a produção animal, e o uso de pastagens do gênero *Brachiaria* representou um marco significativo para a pecuária nacional. Sensores comerciais, como o GreenSeeker, são amplamente utilizados no manejo de culturas agrícolas, enquanto novas tecnologias, como o sensor multiespectral de baixo custo ReflecSense, ainda carecem de validação em diferentes culturas. Este estudo teve como objetivo comparar os valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtidos pelos sensores GreenSeeker e ReflecSense no cultivo de *Brachiaria decumbens*. Verificou-se a correlação dos valores de NDVI obtidos pelos sensores com a produtividade da *Brachiaria decumbens*. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, utilizando um delineamento experimental em blocos, com quatro blocos e cinco parcelas cada. Os tratamentos consistiram em diferentes doses de nitrogênio: testemunha sem adubação, referência com 150 kg/ha de nitrogênio, e três parcelas com adubação em taxa variável. O NDVI foi obtido em dois momentos por ciclo experimental, quando as plantas atingiram, em média, 15 cm e 20 cm de altura. A produtividade foi determinada pela massa seca (kg/ha) ao final de cada ciclo. Os valores médios de NDVI variaram entre 0,46 e 0,67 (GreenSeeker) e entre 0,63 e 0,79 (ReflecSense) no primeiro ciclo, entre 0,50 e 0,78 (GreenSeeker) e entre 0,69 e 0,88 (ReflecSense) no segundo ciclo, e entre 0,54 e 0,85 (GreenSeeker) e entre 0,70 e 0,88 (ReflecSense) no terceiro ciclo. O Teste de Wilcoxon indicou diferenças significativas entre os sensores em todos os ciclos ($p < 0,05$). A correlação entre NDVI e produtividade foi forte para o GreenSeeker no primeiro ciclo ($p = 0,64$) e moderada nos demais ciclos (p variando entre 0,48 e 0,51). Para o ReflecSense, a correlação foi moderada em todos os ciclos (p variando entre 0,51 e 0,59). Conclui-se que, embora o ReflecSense apresente diferenças nos valores de NDVI em relação ao GreenSeeker, ambos os sensores demonstram potencial para o monitoramento de pastagens. Estudos adicionais são recomendados para avaliar a aplicabilidade do ReflecSense em outros índices de vegetação.

Palavras-chave: GreenSeeker; ReflecSense; Pastagem; NDVI.

ABSTRACT

Efficient grazing systems are essential for maximizing animal production, and the use of pastures from the *Brachiaria* genus has represented a significant milestone for national livestock farming. Commercial sensors, such as GreenSeeker, are widely used in crop management, while new technologies, such as the low-cost multispectral sensor ReflecSense, still require validation in different crops. This study aimed to compare the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values obtained by the GreenSeeker and ReflecSense sensors in the cultivation of *Brachiaria decumbens*. The correlation between NDVI values obtained by the sensors and the productivity of *Brachiaria decumbens* was also evaluated. The experiment was conducted at the Federal University of Viçosa, using a randomized block design with four blocks and five plots each. The treatments consisted of different nitrogen doses: a control with no fertilization, a reference with 150 kg/ha of nitrogen, and three plots with variable-rate nitrogen application. NDVI was measured at two points in each experimental cycle, when the plants reached an average height of 15 cm and 20 cm. Productivity was determined by dry mass (kg/ha) at the end of each cycle. The average NDVI values ranged from 0.46 to 0.67 (GreenSeeker) and from 0.63 to 0.79 (ReflecSense) in the first cycle, from 0.50 to 0.78 (GreenSeeker) and from 0.69 to 0.88 (ReflecSense) in the second cycle, and from 0.54 to 0.85 (GreenSeeker) and from 0.70 to 0.88 (ReflecSense) in the third cycle. The Wilcoxon test indicated significant differences between the sensors in all cycles ($p < 0.05$). The correlation between NDVI and productivity was strong for GreenSeeker in the first cycle ($\rho = 0.64$) and moderate in the remaining cycles (ρ ranging from 0.48 to 0.51). For ReflecSense, the correlation was moderate in all cycles (ρ ranging from 0.51 to 0.59). It is concluded that, although ReflecSense presents differences in NDVI values compared to GreenSeeker, both sensors demonstrate potential for pasture monitoring. Further studies are recommended to evaluate the applicability of ReflecSense in other vegetation indices.

Keywords: GreenSeeker; ReflecSense; Pasture; NDVI.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 Localização do experimento.....	12
2.2 Delineamento experimental.....	12
2.4 Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI	14
2.5 Determinação da Produtividade.....	15
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1 Valores médios de NDVI dos sensores ReflecSense e GreenSeeker	17
3.2 Correlação entre os sensores.....	19
3.3 Correlação entre os valores médios de NDVI e produtividade da Brachiaria decumbens	21
4 CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Pesquisa da Pecuária Municipal, em 2023, o rebanho bovino brasileiro apresentou crescimento pelo quinto ano consecutivo. O aumento de 1,6% elevou o número de cabeças de gado para 238,6 milhões (IBGE, 2023). Com a crescente expansão, torna-se fundamental garantir que a oferta de pastagens seja satisfeita de forma sustentável, preservando a qualidade da alimentação fornecida aos animais.

Ferreira e Zanine (2007) destacam que um sistema de pastejo eficiente atende às necessidades nutricionais dos animais de forma econômica, permitindo, ao mesmo tempo, maximizar a produção animal sem prejudicar a persistência das plantas forrageiras. O uso adequado de plantas forrageiras em condições de pastejo é um aspecto de extrema importância na criação de bovinos, especialmente diante das variações climáticas sazonais que podem resultar em déficits nutricionais devido à redução na quantidade e qualidade da forragem disponível.

O uso do gênero *Brachiaria* representou um marco para a pecuária brasileira, devido à sua alta adaptabilidade ao clima tropical do Brasil e às suas características que permitiram a expansão das áreas de pastagem desde o início de sua utilização. O uso desse gênero em pastagens continuará sendo uma escolha primordial devido à expansão das áreas de cultivo (FAGUNDES et al., 2006, LIMA et al., 2014).

A *Brachiaria decumbens* é reconhecida por suas características de resistência à seca e adaptabilidade em solos com baixa fertilidade. Comumente empregada em sistemas de baixo nível tecnológico, esta espécie apresenta a capacidade de elevar o ganho de peso dos animais devido ao seu elevado valor nutricional, que inclui características como a digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta. No entanto, apesar de suas vantagens, ela é suscetível ao ataque da cigarrinha-das-pastagens, não tolera excesso de umidade e há registros de casos de fotossensibilização em animais que a consomem (MUNIANDY et al., 2020). Esses fatores ressaltam a importância de um manejo adequado e de estudos aprofundados para maximizar os benefícios e minimizar os riscos associados a esse importante forrageiro.

O monitoramento do estresse, crescimento e estado nutricional das plantas tem avançado significativamente com o uso de técnicas de sensoriamento remoto, principalmente por meio da análise de imagens digitais. Uma das aplicações mais importantes dessas técnicas está na relação entre a reflectância espectral das folhas, e de toda a vegetação acima do solo, correlacionando-as com as características nutricionais, crescimento e produtividade das plantas.

Essas correlações podem ser descritas ao explorar as informações contidas em imagens (MANCIN et al., 2022).

O espectro do vermelho e do infravermelho próximo apresentam relação direta com algumas variáveis das plantas, podendo ser utilizados como indicadores do potencial produtivo. O vermelho está associado à absorção de luz pela clorofila, enquanto o infravermelho próximo, com maior reflectância, indica maior acúmulo de massa de matéria seca na planta. Ambos aspectos, teor de clorofila nas folhas e produção de matéria seca, têm correlação positiva com doses de nitrogênio (N) e produtividade (RISSINI, 2015). Especificamente, a clorofila apresenta maior absorção na faixa do vermelho entre 660 e 670 nm, destacando sua relação com a eficiência fotossintética (BERTOLINI et al., 2021).

O índice de vegetação por diferença normalizada, conhecido como NDVI, utiliza as informações espectrais das bandas do vermelho e do infravermelho próximo (ROUSE et al., 1973). Grande parte dos estudos de vegetação utilizam o NDVI, por viabilizar a avaliação das variações sazonais na atividade fotossintética (MEHMOOD, et al., 2024). Existem diversas ferramentas para quantificar os valores de NDVI, seja por meio de imagens provenientes de sensores orbitais, ou por sensores proximais utilizados em campo.

O GreenSeeker é um sensor multiespectral portátil amplamente conhecido. Ele emprega diodos emissores de radiação nos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo para medir a reflectância, permitindo assim calcular o NDVI (BREDEMEIER et al., 2013).

Já o sensor óptico ativo portátil multiespectral, denominado ReflecSense, foi desenvolvido por Viana (2021). O sensor é capaz de medir a reflectância em dez bandas do espectro eletromagnético, possibilitando calcular uma grande variedade de índices de vegetação, além de ser um sensor de baixo custo (VIANA, 2021). O procedimento envolve a projeção de uma fonte de luz sobre o alvo a ser analisado. Em seguida, o sensor converte a radiação refletida em pulso elétrico, o qual é processado e convertido em valores de reflectância por um computador de placa única.

Diante do cenário desafiador da pecuária bovina brasileira, torna-se imprescindível explorar tecnologias inovadoras para otimizar a produção animal. Nesse contexto, o uso de sensores, como o ReflecSense, revela-se uma importante ferramenta para o monitoramento da dinâmica das pastagens. O estudo aprofundado da utilização desses sensores, aliado ao seu emprego no monitoramento das condições das pastagens, confere a capacidade de monitorar a produtividade das plantas forrageiras. Assim, objetivou-se com esse trabalho realizar uma análise comparativa entre os valores de NDVI determinados pelos equipamentos GreenSeeker,

já consolidado no mercado, e ReflecSense, para o monitoramento do cultivo de capim-braquiária.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na UEPE-Forrageicultura, pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), indicada na Figura 1, localizado a uma altitude de 689 metros, nas coordenadas geográficas 20°46'29"S e 42°51'30"W (Google Earth Pro). O local está situado na cidade de Viçosa, região da Zona da Mata, no estado de Minas Gerais. A cultura utilizada nos procedimentos experimentais foi a *Brachiaria decumbens*, que serviu de base para as análises e procedimentos experimentais.

Figura 1 – Localização da Universidade Federal de Viçosa



Fonte: GoogleEarth Pro.

O clima da região de Viçosa é do tipo CWb, tropical de altitude, caracterizado por verões quentes e chuvosos, e invernos frios e secos (GOLFARI, 1975; BRASIL, 1992 apud MARTINS et al., 2002). O estudo foi desenvolvido entre os meses de março e abril de 2022 caracterizados por temperatura média mensal entre 19 e 25 °C (INMET, 2024).

2.2 Delineamento experimental

Os dados utilizados no presente trabalho, foram obtidos por meio de banco de dados gerados em experimentos no Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA). O banco de dados

é originário de um experimento, onde a população de *Brachiaria decumbens* foi avaliada em quatro blocos, cada um contendo cinco parcelas. As cinco parcelas de cada bloco foram divididas em: testemunha que não receberam adubação, referência com dose única de 150 kg/ha de nitrogênio, e as outras três parcelas com adubação de nitrogênio a taxa variada.

As parcelas que receberam adubação de nitrogênio a taxa variada, inicialmente receberam uma dose de 75 kg/ha de nitrogênio, as adubações seguintes foram baseadas no índice de suficiência de nitrogênio (NSI) conforme descrito por Villar (2015). Em casos que o NSI esteve abaixo do valor de 0,95, foi realizada uma dose de correção de 37,5 kg/ha.

Para este trabalho, o experimento foi dividido em três ciclos, que aconteceram nos meses de março e abril de 2022, em que foram realizadas em dois momentos distintos, as leituras com os sensores GreenSeeker e ReflecSense, de acordo com a altura média da população da *Brachiaria decumbens*.

Em todos os ciclos experimentais, a *Brachiaria decumbens* foi cortada a uma altura inicial de 10 cm e a parcela referência recebeu uma aplicação inicial de nitrogênio. Quando as plantas atingiam, em média, 15 cm de altura, era realizada a primeira leitura, caso o NSI estivesse abaixo do parâmetro estabelecido (0,95), uma nova aplicação de nitrogênio era feita. A segunda leitura era realizada quando as plantas alcançavam 20 cm de altura, seguindo o mesmo critério para ajuste do nitrogênio. Por fim, ao atingir 25 cm de altura, as plantas eram coletadas para a quantificação da produtividade. As datas das leituras do NDVI de acordo com a altura média da *Brachiaria decumbens* são observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Datas das leituras por ciclo do índice de vegetação no experimento

Ciclo	1ª leitura Altura: 15 cm	2ª leitura Altura: 20 cm
1	15/03	22/03
2	05/04	10/04
3	18/04	25/04

Fonte: Autora.

Para garantir a melhor representatividade do dossel das plantas na área experimental, o número de leituras realizadas foi ajustado de acordo com as características de cada equipamento. O GreenSeeker, que realiza medições em uma área maior devido ao seu sensor de varredura, foi utilizado para quatro leituras ao longo de cada parcela. Para a realização das

quatro leituras o GreenSeeker foi posicionado a uma altura de um metro acima do dossel das plantas. Ao final, foi utilizada a média das quatro leituras para determinar o valor de NDVI de cada parcela.

Já o ReflecSense, devido à sua base de medição mais restrita, necessitou de nove leituras em diferentes pontos dentro de cada parcela para abranger o dossel de forma adequada. A leitura foi feita com o equipamento posicionado a uma distância de 27 cm das plantas. A base piramidal de alumínio do próprio equipamento foi utilizada como fronteira de contato entre o equipamento e a folha, conforme descrito por Viana (2021). Também foi utilizada, para cada parcela, a média das nove leituras para indicar o valor de NDVI.

2.3 Características climatológicas da área do experimento

Os dados climáticos médios referentes à temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica médios observados no momento das medições foram obtidos pelo site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET,2024). Esses dados foram coletados da estação meteorológica localizada em Viçosa, MG, durante o período experimental (Tabela 2).

Tabela 2 – Características climáticas médias do município de Viçosa, MG

Mês/Ciclo	Temperatura (°C)		Umidade (%)	Precipitação (mm)
	min.	máx.		
Março	23,6	22,1	77,7	27,2
Abril	21,6	20,2	82,2	33,6
Ciclo 1	25,1	23,4	72,8	22,2
Ciclo 2	22,9	21,6	83,5	32,2
Ciclo 3	20,6	19,2	80,2	6,2

Fonte: INMET (2024).

2.4 Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI

Os valores do NDVI variam entre -1 e 1. Valores próximos a 1 indicam uma alta atividade fotossintética, refletindo uma maior concentração de clorofila nas plantas. Isso ocorre

porque o NDVI (Equação 1) é diretamente associado ao teor de clorofila, que é essencial para a fotossíntese (CONRADO, 2021)

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

Em que:

NDVI – Índice de vegetação da diferença normalizada;

IVP – Reflectância no infravermelho próximo; e

V – Reflectância na banda do vermelho.

2.5 Determinação da Produtividade

Para determinar a produtividade da *Brachiaria decumbens* foram realizadas coletas de amostras em cada parcela, seguindo o método de Cabezas (2011). Utilizando uma foice de poda, as amostras foram cortadas a 5,0 cm da superfície do solo em uma área quadrada de 40x40 cm, posicionada aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela.

As amostras coletadas foram pesadas para determinar a massa verde (MV). A massa seca (MS) foi obtida seguindo o método descrito por Detmann et al. (2021). Para isso, uma subamostra da MV foi separada para obter a amostra seca ao ar (ASA), a qual foi seca em estufa a 60°C até que a massa se estabilizasse por até 72 horas. Adicionalmente, a amostra seca em estufa (ASE) foi obtida utilizando-se aproximadamente 2 g de ASA. Essa amostra foi colocado em estufa a 105°C e mantida por 16 horas. Com base nos dados coletados, foi calculado o percentual de massa seca (Equação 2).

$$MS (p) = \frac{ASA * ASE}{100} \quad (2)$$

Em que,

MS (p) – Massa seca, %;

ASA – Amostra seca ao ar, %;

ASE – Amostra seca em estufa, %.

A partir do valor percentual da massa seca (%MS), foi calculada a produtividade total da *Brachiaria decumbens* utilizada no experimento (Equação 3).

$$P = \frac{MS(p) * MV}{100} \quad (3)$$

Em que,

P - Produtividade de gramínea no total, kg ha⁻¹;

MS (p) – Massa seca, %;

MV - Massa de amostra natural colhida, kg ha⁻¹.

2.6 Análise estatística

Os dados de NDVI obtidos pelos sensores foram analisados utilizando o Teste Wilcoxon, conforme recomendado por Barros e Mazucheli (2005) para amostras independentes quando os dados não seguem uma distribuição normal. Este teste não paramétrico é descrito com uma estatística apropriada para a comparação de medianas entre grupos.

O Coeficiente de Correlação de Spearman foi descrito em 1904 por Charles Spearman, ele descreve a correlação linear entre variáveis que não apresentam distribuição normal (CAPP e NIENOC, 2020). Este método foi utilizado para analisar a correlação entre os dados de produtividade determinados no estudo e as leituras de NDVI obtidas pelos sensores GreenSeeker e ReflecSense.

A correlação de Spearman mede a relação entre duas variáveis, com valores variando entre -1 e 1. O coeficiente de correlação de Spearman (rs) classifica a força dessa relação da seguinte forma: correlação fraca quando $0 \leq |rs| < 0,30$, moderada entre $0,30 \leq |rs| < 0,60$, forte entre $0,60 \leq |rs| < 0,90$, e muito forte quando $0,90 \leq |rs| \leq 1$ (SILVEIRA et al., 2023).

Os dados de NDVI foram planilhados no Excel e as análises realizadas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Valores médios de NDVI dos sensores ReflecSense e GreenSeeker

A partir da Tabela 3, é possível observar os valores de NDVI médios por parcela obtidos pelos sensores GreenSeeker e ReflecSense durante os ciclos experimentais.

Tabela 3 – Valores médios de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada obtidos pelos sensores GreenSeeker e ReflecSense, com os seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação calculados, para as 4 parcelas de cada um dos 5 blocos nos ciclos experimentais

Bloco/Parcela	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
	Valores médios de NDVI		Valores médios de NDVI		Valores médios de NDVI	
	GreenSeeker	ReflecSense	GreenSeeker	ReflecSense	GreenSeeker	ReflecSense
B1P1	0,63	0,79	0,73	0,82	0,76	0,83
B1P2	0,64	0,78	0,73	0,83	0,79	0,84
B1P3	0,67	0,78	0,75	0,85	0,79	0,84
B1P4	0,61	0,75	0,77	0,87	0,85	0,88
B1P5	0,46	0,67	0,54	0,69	0,59	0,70
B2P1	0,63	0,75	0,71	0,85	0,80	0,87
B2P2	0,64	0,77	0,73	0,87	0,75	0,85
B2P3	0,67	0,78	0,78	0,88	0,80	0,85
B2P4	0,46	0,67	0,50	0,71	0,54	0,70
B2P5	0,65	0,77	0,73	0,88	0,81	0,86
B3P1	0,65	0,74	0,73	0,86	0,80	0,87
B3P2	0,53	0,71	0,50	0,78	0,54	0,74
B3P3	0,64	0,78	0,75	0,86	0,81	0,88
B3P4	0,61	0,75	0,75	0,85	0,83	0,88
B3P5	0,64	0,78	0,76	0,88	0,83	0,88
B4P1	0,49	0,63	0,51	0,76	0,69	0,75
B4P2	0,63	0,76	0,74	0,87	0,80	0,85
B4P3	0,65	0,79	0,76	0,77	0,80	0,88
B4P4	0,62	0,74	0,77	0,86	0,83	0,87
B4P5	0,62	0,76	0,76	0,88	0,70	0,87
Desvio padrão	0,066	0,044	0,098	0,058	0,095	0,06
Coeficiente de Variação (%)	10,5	5,9	13,3	6,8	11,9	7,1

Fonte: Autora.

No ciclo 1 (Tabela 3) os valores médios de NDVI obtidos com o sensor GreenSeeker variaram de 0,46 a 0,67. Destaca-se que a parcela 3 apresentou os maiores valores de NDVI em três dos quatro blocos, evidenciando um padrão consistente ao longo das medições. Em contraste, os valores médios referentes às medições realizadas com o sensor ReflecSense mostraram valores de NDVI variando de 0,63 a 0,79, este sensor apresentou uma menor

variabilidade nos valores médios, indicando um desvio padrão mais reduzido em comparação com o GreenSeeker. Apesar dos valores mais elevados medidos com o ReflecSence, as parcelas com os menores e maiores valores de NDVI foram correspondentes em cada bloco, evidenciando uma correspondência relativa entre os sensores.

No segundo ciclo, os valores médios de NDVI observados através do GreenSeeker variaram de 0,50 a 0,78, conforme observado na Tabela 3. Em todos os blocos do ciclo 2 medidos com o GreenSeeker, foram registrados quatro valores médios de NDVI abaixo de 0,70 e um valor médio de 0,74. No entanto, essas medições inferiores variaram entre as parcelas de acordo com o bloco. Os valores médios obtidos com o sensor ReflecSence durante este o segundo ciclo variaram de 0,69 a 0,88, com uma média de 0,86. Esses valores foram consistentemente superiores aos medidos pelo GreenSeeker para o mesmo ciclo. Observa-se um padrão semelhante entre os sensores, com os maiores e menores valores de NDVI em cada bloco aparecendo nas mesmas parcelas, na maioria dos blocos.

Para o terceiro ciclo, indicado na Tabela 3, os valores médios de NDVI obtidos com o sensor GreenSeeker variaram de 0,54 a 0,85. No quarto bloco, nenhum valor foi inferior a 0,69, indicando uma faixa de valores relativamente alta. Por outro lado, os valores médios obtidos com o sensor ReflecSence continuaram a mostrar valores superiores, com uma faixa de 0,70 a 0,88 e uma média elevada, mantendo o padrão observado nos ciclos anteriores.

Verifica-se na Tabela 3 que para os valores médios de NDVI ao longo de todos os ciclos de medição, o sensor ReflecSence apresentou dados mais altos e com menor variabilidade em comparação ao sensor GreenSeeker. Entretanto, observa-se uma tendência consistente entre as medições dos dois sensores. Foi possível identificar que o comportamento dos valores médios de NDVI em cada observação apresentou um padrão similar ao longo do conjunto total de dados, onde em cada ciclo, os locais com os maiores e menores valores médios de NDVI mostraram comportamento correspondente entre os sensores.

Também é possível observar na Tabela 3 que, no primeiro ciclo, os valores de NDVI para ambos os sensores apresentaram valores menores se comparado aos demais ciclos. Este comportamento pode ser explicado pela menor biomassa acumulada no primeiro ciclo, possivelmente devido ao menor vigor inicial da *Brachiaria decumbens*, em comparação com os demais ciclos, onde a rebrota favoreceu o maior acúmulo de biomassa. Embora as medições tenham sido realizadas a alturas constantes, a diferença na quantidade de biomassa disponível no dossel reflete diretamente nos valores observados de NDVI que tem forte relação com a biomassa. (YI et al., 2007)

De acordo com Campana et al. (2023) o NDVI é altamente sensível às variações na biomassa, sendo um indicador eficiente no desenvolvimento da *Megathyrsus maximus* ao longo do tempo. Esses resultados corroboram com o estudo de Aureana (2020), que verificou a forte associação entre os valores de NDVI e o desenvolvimento vegetal, reforçando que o índice pode refletir com precisão o estado fisiológico das plantas, mesmo em condições de medições realizadas em alturas fixas.

Os altos valores de NDVI observados em todos os ciclos (Tabela 3) podem ser explicados pelo período em que foram realizadas as leituras, abrangendo os meses de março e abril. Nesse intervalo, ainda é comum a ocorrência de índices pluviométricos significativos, conforme observado as características climáticas na Tabela 2.

A precipitação regular nessa época do ano contribui para a manutenção da umidade do solo, que, junto a temperaturas adequadas, criaram condições favoráveis ao desenvolvimento da atividade fotossintética da vegetação, resultando em maior produção de biomassa. Esse cenário reflete diretamente nos altos valores de NDVI, uma vez que o índice é sensível à presença de vegetação verde e saudável (JANSEN, 2009).

3.2 Correlação entre os sensores

Para verificar a adequação à distribuição normal dos valores médios de NDVI obtidos pelos sensores ReflecSense e GreenSeeker, foi utilizado o software R (R Core Team, 2013) para aplicar o Teste de Shapiro-Wilk, conforme descrito por Shapiro e Wilk (1965). Os resultados desse teste são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do teste estatístico de Shapiro-Wilk, para verificação da normalidade entre os valores médios de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada obtidos pelos sensores GreenSeeker e ReflecSense

Ciclo	W (Shapiro-Wilk)	p-valor
1	0,89244	0,02983
2	0,87124	0,01235
3	0,80384	0,000986

Fonte: Autora.

Na Tabela 4, observa-se que os valores de p-valor obtidos pelo Teste de Shapiro-Wilk para os três ciclos apresentaram valores menores que 0,05 e os valores de W se aproximaram

de zero. Isso indica a rejeição da hipótese nula e aceitação da hipótese alternativa onde os dados diferem estatisticamente de uma distribuição normal.

O Teste de Wilcoxon foi realizado no software R (R Core Team, 2013) e os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do Teste de Wilcoxon, para verificação da correlação entre os valores médios de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada obtidos pelos sensores GreenSeeker e ReflecSense

Ciclo	W (Wilcoxon)	p-valor
1	11	3,407e-07
2	39	1,412e-05
3	68	0,0003748

Fonte: Autora.

Os resultados apresentados na Tabela 5 mostram que o Teste de Wilcoxon para os três ciclos indica diferenças estatisticamente significativas entre as medições de NDVI realizadas pelos sensores ReflecSense e GreenSeeker, com um nível de probabilidade de 5% ($p\text{-valor} < 0,05$).

No primeiro ciclo (Tabela 5), o p-valor foi o mais baixo, acompanhado pelo menor valor de W, sugerindo que as medianas das amostras observadas diferem significativamente. Ao analisar a Tabela 3, nota-se que, em algumas medições, os valores médios obtidos pelo sensor GreenSeeker foram menores em comparação com outras medições. Por outro lado, os valores médios de NDVI do ReflecSense foram mais elevados e mostraram uma variação menor, evidenciando maior consistência nos resultados.

No Ciclo 2, indicado na Tabela 5, a diferença significativa entre as amostras de NDVI dos sensores se mantém, com um p-valor de 1,412e-05. No Ciclo 3, embora a diferença entre os sensores ainda seja estatisticamente significativa, o valor de W é maior, indicando uma possível redução na magnitude da diferença entre as medições, especialmente quando comparado aos Ciclos 1 e 2. Essa menor diferença é corroborada pelos dados da Tabela 3, no qual, apesar dos valores de NDVI do GreenSeeker serem inferiores aos do ReflecSense, as medianas entre os valores estão mais próximas do que nos ciclos anteriores.

A falta de estudos publicados sobre o sensor ReflecSense, por se tratar de uma tecnologia recente, limita o conhecimento consolidado sobre sua aplicação em diferentes culturas agrícolas e condições ambientais. Em contrapartida, o sensor GreenSeeker tem sido

amplamente utilizado em diversas pesquisas para monitorar estágios de desenvolvimento de cultivos e estimar a produtividade. Por exemplo, estudos têm demonstrado a eficiência do GreenSeeker na correlação entre índices de vegetação e a estimativa de produtividade. Sandrini et al. compararam a produtividade do feijoeiro com valores de NDVI em diferentes doses de nitrogênio e estágios fenológicos, concluindo que houve uma correlação significativa ($R^2 = 0,71$) entre a estimativa de produtividade e o índice de vegetação.

Michels et al. (2021) também destacaram o potencial do sensor no auxílio para estimar o tamanho ótimo de parcelas experimentais. Dias et al. (2019) avaliaram a resposta do NDVI utilizando o sensor GreenSeeker e uma câmera multiespectral em áreas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, sob diferentes doses de nitrogênio ao longo do tempo. O estudo demonstrou que o GreenSeeker se ajustou mais rapidamente a modelos matemáticos de regressão do que a câmera multiespectral, que só apresentou um ajuste significativo após 42 dias de adubação.

Santos et al. (2017) estudaram a correlação entre a produtividade e o estado nutricional da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com os valores de NDVI obtidos por meio do sensor GreenSeeker. Os autores verificaram uma alta correlação linear entre os valores de NDVI e a produtividade, destacando a eficácia do índice como ferramenta para monitorar o desempenho nutricional e produtivo da cultura.

Outro estudo, realizado por Pott et al. (2019), investigou o potencial do GreenSeeker, entre outros sensores de campo, para a detecção de ervas daninhas. Os autores destacaram a utilidade dos índices de vegetação gerados pelos sensores na discriminação de ervas daninhas em relação a outros alvos. Contudo, também apontaram a limitação da resolução espacial das leituras frente ao tamanho das áreas de plantio, o que pode representar uma barreira em aplicações em larga escala.

3.3 Correlação entre os valores médios de NDVI e produtividade da *Brachiaria decumbens*

Os valores médios de produtividade da *Brachiaria decumbens* em quilogramas por hectare para os três ciclos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios de produtividade da *Brachiaria decumbens* obtidos para os três ciclos experimentais

Produtividade da <i>Brachiaria decumbens</i> (kg ha ⁻¹)			
Bloco/Parcela	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
B1P1	444,94	591,59	655,09
B1P2	461,71	702,79	898,87
B1P3	679,29	962,68	970,29
B1P4	363,33	911,05	649,08
B1P5	121,37	221,32	294,04
B2P1	358,94	729,45	932,63
B2P2	614,85	634,26	684,58
B2P3	502,21	1076,74	1094,54
B2P4	121,65	389,90	572,23
B2P5	321,19	792,07	750,62
B3P1	859,96	912,66	1010,02
B3P2	410,44	621,27	449,00
B3P3	599,45	940,06	668,44
B3P4	464,17	531,99	1217,43
B3P5	321,26	902,87	814,45
B4P1	263,45	440,35	414,25
B4P2	556,10	948,71	690,32
B4P3	553,29	663,60	888,22
B4P4	212,35	484,56	972,76
B4P5	221,61	687,22	783,07

Fonte: Autora.

A partir dos dados de produtividade da *Brachiaria decumbens*, apresentados na Tabela 6 e dos valores de NDVI, foi realizada uma análise de correlação utilizando o coeficiente de Spearman. Os valores obtidos dessa análise estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do Coeficiente de Correlação de Spearman, para a correlação entre os valores médios de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e produtividade da *Brachiaria decumbens*

Ciclo	Coeficiente de Correlação de Spearman	
	GreenSeeker	ReflecSense
1	0,643341	0,5112782
2	0,4828883	0,5881911
3	0,5097744	0,5159835

Fonte: Autora.

No primeiro ciclo, a relação entre o NDVI do sensor GreenSeeker e a produtividade, conforme indicado na Tabela 7, apresentou uma correlação de Spearman considerada forte, com um valor de 0,643. Esta correlação foi superior à observada para o sensor ReflecSense, que teve uma correlação considerada moderada, de 0,511. Ambos os sensores mostraram uma correlação positiva, indicando que, em áreas com maior produtividade, os valores de NDVI tendem a ser mais elevados.

No ciclo 2, a correlação de Spearman para o GreenSeeker caiu para 0,483 (Tabela 7), o que indica uma menor consistência na capacidade do sensor de capturar variações na produtividade em comparação com o ciclo 1, esse efeito pode ser explicado pelo alto teor de umidade e maior precipitação do ciclo 2 conforme mostrado na Tabela 2, que pode ter influenciado as leituras realizadas pelo GreenSeeker. Em contraste, o ReflecSense apresentou uma correlação com um número um pouco maior 0,588, sugerindo que, neste ciclo, foi mais eficaz em refletir as variações de produtividade. A variação de valores de NDVI do ReflecSense seguindo o padrão de produtividade contribuiu para uma melhor captura das mudanças na produtividade. Para ambos os sensores a correlação dos valores médios de NDVI e produtividade apresentou como moderada.

No ciclo 3, observa-se na Tabela 7, que as correlações entre os valores de NDVI e a produtividade para ambos os sensores foram bastante semelhantes, com o GreenSeeker apresentando uma correlação de 0,510 e o ReflecSense de 0,516, mantendo a correlação moderada como a do ciclo 2. Este padrão semelhante pode indicar uma relação mais próxima entre as medições de NDVI para os dois sensores. Conforme verifica-se no teste de Wilcoxon, embora o p-valor observado indica que exista uma diferença significativa entre os sensores, ela não é tão pronunciada neste ciclo como nos anteriores, refletida em uma correlação mais próxima com a produtividade.

Verifica-se através da Tabela 6 que os valores de produtividade aumentaram conforme se passaram os ciclos, o mesmo aumento pode ser observado com os valores de NDVI, isto é apontado na Tabela 7 em que, apesar das variações, todas as correlações foram positivas, capturando tendências semelhantes. Entretanto, verifica-se que para o primeiro ciclo a correlação foi maior para o sensor GreenSeeker. Já no segundo ciclo, o sensor ReflecSense apresentou maior correlação. Esta variação mostra que apesar das correlações positivas, as medições podem apresentar variações significativas e podem ser observadas com o teste de Wilcoxon que aponta diferenças estatísticas significativas das medições entre os sensores.

4 CONCLUSÃO

O estudo do sensor de baixo custo ReflecSense, em uma cultura diferente da qual foi inicialmente desenvolvido, comparando-o com o sensor GreenSeeker, já consolidado no mercado, permitiu comparar os valores de NDVI óbitos pelos sensores.

Os resultados obtidos mostram que o ReflecSense não apresentou correlação significativa quando comparado ao GreenSeeker para a *Brachiaria decumbens*. Para a comparação entre a produtividade da *Brachiaria decumbens* e os valores médios de NDVI a correlação foi moderada para o ReflecSense dentro dos parâmetros do teste estatístico escolhido. Já para o sensor GreenSeeker, os valores médios de NDVI e a produtividade da *Brachiaria decumbens*, apresentou correlação forte em um ciclo, e moderada nos demais.

Dessa forma sugere-se novos estudos sobre o uso do ReflecSense para monitoramento de pastagens, principalmente, devido ao sensor apresentar a leitura de dez bandas espectrais, sendo possível a realização de outros índices de vegetação.

REFERÊNCIAS

- AUREANA, M. L. *Sensoriamento remoto na avaliação de pasto de Brachiaria decumbens*. 2020. 59f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- BARROS, E. A. C.; MAZUCHELI, J. Um estudo sobre o tamanho e poder dos testes t-Student e Wilcoxon. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 27, n. 1, p. 23-32, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226513002>.
- BERTOLINI, C. A. et al. *Desafios no uso de índices de vegetação baseados no RGB para diagnóstico do status de nitrogênio em gramíneas sob pastejo*. In: ALMEIDA, A. M. C. et al. (Org.). *Zootecnia de Precisão: Desafios e Aplicações*. São Paulo: Editora Científica Digital Ltda., 2021. Capítulo 6, p. 74-93. DOI: 10.37885/211106788.
- BREDEMEIER, C., VARIANI, C., ALMEIDA, D., ROSA, A. T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, jul. 2013.
- CABEZAS, W. A. R. L. Manejo de gramíneas cultivadas em forma exclusiva e consorciada com *Brachiaria ruziziensis* e eficiência do nitrogênio aplicado em cobertura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 10, n. 2, p. 130–145, 30 ago. 2011.
- CAMPANA, M; DEL VALLE, T. A; FERNANDES, L.S; PEREIRA, F. R. S; GARCIA, T. M; OSÓRIO, J. A. C; FACCO, F. B; MORAIS, J. P. G. Canopeo and GreenSeeker applications as tools to support tropical pasture management. *Ciência Rural*, v.53, n.6, 2023.
- CAPP, E., NIENOV, O. H. *Bioestatística quantitativa aplicada*. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 2020.
- CONRADO, J. A. A. *Morfofisiologia e métodos de predição de variáveis produtivas do capim-braquiária pastejado por ovinos*. 2021. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ), Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba, Fortaleza.
- DIAS, J. L. A; BARROS, I. M; PEREIRA, P. A. R; BARROS, P. M. B; SILVA NETO, S; P. Monitoramento do NDVI da *Urochloa brizantha* cv. Marandu em função das doses de nitrogênio com uso de câmera multiespectral. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 2019.
- DETMANN, E.; SILVA, L. F. C.; ROCHA, G. C.; PALMA, M. N. N.; RODRIGUES, J. P. P. *Métodos para análise de alimentos*. 2. ed. [S.l.]: Produção Independente, 2021. 350 p. ISBN 9786599512223.
- FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; MISTURA, C.; MORAIS, R. V.; VITOR, C. M. T.; GOMIDE, J. A.; COSTA, L. T. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, p. 21-29, 2006.

FERREIRA, D. J. ZANINE, A. M. Importância da pastagem cultivada na produção da pecuária de corte brasileira. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, v. 8, n. 5, p. 1-17, 2007.

GOOGLE. Google Earth Pro. Versão 7.3.4. [São Francisco: Google], 2024. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-20.77458883,-42.85809232,698.26449695a,859.62981069d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAGgBOgMKATA>. Acesso em 15 de jul. de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agropecuária: Bovinos. Rio de Janeiro Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2023_v51_br_informativo. Acesso em: 11 de out. de 2024.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

LIMA, M.A., GOMEZ, L.D., STEELE-KING, C.G. et al. Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable biorenewables production. *Biotechnology for Biofuels*, v. 7, p. 1-19, 2014. DOI: 10.1186/1754-6834-7-10.

MANCIN, W. R., PEREIRA, L., CARVALHO, R.S.B., SILUPU, W. H. M., TECH, A. R. B. The use of computer vision to classify Xaraés grass according to nutritional status in nitrogen. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, e20207797. DOI: 10.5935/1806-6690.20220006.

MARTINS, S. V.; RIBEIRO, G. A.; SILVA JUNIOR, W. M.; NAPPO, M. E. Regeneração pós-fogo em um fragmento de floresta estacional semidecidual no município de Viçosa, MG. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 11-19, 2002.

MEHMOOD, K., ANEES, S. A., MUHAMMAD, S.; et al. Analyzing vegetation health dynamics across seasons and regions through NDVI and climatic variables. *Scientific Reports*, v. 14, p. 11775, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-62464-7

MICHELS, R. N; CANTERI, M. G; AGUIAR E SILVA, M. A; BERTOZZI, J; DAL BOSCO, T. C. Estimation of the optimum size of plots for soybean radiometer experiments. *Revista Brasileira de Biometria*, Lavras, v.39, n.2, p.362-371, 2021.

MUNIANDY, K. V., CHUNG, E. L. T., JAAPAR, M. S.; et al. Filling the gap of *Brachiaria decumbens* (signal grass) research on clinico-pathology and haemato-biochemistry in small ruminants: A review. *Toxicon*, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.12.158>>. Acesso em: 22 de mar. de 2024

POTT, L. P; AMADO, T. J. C; SCHWALBERT, R. A; SEBEM, E; JUGULAM, M; CIAMPITTI, I, A. Pre-planting weed detection based on ground field spectral data. *Pest Manag Sci*, v 76, p. 1173-1182, 2020.

R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RISSINI, A.L.L., KAWAKAMI, J., GENÚ, A. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Produtividade de Cultivares de Trigo Submetidas a Doses de Nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20140686.

ROUSE, J. W., HAAS R.H., SCHELL J.A., DEERING D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceedings of the 3rd. ERTS-1 Symposium; 1973, Washington, DC. Washington, DC: NASA SP-351; 1973. p.309-17.

SANTOS, G. O; ROSALEN, D. L; FARIA, R. T. Use of active optical sensor in the characteristics analysis of the fertigated brachiaria with treated sewage. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, v.37, n.6, p.1213-122, 2017.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.

VIANA, L. A. *Desenvolvimento de Equipamento Multiespectral para a Determinação de Reflectância na Agricultura*. 2021. 82 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

VILLAR, F. M. M.; PINTO, F. A. C.; FONSECA, D. M.; QUEIROZ, D. M.; ALCÂNTARA, G. R. Sufficiency index for defining nitrogen recommendation in Brachiaria grass pasture. *Bioscience Journal (Online)*, v. 31, p. 1333-1340, 2015.

YI, J. L. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; QUINTANILHA, J. A. Identificação e mapeamento de áreas de milho na região sul do Brasil utilizando imagens MODIS. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 4, p. 1170-1177, 2007. DOI: 10.1590/S0100-69162007000400019.