



PÉRICLES ALEXANDRE SQUARIS MARQUES

**ESTIMATIVA DA ALTURA DO DOSSEL FORRAGEIRO POR
MEIO DO MAPEAMENTO COM VANT**

LAVRAS - MG

2024

PÉRICLES ALEXANDRE SQUARIS MARQUES

**ESTIMATIVA DA ALTURA DO DOSSEL FORRAGEIRO POR MEIO DO
MAPEAMENTO COM VANT**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em ciência e Tecnologia da Produção Animal
/ Convênio Específico – IABS, para obtenção do título de
Mestre em Nutrição e Produção Animal.**

**Prof. Dr. Daniel Rume Casagrande
Orientador**

**LAVRAS - MG
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da
Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a)
autor(a).**

Marques, Péricles Alexandre Squaris.

Estimativa da altura do dossel forrageiro por meio do mapeamento
com VANT / Péricles Alexandre Squaris Marques. - 2024.

36 p.

Orientador(a): Daniel Rume Casagrande.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras,
2024.

Bibliografia.

1. Veículo Aéreo Não Tripulado. 2. índices de vegetação. 3. manejo
de forragem. I. Casagrande, Daniel Rume. II. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu orientador(a).

PÉRICLES ALEXANDRE SQUARIS MARQUES

**ESTIMATIVA DA ALTURA DO DOSSEL FORRAGEIRO POR MEIO DO
MAPEAMENTO COM VANT**

ESTIMATION OF FORAGE CANOPY HEIGHT THROUGH UAV MAPPING

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação
em ciência e Tecnologia da Produção Animal / Convênio
Específico – IABS, para obtenção do título de Mestre em
Nutrição e Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Rume Casagrande

Data de aprovação: 21 de agosto de 2024

Conceito: _____7.8_____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Daniel Rume Casagrande
Universidade Federal de Lavras

Profa. Dra. Carla Luiza da Silva Ávila
Universidade Federal de Lavras

Dra. Márcia Cristina Teixeira da Silveira
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LAVRAS - MG

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Projeto Rural Sustentável - Cerrado, realizado em parceria com a Universidade Federal de Lavras - UFLA, que viabilizou este curso de Mestrado Profissional. O Projeto Rural Sustentável - Cerrado é financiado pela Cooperação Técnica aprovada pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), com recursos do Financiamento Internacional do Clima do Governo do Reino Unido, tendo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como beneficiário institucional. O Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS) é o responsável pela execução e administração do projeto, e a Embrapa, responsável pela coordenação científica, com apoio da Rede ILPF.

A Embrapa Milho e Sorgo – Sete Lagoas, nas pessoas da Dra. Márcia Cristina T. Silveira e Dr. Ramon Costa Alvarenga pelo apoio indispensável à realização deste trabalho na URTP_ILP, também apoiada pelo IABS mediante cooperação técnica do BID: BR-T1409.

Ao professor Dr. Daniel Rume Casagrande pela orientação, seus ensinamentos que foram indispensáveis para a realização deste trabalho.

A Empresa de Assistência Técnica e Extensão (Emater-MG) pelo incentivo ao meu aprimoramento profissional.

RESUMO

A melhoria nas técnicas de manejo de pastagens em sistemas integrados, ou mesmo de produção intensiva, visa assegurar a sustentabilidade da pecuária bovina em biomas como o do Cerrado. O sensoriamento de cobertura vegetal ajuda a distinguir diversas alterações temporais em ecossistemas através da quantificação da energia eletromagnética refletida (REM). Nestas relações, são utilizados os índices de vegetação (IVs) para determinar fatores de produção em diversas culturas, onde está incluída a pastagem. Nesta pesquisa, aplicou a sistemas de manejo de pastagens o mapeamento de índices de vegetação – IVs (Índice de Área de Folhagem – IAF, Índice de Folha Verde – GLI e Índice Visível de Resistência Atmosférica- VARI) por meio de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) visando estimar a altura do dossel forrageiro. Nas áreas de interesse foram realizados voos para captura de imagens com sensores ópticos RGB e Multiespectral. Após processamento das imagens no software Pix4Dmapper, foram gerados mosaicos IVs de altura da forragem. Os mapas foram ajustados utilizando amostras da altura média da forragem, através de um método indireto que mede a altura real do dossel com um bastão graduado específico para manejo de altura. Foram aplicados testes estatísticos comparativos para validação da estratificação em quatro classes nos quais verificou-se a ótima previsibilidade dos IVs testados. Os resultados confirmaram que o mapeamento do VANT, calibrado com as amostragens de altura real do dossel da forragem, consegue estimar sua altura por área estratificada. Os mosaicos mediram e registraram as falhas da pastagem que geralmente não são quantificadas na amostragem com média simples, onde aparece o solo exposto e/ou forragem rala. Através deles também é possível verificar visualmente, com os mapas coropléticos, o estado geral da ocupação da pastagem no terreno em média ponderada de altura da forragem. Os resultados demonstram que o mapeamento realizado pelo VANT nos IVs IAF e GLI estudados, foram eficientes em estimar a altura do dossel da forragem, podendo ser aplicados junto ao manejo de sistemas de produtivos, com vistas a automação e verificação do estado geral da pastagem.

Palavras-chave: Veículo Aéreo Não Tripulado; índices de vegetação; biomassa; manejo de forragem; pastagens; sensoriamento; mapeamento.

ABSTRACT

The improving pasture management techniques in integrated systems, or even intensive production, aims to ensure the sustainability of cattle ranching in biomes such as the Cerrado. Vegetation cover sensing helps to distinguish different temporal changes in ecosystems by quantifying reflected electromagnetic energy (REM). In these relationships, vegetation indices (VIs) are used to determine production factors in various crops, including pasture. This research applied the mapping of vegetation indices - VIs (Leaf Area Index - LAI, Green Leaf Index - GLI and Visible Atmospheric Resistance Index - VARI) to pasture management systems using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in order to estimate the height of the forage canopy. Flights were made over the areas of interest to capture images with RGB and multispectral optical sensors. After processing the images in Pix4Dmapper software, VIs mosaics of forage height were generated. The maps were adjusted using samples of the average height of the forage, using an indirect method that measures the actual height of the canopy with a graduated stick specifically for height management. Comparative statistical tests were applied to validate the stratification into four classes, in which the optimum predictability of the VIs tested was verified. The results confirmed that UAV mapping, calibrated with samples of the actual height of the forage canopy, can estimate its height per stratified area. The mosaics measured and recorded gaps in the pasture that are generally not quantified in simple average sampling, where exposed soil and/or sparse forage appears. They also make it possible to visually verify, with the choropleth's maps, the general state of pasture occupation on the terrain in terms of the weighted average height of the forage. The results show that the UAV mapping of the IAF and GLI studied, was efficient in estimating the height of the forage canopy and can be applied to the management of productive systems, with a view to automation and verification of the general state of the pasture.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle; vegetation indices; biomass; forage management; pastures; sensing; mapping.

IMPACTOS SOCIAIS, TECNOLÓGICOS, ECONÔMICOS E CULTURAIS

O avanço tecnológico vem revolucionando a rotina dos processos agrícolas através de soluções voltadas para geração de dados, que podem ser usados para a melhoria do aproveitamento dos recursos de produção agrícola visando a sustentabilidade. Os Veículos Aéreos Não Tripulados(VANTs) com sensores ópticos multiespectral e RGB, aplicados à agricultura, permitem a coleta de dados georreferenciados da unidade produtiva promovendo uma gestão inovadora e oportunizando um maior ganho competitivo. A quantificação da biomassa através da reflectância da taxa fotossintética das forragens, pode ser mensurada por índices de vegetação que tem relação direta com a altura da forragem, sendo um indicador importante para o manejo das pastagens. A qualidade do manejo ajuda na mitigação da degradação de pastagens que provoca uma redução da capacidade de lotação e do ganho de peso animal, evitando a necessidade de abertura de novas áreas de produção ocupadas por florestas. Este estudo demonstrou que o mapeamento gerado pelo processamento das imagens multiespectrais e RGB do VANT em índices de vegetação(IAF e GLI), consegue prever de altura do dossel forrageiro, agilizando a coleta dos dados de altura permitindo uma tomada de decisão rápida e assertiva por parte do produtor. Com isto, os produtores e as empresas prestadoras de serviços de assistência técnica com mapeamento com VANT, também podem se beneficiar deste trabalho, aplicando a tecnologia junto às unidades produtivas, utilizando equipamentos com sensores RGB mais baratos. O sensoriamento da altura da forragem por meio do mapeamento do VANT, impacta nos custos da atividade de coleta de amostras nas leituras regulares de altura para o manejo das forragens que o pecuarista deve realizar, possibilitando a automação reduzindo a necessidade de mão de obra.

SOCIAL, TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND CULTURAL IMPACTS

Technological advances have revolutionized the routine of agricultural processes through solutions aimed at generating data that can be used to improve the use of agricultural production resources with a view to sustainability. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) with multispectral and RGB optical sensors, applied to agriculture, enable the collection of georeferenced data from the production unit, promoting innovative management and providing greater competitive advantage. The quantification of biomass through the reflectance of the photosynthetic rate of forage can be measured by vegetation indices, which are directly related to forage height and are an important indicator for pasture management. Quality management helps to mitigate pasture degradation, which causes a reduction in stocking capacity and animal weight gain, avoiding the need to open up new production areas occupied by forests. This study showed that the mapping generated by processing the multispectral and RGB images from the UAV into vegetation indices (IAF and GLI) can predict the height of the forage canopy, speeding up the collection of height data and allowing producers to make quick and assertive decisions. With this, producers and companies providing technical assistance services with UAV mapping can also benefit from this work, applying the technology to production units using equipment with cheaper RGB sensors. Sensing the height of the forage using UAV mapping has an impact on the costs of collecting samples in the regular height readings for forage management that livestock farmers must carry out, making automation possible and reducing the need for labor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Gráfico de Reflectância espectral (A), Absorbância (B) por Comprimento de onda. Fonte: Embrapa DF/2014	12
Figura 2	Área de ILP Unidade Experimental da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas – MG	17
Figura 3	Área de Sistema de lotação contínua Campus Universitário da UFLA, Lavras – MG	18
Figura 4	Exemplo de Amostragem georreferenciada	19
Figura 5	Exemplo de Amostragem georreferenciada mosaico RGB (03/03/2023) sobre Google Earth – Embrapa Milho e Sorgo	20
Figura 6	Exemplo geoestatística IAF na Tela do Pix4Dmapper- Campus UFLA/Piquete 15	22
Figura 7	Exemplo de áreas de solo exposto na pastagem mapa GLI nas estações chuvosa e seca URTP – Embrapa	23
Figura 8	Exemplo de áreas de solo exposto na pastagem IAF estação Seca área de estudo Campus – UFLA	24
Figura 9	Mapeamento IAF, GLI e VARI dos piquetes nas áreas avaliadas. 1 a 4 - URTP em ILP da Embrapa Milho e Sorgo e 5 – área do Campus UFLA...	28
Figura 10	Curva de regressão linear IAF - Altura Média estimada por piquete mediante uso de imagens de VANT.....	29
Figura 11	Curva de regressão linear GLI - Altura Média estimada por piquete mediante uso de imagens de VANT.....	29
Figura 12	Curva de regressão linear VARI -Altura Média estimada por piquete mediante uso de imagens de VANT	30

Figura 13	VANT, Sensor multiespectral Sequoia e software de planejamento de voo Emotion Ag Sensefly	37
Tabela 1	Voos nas áreas de estudo, número de piquetes e forrageira	16
Tabela 2	Análise estatística para estratificação de alturas médias em classes de cores dos índices de vegetação IAF, GLI e VARI	26

LISTA DE ABREVIATURAS

Amar.	Amarelo
Cód.	Código
Lar.	Laranja
Verd.	Verde
Verm.	Vermelho

LISTA DE SIGLAS

EMATER-MG	Empresa de Assistência Técnica e Extensão de Minas Gerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IABS	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
UFLA	Universidade Federal de Lavras

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	09
2.	OBJETIVO	10
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1	Parâmetros de mensuração	12
3.2	Sensores e Índices de Vegetação	15
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1	Localização e caracterização das áreas de estudo	16
4.2	Mapeamento com o VANT	18
4.3	Amostragem de altura das pastagens	19
4.4	Processamento de imagens Software Pix4Dmapper	20
4.5	Análise estatística	21
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1	Mosaicos coropléticos	22
5.2	Comparação do Mapeamento por Índices de vegetação.....	24
5.2.1	Análise estatística sobre as amostras – Estratificação dos Índices de Vegetação IAF, GLI e VARI	25
5.2.2	Análise dos Índices de Vegetação IAF, GLI e VARI para os mapas coropléticos.....	27

5.2.3	Análise das Curvas de regressão linear para os Índices de Vegetação IAF, GLI e VAR.....	28
5.3	Considerações Finais	30
6.	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32
	ANEXO I	36

1. INTRODUÇÃO

O uso inadequado de terras, a escassez de mão de obra e a falta de planejamento para produção de forrageiras no Cerrado, têm comprometido a capacidade de sustentação da agropecuária, propiciando a degradação e perda de produtividade com repercussão ambiental, econômica e social.

No Cerrado brasileiro, encontram-se 32,8% das pastagens e 34% do rebanho bovino do país, ocupando 29,4% do bioma que é o segundo maior do Brasil. Em 2010, dos 54,4 milhões de hectares ocupados por pastagens, 23,6% não apresentaram indícios de degradação, 40% apresentaram indícios de degradação leve ou moderada, e 36,4% apresentaram indícios de degradação severa (LAPIG-UFG/WWF-BRASIL, 2021). Esses números demonstram, de forma inequívoca, a necessidade de se intensificar o trabalho para implantação de sistemas de produção cada vez mais eficientes. Nesta linha, a aplicação de novas soluções tecnológicas associadas aos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) equipados com sensores ópticos aprimorados, permitem a melhoria da acurácia no sensoriamento das áreas de pastagens, com a geração de informações georreferenciadas com ganhos sucessivos para o seu manejo.

Para o AGRO 4.0 o uso de tecnologias de mapeamento e sensoriamento remoto, tornam-se cada vez mais necessárias na melhoria da sistematização espacial das propriedades, aprimorando a gestão das atividades rurais em vistas de um maior ganho competitivo. O VANT veio como uma ferramenta complementar ao mapeamento e sensoriamento remoto com imagens de satélites, trazendo ao processo a melhoria da precisão, da temporalidade da captura e do melhor custo-benefício.

O sensoriamento de cobertura vegetal ajuda a distinguir diversas alterações temporais em ecossistemas através da quantificação da energia eletromagnética refletida. À medida que os sensores se tornam menores e mais precisos tornaram-se ferramenta estratégica para quantificar a taxa fotossintética através de modelos matemáticos gerando mapas dos índices de vegetação. Em pastagens, VIANA et al. 2020, comparou os Índices de Vegetação – IVs com o uso de VANT com sensores de faixas do espectro eletromagnético visível RGB (abreviação dos nomes vermelho, verde e azul, em inglês), para a classificação de pastagens. Ainda no espectro do visível (RGB) o Índice de Vegetação GLI - Green Leaf Index (Índice de Folha Verde, em português) diferencia vegetação viva sendo utilizado por exemplo, para determinar biomassa total em caatinga aberta,

caatinga densa e pastagem, clorofila em folhas de arroz, diferenciar vegetação de não vegetação e detectar doenças em árvores. Nesta pesquisa em questão, a área em degradação dentro da pastagem foi quantificada através da diferenciação da vegetação (Nascimento, D. M., 2019). O Visible Atmospherically Resistant Index – VARI (Índice Visível de Resistência Atmosférica, em português) é utilizado para detectar mudanças devido à acumulação de biomassa. Sensível à quantidade de clorofila perdida, estima a fração de vegetação com um erro de pelo menos 10% e computar o índice de potencial de combustão.

O sensoriamento remoto de pastagens através do comportamento espectral de imagens por meio VANTs, apresentam potencial para otimizar o manejo de pastagens, sendo e uma solução rápida para avaliar o sistema produtivo. Um estudo no bioma Cerrado baiano demonstrou que foi possível avaliar imagens de VANT para estimar e monitorar a cobertura e altura do pasto utilizando apenas as bandas RGB em campo com base em 3 classes de pastejo pré-pastejo, em pastejo, pós-pastejo, além da classificação do solo exposto na pastagem. O desenvolvimento de um modelo de processamento via aprendizado de máquina criado para este monitoramento, alcançou 66% de exatidão na predição das classes (SILVEIRA, M.C.T. da.et al, 2022).

A ferramenta VANT/sensor espectral e VANT/sensor RGB proporcionam maior acurácia quando comparado a imagens de satélites disponíveis no mercado e, claro, o Software de processamento Pix4Dmapper que entrega diretamente diversos modelos de análise ainda pouco empregados em pastagens no Cerrado mineiro.

Neste estudo aplicou-se avaliações rápidas e não destrutivas com foco na variável de altura, que na prática proporciona o condicionamento da produção, através da relação das plantas, dos animais e dos fatores ambientais (GENRO, T. C. M. e SILVEIRA, M.C.T. da, 2018). Assim, a hipótese de estimar a altura do dossel da forragem com VANT pode agilizar o manejo do sistema e diminuir a dependência de mão-de-obra.

2. OBJETIVO

Estimar a altura do dossel de forragens a partir do mapeamento dos índices de vegetação (Índice de Área de Folhagem – IAF, Índice de Folha Verde – GLI e Índice Visível de Resistência Atmosférica- VARI) gerados em software de processamento (Pix4Dmapper), por meio imagens de sensores ópticos (Multiespectral e RGB) embarcados em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O bioma Cerrado sofre a maior pressão antrópica no Brasil, principalmente devido às atividades de produção de carne bovina, onde na década 1970 as pastagens cultivadas ocupavam cerca de 10 milhões de hectares (SANO E. E. et al., 2013) e hoje, ocupam de 54 a 60 milhões de hectares em todo Brasil. Cerca de 30% do bioma é ocupado por pastagens, onde a maior parte delas está com baixa capacidade produtiva (BOLFE, E. L., SANO, E.E., CAMPOS, S. K., 2020),

Implementar um planejamento do manejo da pastagem ajuda a evitar o desperdício de forragem do produtor nas explorações de bovinos a pasto, pois, a alimentação compõe de 50% a 80% dos custos dentro de um sistema de produção animal (SALMAN A. K. D., 2006). Assim é importante que se possa planejar adequadamente o sistema de manejo compatibilizando o número máximo de animais sobre a pastagem sem causar a degradação da mesma. Ajustar a carga de animais na pastagem aos fatores de crescimento da forragem, fertilidade do solo, clima e nível tecnológico empregado. O mapeamento de pastagens por VANT, pode então proporcionar informações rápidas e georreferenciadas sobre a ocupação e manejo da altura do dossel da forragem, diminuindo a necessidade de mão de obra com incremento positivo na gestão da atividade onde novos estudos pode adequá-lo a qualquer que seja o sistema de produção.

O uso de imagens para mapeamentos que servem de base para medir a evolução dos sistemas produtivos, vem se tornando cada vez mais necessários para um planejamento das atividades de manejo e recuperação de ambientes com uso agropecuário intensivo. Mapear as pastagens do Cerrado exige o desenvolvimento de abordagens computacionais e dados precisos (BRITO, B. N. de, & BRITO, J. L. S., 2020). O índice de área de folhagem (IAF) por exemplo apresenta um grande potencial para determinar o nível de degradação pastagens (ANDRADE R. G. et. al.).

O uso de VANT em agricultura de precisão tem focado no uso de sensores que capturam o espectro refletido, abrangendo a região do visível Green, Red e RedEdge-RGB 0.4-0.7 μm , Infravermelho próximo NIR-0.7-1.3 μm e Infravermelho de ondas curtas SWIR- 1.3- 2.5 μm). O uso de mapas de biomassa ajuda a identificar zonas de comportamento diferentes da vegetação, através da espectroscopia de reflectância medindo a reflexão da radiação eletromagnética (REM) de diferentes superfícies em diferentes comprimentos de onda (CASTRO JORGE L. A. e INAMASU R. Y., 2014). A combinação aritmética desses comprimentos de reflexão, compõem os Índices de Vegetação associados a diversas propriedades fisiológicas da vegetação (vigor,

senescência, estresse hídrico) sendo o mais conhecido deles o NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada. Criado por Rouse et al., 1973 o NDVI é utilizado para estudo de vigor vegetativo em pastagens. Os valores de NDVI variam entre -1 e 1, considerando o -1 como solo exposto e/ou ausência total de vegetação. Já os valores acima de 0 são indicativos de presença de vegetação, com aumento de biomassa ao se aproximarem de 1 (Liu, 2007). Em mapas de biomassa o NDVI é o índice mais sensível à clorofila, acompanhando a evolução do estágio fenológico da cultura até atingir o ponto de saturação (CARNEIRO. F. et. al., 2019). Assim, está sujeito a fatores limitantes, onde o incremento de biomassa não pode ser acompanhado. (PINTO, D. G. et. al., 2014).

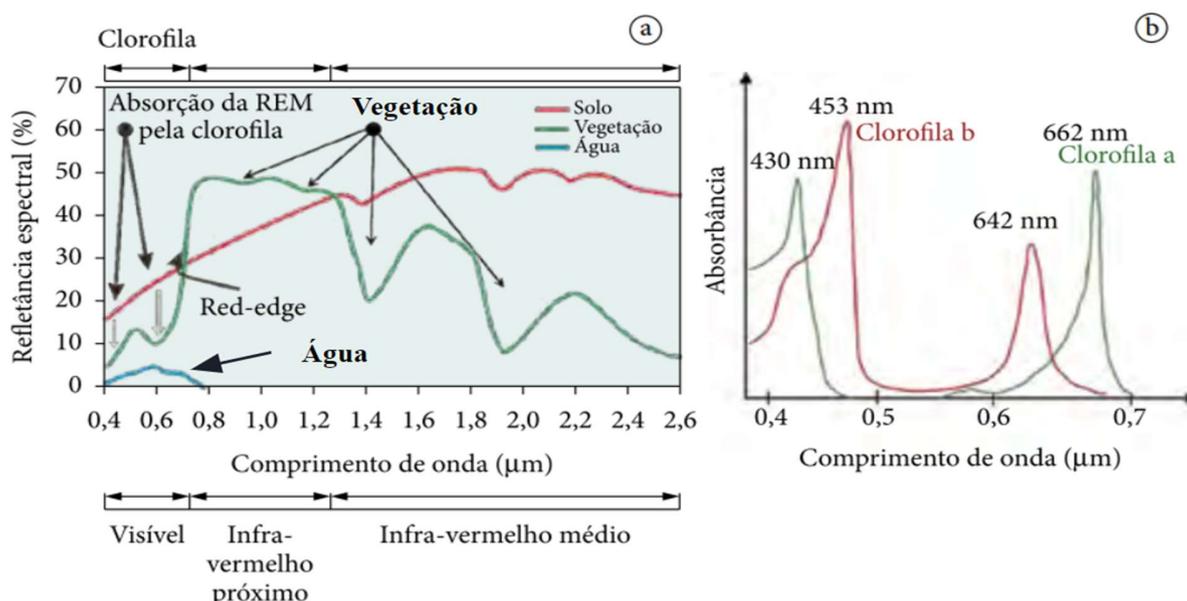


Figura 1: Gráfico de Reflectância espectral (A), Absorbância (B) por Comprimento de onda
 Fonte: Embrapa DF/2014

3.1 Parâmetros de mensuração

A Emater-MG - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais, possui desde 2018 dois VANTs eBee AG na marca suíça Sensefly com sensor multiespectral Sequoia utilizado para diversos serviços de mapeamento e agricultura de precisão (Anexo I - Figura 13). A operação destes é totalmente automatizada e a análise das imagens é processada em software de fotogrametria e algoritmos de visão computacional, o software Pix4Dmapper, instalado em servidores na Unidade Central da Emater-MG.

De forma objetiva os parâmetros para mensuração para determinação por meio de VANT são utilizados:

Biomassa por mosaico com VANT RGB (bandas red, green e blue) e sensores multiespectrais com banda NIR - infravermelho próximo do espectro eletromagnético; os Índices de Vegetação NDVI, SAVI (variável $L = 0,5$) para determinação do IAF - Classes em intervalo reflectância -1 a 1 - zona de manejo Jenks, com a unidade de área em hectare;

Biomassa por mosaico do sensor RGB (bandas red, green e blue) “simples”; o Índice de Vegetação GLI - Green Leaf Index - Classes em intervalo reflectância - zona de manejo Jenks, com a unidade de área em hectare; o Índice de Vegetação VARI - Visible Atmospherically Resistant Index - Classes em intervalo reflectância - zona de manejo Jenks, com a unidade de área em hectare; Amostragem altura do pasto - unidade - altura em centímetros; análise dos mosaicos coropléticos: diagnóstico visual do estado geral dos piquetes; indicação de melhoria do manejo da pastagem.

A avaliação dos resultados nos mapas coropléticos, gerados pelo software Pix4Dmapper para todos os índices de vegetação, orienta a geolocalização da amostragem em campo. Na representação da variação da informação, durante a interpretação do mapa, o método escolhido para classificar os dados e o número de classes, é utilizado o método de otimização de Jenks. É importante entender que a interpretação do mapa coroplético, construído por dados quantitativos, as classes são representadas por variáveis visuais que estabelecem a percepção da ordem (RAMOS, A. P. M. et. al., 2016).

O método de otimização de Jenks, também chamado de método de classificação de quebras naturais de Jenks, é um método de agrupamento de dados projetado para determinar o melhor arranjo de valores em diferentes classes (GIRARDI, E. P., 2008). O cálculo para as quebras naturais tem uma base matemática para determinação dos valores dos intervalos. A partir da soma dos Desvios Absolutos sobre a Mediana da Classe (DAMC) que corresponde a um erro, onde quanto menor for o resultado do DAMC, maior acurácia terá a divisão das classes. Assim, os padrões espaciais dos dados com menor variação são agrupados estatisticamente. A otimização de Jenks é a regra de classificação que melhor otimiza a distribuição dos dados nas classes de representação (RAMOS, A. P. M. et. al., 2016).

A amostragem altura do dossel da forragem é a base para o cálculo de produção da pastagem, mais amplamente utilizada por pesquisadores e produtores tecnificados, sendo a mais conhecida para amostragem de pastagem (SALMAN A. K. D., 2006).

No manejo das pastagens o método indireto a altura do dossel da forragem é muito importante pois a qualidade da pastagem está diretamente relacionada à sua estrutura, que afeta seu valor nutricional e a capacidade de consumo pelos animais (CARVALHO, F. A. N. et al., 2005).

O estudo produtivo e estrutural de pastos mistos de aveia e azevém, indica que a massa de forragem aumenta de forma linear positiva por meio da altura do pasto, tornando possível estimar a massa seca de forragem. Neste, o pasto foi manejado em médias ponderadas de altura com uso de taxa de lotação variável em sistema de lotação contínua (CARVALHO, P. C. F. et al., 2010).

Segundo Gustavo José Braga, 2010 os valores negativos de troca líquida de ecossistemas NEE (em inglês, Net ecosystem exchange) significam sequestro ou entrada de carbono líquido no sistema. A pesquisa conduzida por ele, demonstrou que o IAF de 2,1 e 2,9 em pastagens de braquiária, o balanço se tornou negativo a partir de taxas fotossintéticas mais baixas, entre 15 e 20 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, recomendando o manejo da altura do dossel 17,5 cm para o sequestro de CO_2 atmosférico.

Nos métodos com uso de sensores ópticos a avaliação dos melhores mosaicos do mapeamento das pastagens com VANTs, e índices de vegetação se torna uma ferramenta de diagnóstico rápido e preciso, determinando zona de manejo em hectares, cabendo estabelecer as comparações necessárias para aplicação no manejo das pastagens.

Nos estudos destinados a investigações sobre a vegetação, destaca-se a importância das bandas relacionadas com a faixa de radiação visível (400 a 720 nm) e o infravermelho próximo (720 – 1100 nm). Nesta frequência, a clorofila absorve em grande parte na região do visível e outras estruturas celulares na faixa do infravermelho próximo. Valores discrepantes de reflectância medidos nessas duas faixas espectrais permitem o realce da vegetação, que pode ser descrita através de índices de vegetação. Os índices criados a partir da manipulação das bandas espectrais ilustram a relevância das imagens oriundas do sensoriamento para o acompanhamento e gestão dos ambientes de interesse. Por sua vez, os diversos níveis de coleta e instrumentos utilizados para obtenção de informações remotas, tais como satélites, aviões e drones, estão em consonância com as variadas formas para a decodificação das imagens obtidas, que através de programas de realce visual e equações matemáticas vêm promovendo para essa ciência elevado prestígio e credibilidade em seus produtos, como vem sendo observado ao longo dos anos. (Freire-Silva et. al., 2019).

3.2 Sensores e Índices de Vegetação

Sensores Multiespectrais (Faixa invisível) com Índices de Vegetação baseados nas Bandas Red (Vermelha), Green (Verde) e Blue (azul) e infravermelho próximo (NIR): IAF - Índice de Área de Folhagem requer o ajuste do NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada através do SAVI - Índice de Vegetação Ajustado ao Solo, está diretamente relacionado com a determinação da produção de biomassa. O IAF foi validado em vários projetos de pesquisa como o melhor índice para determinação de biomassa em pastagens (BENARDI. A. C. de C. et. al., 2014). A fórmula IAF = $-\ln(0,69 - \text{SAVI}) / 0,59) / 0,91$ aplicada a reflectância das imagens, baseia-se na área de folhagem calculada pelo número e tamanho das folhas em seu atual estágio fenológico. Resulta na relação entre a área de folhagem de toda vegetação e a unidade de área de solo ocupada por essa vegetação. Como a fotossíntese depende da área de folhagem, assim a produtividade e desenvolvimento de uma cultura, será tanto maior quanto mais próximo for do IAF máximo potencial e quanto mais tempo permanecer ativa; retardando a senescência.

O sensor RGB (Faixa do Visível) com Índices de Vegetação baseados nas Bandas Red (Vermelha), Green (Verde) e Blue (azul): Green Leaf Index (Índice de Folha Verde) - O GLI foi criado originalmente para determinar o impacto de plantio de trigo. Se o valor for negativo, ele representa o solo ou vegetação sem vida, mas se o valor for positivo, ele corresponde a folhas verdes. Segundo Louhaichi et. al., 2001 o GLI mostrou-se eficiente no acompanhamento de ambientes através de imagens de alta resolução, sejam elas oriundas de VANTs, aerofotografias georreferenciadas ou satélites comerciais, podendo ser aplicada para outros interesses, tal como outras culturas ou vegetação em pastagens. Sua fórmula aplicada à geoestatística do mosaico é $\text{GLI} = (2 \cdot G - R - B) / (2 \cdot G + R + B)$; Visible Atmospherically Resistant Index (Índice Visível de Resistência Atmosférica) - O VARI é usado para estimar a fração de vegetação com uma sensibilidade mínima aos efeitos atmosféricos, onde a banda azul na equação 1 é para minimizar os efeitos atmosféricos. Utilizando a fórmula $\text{VARI} = (G - R) / (G + R - B)$.

É fato que trabalhar com sensores multiespectrais que captam faixas do infravermelho, já é uma realidade para análises e estudos sobre a pastagem e saúde das plantas utilizando índices como o NDVI, SAVI para aplicação no IAF. No entanto, segundo Viana, S, W. S. et. al., 2020 nem sempre esses sensores são financeiramente acessíveis para quem está iniciando no mapeamento com drones para o manejo de pastagens. Assim o uso de VANT com sensor RGB “simples” se torna viável para

o produtor por ter custo acessível, gerando informações rápidas com possibilidade de serem automatizadas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na unidade de referência tecnológica (URTP) em ILP da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas MG, e na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Essas áreas se encontram subdivididas em piquetes.

Na Embrapa em Sete Lagoas a área estudada tem 5,62 ha dividida em 5 piquetes. Nesta foram realizados 4 voos para mapeamento e coleta de amostras altura do dossel da forragem de janeiro a agosto de 2023, buscando abranger os períodos seco e chuvoso totalizando 200 amostras (Tabela 01).

No Campus da UFLA em Lavras-MG a área estudada possui 9,00 ha dívida em 15 piquetes, onde foi realizado um voo em 14 de julho de 2023 e a coleta de 60 amostras de altura do dossel da forragem (Tabela 01), para uma análise da estimativa em condições diferentes de manejo e ambiente.

Cód. Voo	Local	Data de voo	Nº de Piquetes	Nº Amostras de altura	Forrageira
1	URTP - Embrapa	25/01/2023	5	50	BRS Piatã
2	URTP - Embrapa	03/03/2023	5	50	BRS Piatã
3	URTP - Embrapa	23/05/2023	5	50	BRS Piatã
4	URTP - Embrapa	17/08/2023	5	50	BRS Piatã
5	Campus - UFLA	14/07/2023	15	60	Marandu

Tabela 1 - Voos nas áreas de estudo, número de piquetes e forrageira.

4.1 Localização e caracterização das áreas de estudo

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Milho e Sorgo está localizada no km 45 da Rodovia MG 424 Zona Rural, que liga Belo Horizonte a Sete Lagoas, distando 12 km desta. As coordenadas geográficas referenciais do estudo são latitude 19°29'9.96" S e longitude 44°10'23,13" O. A altitude é de 721 m e o solo predominante é o Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) textura muito argilosa, relevo suave ondulado. O clima de Sete Lagoas, segundo Köeppen é Cwa, ou seja, clima de savana, com inverno seco e verão úmido com chuva. A temperatura do ar média anual é de 21,1°C e a amplitude térmica está em torno de 6°C. A unidade experimental da Embrapa é constituída por sistema de Integração Lavoura e Pecuária dividida em 5 piquetes de *Brachiaria Brizantha* cv. BRS Piatã, manejado em sistema de pastejo rotacionado.



Figura 2 - Área de ILP Unidade Experimental da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas - MG.

Na Universidade Federal de Lavras - UFLA, a área de estudo está localizada na dentro do campus a 21° 14' 8.91" de latitude sul e 44° 58' 12.62" de longitude oeste, a 906 metros de altitude e com área total de 9 ha (Figura 3). No campus UFLA a área avaliada é um sistema de pastejo sob lotação contínua com 15 piquetes de *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu.

O clima segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, apresentando duas estações bem definidas ao longo do ano – uma seca (de abril a setembro) e outra chuvosa (de outubro a março). A temperatura média anual gira em torno de 19,3°C, com precipitação anual normal de 1530 mm e umidade relativa média igual a 76% PINTO et al., 2004; SÁ JÚNIOR, 2009).



Figura 3 - Área de pastagem com piquetes manejados com lotação contínua Campus Universitário da UFLA, Lavras - MG.

4.2 Mapeamento com o VANT

Todos voos do VANT foram programados em software de controle remoto da aeronave, a 116,8 m de altura do solo, com Ground Sampling Distance (em português Distância de amostra de solo) - GSD médio de 8.93 cm seguindo o relevo, com duração entre 12 a 16 minutos, em dias de sol, céu limpo e/ou com poucas nuvens. O VANT utilizado foi o Ebee SQ de Asa Fixa (Anexo I -

Figura - 13) com sensor multiespectral Sequoia. Composto por 4 sensores espectrais auto calibrados através de um sensor solar integrado à câmera, realiza a calibração radiométrica das imagens em tempo real, facilitando assim o processamento das imagens e resultando em análises mais precisas. Além disso, o Parrot Sequoia também possui um sensor RGB de 16 megapixels integrado ao seu corpo. O processamento das imagens no Pix4Dmapper apresenta uma correlação coeficiente de 0,98 para todas as bandas (CASTAN et. al., 2018).

Para estimar o IAF utilizou-se a fórmula $IAF = -\ln(0,69 - SAVI) / 0,59) / 0,91$ (BENARDI. A. C. de C. et. al., 2014) projetada para unidade de terreno (m^2/m^2) com ajuste fator para vegetação intermediária quantidades $L = 0,5$ que proporciona uma visão espectral índice superior ao SAVI (Soil Adjusted Difference Vegetation Index) fórmula $SAVI = (1 - L) (NIR-RED) / (NIR + RED + L)$ de HUETE, 1988.

4.3 Amostragem de altura das pastagens

Feito o mapeamento, aplicou-se técnicas não destrutivas de medida de altura do dossel das pastagens, identificando os pontos de maior altura através dos mosaicos dos Índices de vegetação (IVs). Para as amostragens de altura da forragem usou-se um bastão graduado (Figura 4) nas áreas de estudo.



Figura 4 – Exemplo de Amostragem georreferenciada com bastão graduado

A coleta das amostras de altura da forragem foi georreferenciada nos piquetes para indicar as classes geradas pelos IVs nos mosaicos. Os mosaicos de biomassa (IAF, GLI e VARI) gerados pelo Pix4Dmapper no formato kml (Keyhole Markup Language) foram abertos no Google Earth (Figura 5) onde aparecem os pontos amostragem georreferenciadas para a calibragem em ordem de altura. As cores nos mapas IV representam as classes geradas automaticamente pelo Software

Pix4Dmapper onde a refletância da biomassa segue uma ordem crescente das cores partido do vermelho, laranja, amarelo e verde. (Vermelho < Laranja < Amarelo < Verde).

Na amostragem de campo foi utilizado o aplicativo MAPinr em celular Android, onde foi importado o KML (Keyhole Markup Language) com o grid de amostras no Google Earth (Figura 5). O aplicativo mostra a posição do operador em tempo real para a coleta das amostras de altura. Esses podem ser facilmente exportados ou importados permitindo sua visualização e edição. Utiliza os recursos do tablet ou smartphone Android como GPS, Câmera e acesso Wi-Fi sobre o mosaico de imagens do Google Earth que apresenta um modelo tridimensional do globo terrestre. O MAPinr permite o acesso offline de imagens, desde que carregadas e o zoom nas áreas de interesse.



Figura 5 – Exemplo de Amostragem georreferenciada mosaico RGB (03/03/2023) sobre Google Earth – Embrapa Milho e Sorgo

4.4 Processamento de imagens Software Pix4Dmapper

No processamento das imagens foi utilizada a calculadora do Software Pix4Dmapper para processar a geoestatística dos índices de vegetação - IVs obtidos sobre a imagem, diferenciando as áreas em hectares, através das quebras naturais de Jenks. O Pix4Dmapper organiza espacialmente os dados extraídos da imagem do VANT (dados = reflectância dos pixels de acordo o IV estudado – IAF, GLI e VARI) de acordo com a semelhança entre o valor dos pixels vizinhos georreferenciados, utilizando o conceito de variáveis regionalizadas. Desta forma é possível avaliar a refletância dos Índices de Vegetação e sua variabilidade espacial estimando os valores nos locais não amostrados. Esta estimativa dos valores é conhecida como método de interpolação por Krigagem.

Os mapas coropléticos gerados pelo software proporcionam a análise e o dimensionamento dos IVs que, por interpolação, são colorizados em quatro cores (verde, amarelo, laranja e vermelho) sintetizadas de acordo com índices numéricos de refletância dos IVs (fórmulas do IAF, GLI e VARI) e determinando a área ocupada pelos mesmos. Essa estratificação dos mapas coropléticos em 4 (quatro) classes de cores dentro dos índices de vegetação, classificam os pixels em intervalos com base no seu valor de reflectância (metodologia Jenks) identificando uma classe e, portanto, uma cor.

4.5 Análise estatística

Em cada conjunto de dados dos IVs foram realizadas duas análises, sendo a primeira para ver se a classificação por cores foi diferente entre si em cada avaliação realizada. A segunda foi para validar o uso de cada IV, comparando a altura média estimada por cada IV com a altura do dossel real. A classificação das alturas em diferentes classes foi realizada utilizando modelo misto em que em função de classe de cor, avaliações, interação entre esses fatores (efeitos fixos) e local amostrado (efeito aleatório), para isso utilizou-se PROC MIXED do SAS. A validação foi feita por meio de análise de regressão entre a altura estimada e a altura real, comparando o coeficiente angular a um ($\beta_1 = 1$) e o intercepto a zero ($\beta_0 = 0s$), para isso utilizou-se PROC REG do SAS.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mosaicos obtidos através das imagens do VANT, permitiram a qualificação dos resultados de altura da pastagem e ocupação, através interação dos mosaicos coropléticos gerados

por geoestatística no software Pix4Dmapper (Figura 6) e as análises estatísticas das amostragens de altura do dossel em campo. Com os mapas coropléticos possível ter uma visão completa da pastagem e identificar a heterogeneidade da pastagem em todos os IVs testados, isso mesmo antes da realização da amostragem de altura. Na prática a percepção da heterogeneidade um mapa de coroplético facilita o entendimento do produtor onde a predominância delas pode indicar a adequação do manejo do sistema.

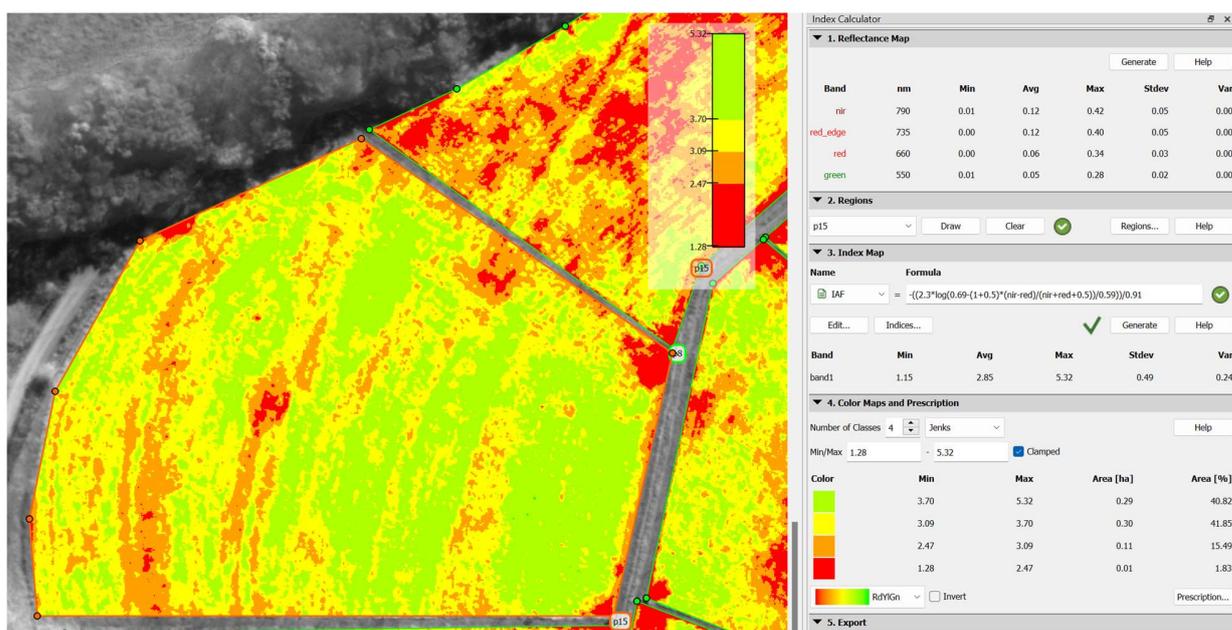


Figura 6 – Exemplo geoestatística IAF na Tela do Pix4Dmapper- Campos UFLA/Piquete 15.

Esta ferramenta apresentou um coeficiente de variação baixo para os resultados de determinação das áreas mapeadas (Figura 6), com a separação da população de acordo com a concentração e a reflectância da biomassa nos índices de vegetação aplicados.

5.1 Mosaicos coropléticos

O software estratificou a biomassa com cores em ordem crescente do Vermelho ao Verde quantificando as áreas avaliadas, o que permite estabelecer percentuais de peso percentual de área da ocupação da forragem. A geração dos mosaicos de todos IVs (IAF, GLI e VARI) nas classes escolhidas estratificam também as falhas da pastagem solo exposto, vegetação seca e rala (Figuras 7 e 8). Na correlação da biomassa e a altura do dossel da forragem, a relação é linear (CARVALHO, P. C. F. et al, 2010), assim os mapas podem ser utilizados como ferramenta de manejo facilitando a visualização espacial do estado geral da pastagem. Em termos práticos, com

esta percepção visual da heterogeneidade da pastagem, o produtor tem uma visão espacial da área para tomada de decisão quanto a necessidade de movimentação do rebanho no sistema produtivo e/ou a ajustes na taxa de lotação (Unidade Animal por área).

Os mapeamentos coropléticos feitos na Unidade Experimental da Embrapa em Sete Lagoas mostraram as mudanças do dossel durante os períodos chuvosos e secos (Figura 7).

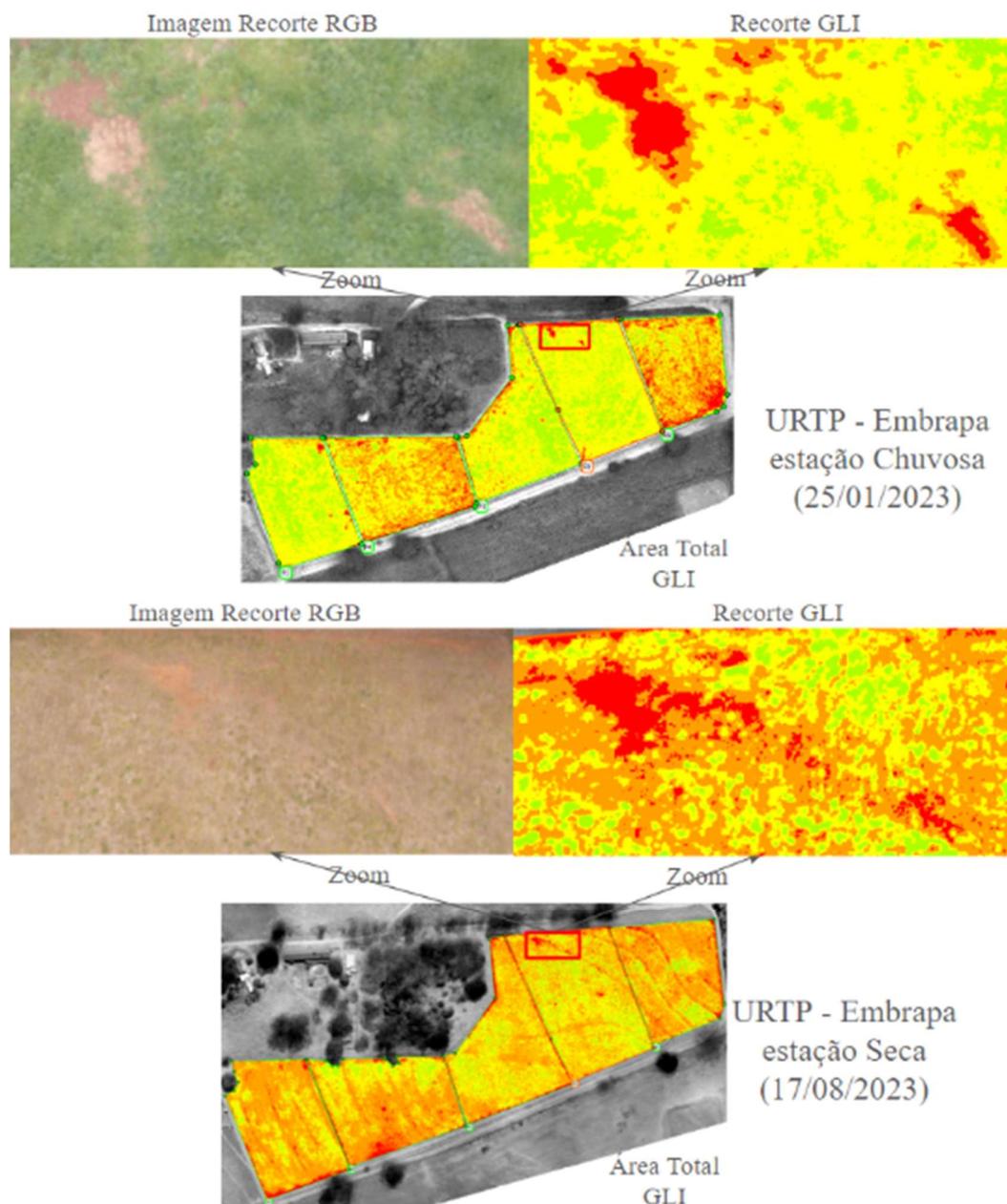


Figura 7 - Exemplo de áreas de solo exposto na pastagem mapa GLI nas estações chuvosa e seca URTP – Embrapa.

Os mosaicos também detectaram as áreas com falhas na pastagem e solo exposto na comparação a estações podemos perceber a mudança na pastagem e a diminuição da biomassa mapeada pelo GLI.

No Campus UFLA, onde o sistema de manejo é de pastejo contínuo, o mapeamento coroplético também registrou as áreas de solo exposto e/ou áreas de forragem baixa e seca (Figura 8), possibilitando avaliar um sistema diferente de manejo realizado da URTP - Embrapa.

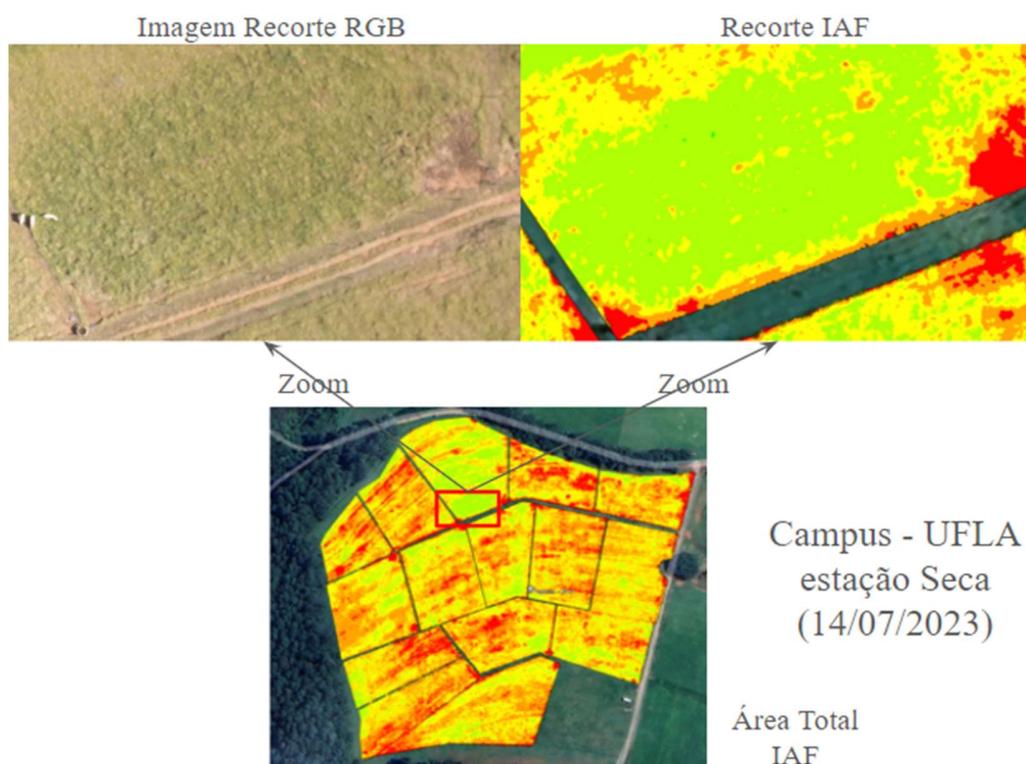


Figura 8 - Exemplo de áreas de solo exposto na pastagem IAF estação Seca área de estudo Campus - UFLA

A identificação de áreas onde a forrageira não está presente ou se apresenta com pouca capacidade de reflexão fotossintética qualifica o valor da altura média da forragem, possibilitando o cálculo de altura média ponderada por estrato.

5.2 Comparação do Mapeamento por Índices de vegetação

Na comparação de resultados entre os índices de vegetação IAF GLI e VARI foi testada a capacidade de estratificação das alturas médias ponderadas por piquete. A validação da

estratificação mostra se houve a diferenciação das alturas médias dentro de cada classe de cor. Seguindo a ordem crescente de cores para as classes os P valores menores que 0.01 significam a rejeição de hipótese nula de que não há diferença entre as médias (Tabela 2).

O uso prático dessa estratificação por classe está na possibilidade fornecer ao produtor a informação da altura média do dossel forrageiro através do mapeamento da forragem, acelerando a verificação da altura das pastagens. A melhor percepção da homogeneidade ou heterogeneidade da ocupação da forragem, ajuda na tomada de decisão do manejo com menor necessidade de mão de obra.

No estudo foi aplicado também a análise de regressão entre a altura estimada e a altura real para verificação da predição da altura média (Figuras 10, 11, e 12). Foram utilizadas todas as 260 observações nas áreas de estudo (200 amostras reais na URTP-Embrapa e 60 amostras reais Campus-UFLA).

5.2.1 Análise estatística sobre as amostras – Estratificação dos Índices de Vegetação IAF, GLI e VARI

Realizada a análise estatística dos dados para estratificação dos Índices de Vegetação podemos ver o resultado da diferenciação ou não das classes. Na URTP – Embrapa o Mapa 1 entre as classes Amarela/Verde com P valor IAF =0.7073, GLI = 0.6554, VARI = 0.9708 não houve diferença significativa nas alturas médias para todos os Índices de vegetação avaliados. O valor de altura média das entre as classes Amarela/Verde no Mapa 1 pode estar ligado a problemas na amostragem de altura média onde havia uma infestação da forrageira *Panicum maximum* cv, Mombaça, com altura muito superior a forragem do BRS-Piatã. Controlada a infestação, nos seguintes mapas 2 e 3 (URTP - Embrapa) as amostragens foram menos afetadas pela altura maior da forrageira invasora (Mombaça) e as classes foram estratificadas apresentando P valores menores que 0.01 (Tabela 2).

O mapa 5 realizado na área do Campus – UFLA, a estratificação não apresentou significância estatística para as classes de cores mais próximas, onde nas classes Amarelo/Laranja o P valor =0.3130, na Amarelo/Verde o P valor=0.1242 e nas Laranja/Vermelho o P valor=0.3319, para todos índices de vegetação estudados (Tabela 2). O resultado pode ser explicado devido ao estado da pastagem sob a condição de clima muito seco, que resultou no manejo de altura da forragem muito baixo. A altura do dossel forrageiro deve seguir critérios de altura recomendada para cada

cultivar de forragem, pois quando muito baixos podem contribuir para a degradação da pastagem (MACEDO, M. C. M., et al., 2013).

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO - IAF										
Cód. Mapa	Altura média				Estratificação das Classes - P valores					
	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Amar/Lar	Amar/Verd	Amar/verm	Lar/verd	Lar/verm	Verd/verm
1	0	19	49	51	<.0001	0,7073	<.0001	<.0001	0,0079	<.0001
2	2,8	20	47	59	<.0001	0,0225	<.0001	<.0001	0,0174	<.0001
3	6,5	22	41	57	0,0003	0,0027	<.0001	<.0001	0,0282	<.0001
4	2,2	21	42	57	<.0001	0,0038	<.0001	<.0001	0,0111	<.0001
5	5,3	10	15	23	0,3130	0,1242	0,0484	0,0112	0,3319	0,0005
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO - GLI										
Cód. Mapa	Altura média				Estratificação das Classes - P valores					
	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Amar/Lar	Amar/Verd	Amar/verm	Lar/verd	Lar/verm	Verd/verm
1	0	19	49	51	<.0001	0,6554	<.0001	0,0101	<.0001	<.0001
2	3	19	44	59	<.0001	0,0031	<.0001	<.0001	0,0427	<.0001
3	5,2	21	41	57	<.0001	0,0028	<.0001	<.0001	0,0046	<.0001
4	2,4	21	42	58	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,0089
5	3,4	10	15	23	0,3130	0,1242	0,0484	0,0112	0,3319	0,0005
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO - VARI										
Cód. Mapa	Altura média				Estratificação das Classes - P valores					
	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Amar/Lar	Amar/Verd	Amar/verm	Lar/verd	Lar/verm	Verd/verm
1	0	23	50	50	<.0001	0,9708	<.0001	0,0037	<.0001	<.0001
2	3	18	35	60	0,0060	<.0001	<.0001	<.0001	0,0788	<.0001
3	3,8	18	41	58	<.0001	0,0020	0,0015	<.0001	0,0282	<.0001
4	1,4	21	41	57	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,0059
5	3,5	10	15	24	0,3130	0,1242	0,0484	0,0112	0,3319	0,0005

Tabela 2 - Análise estatística para estratificação de alturas médias em classes de cores dos índices de vegetação IAF, GLI e VARI

O uso prático dessa estratificação por classe está na possibilidade fornecer ao produtor a informação da altura média do dossel forrageiro ponderado por valores percentuais de ocupação da área.

5.2.2 Análise dos Índices de Vegetação IAF, GLI e VARI para os mapas coropléticos

Os mapas coropléticos associados aos dados de altura média obtiveram boa assertividade na estratificação, possibilitando uma análise espacial dos piquetes e podendo ser utilizados para aprimorar a técnica de aproveitamento da forragem. É perceptível na comparação dos mapas coropléticos de índice de vegetação estudados, que o IAF apresentou a melhor estratificação (heterogeneidade de cores) dos dados de altura média (Figura 9).

A ocupação da forragem nos períodos secos e chuvosos na URTP - Embrapa e na seca para área da UFLA, mostram o estado geral dos pastos por piquete, e quando associado ao acompanhamento do pastejo do rebanho (pré-pastejo, em pastejo e pós-pastejo), podem aprimorar a estratégia de manejo. Utilizando de forma prática os mapas coropléticos na URTP Embrapa onde o acompanhamento da forragem retratou o período de transição da época chuvosa para a seca é possível inferir sob o estado geral da forragem por piquete. Esta pode ser aplicada na melhoria do aproveitamento da forragem e/ou evitar a degradação devido ao superpastejo.

No Campus UFLA com um único voo do VANT foi possível ver em todos os mapas IVs, quais os piquetes que apresentavam maior quantidade de biomassa disponível. A decisão de movimentação do rebanho ou uma alteração na taxa de lotação aplicada ao sistema de produção durante o período seco, pode ser um diferencial no manejo. A época seca é quando se precisa evitar a degradação da pastagem (Figura 9).

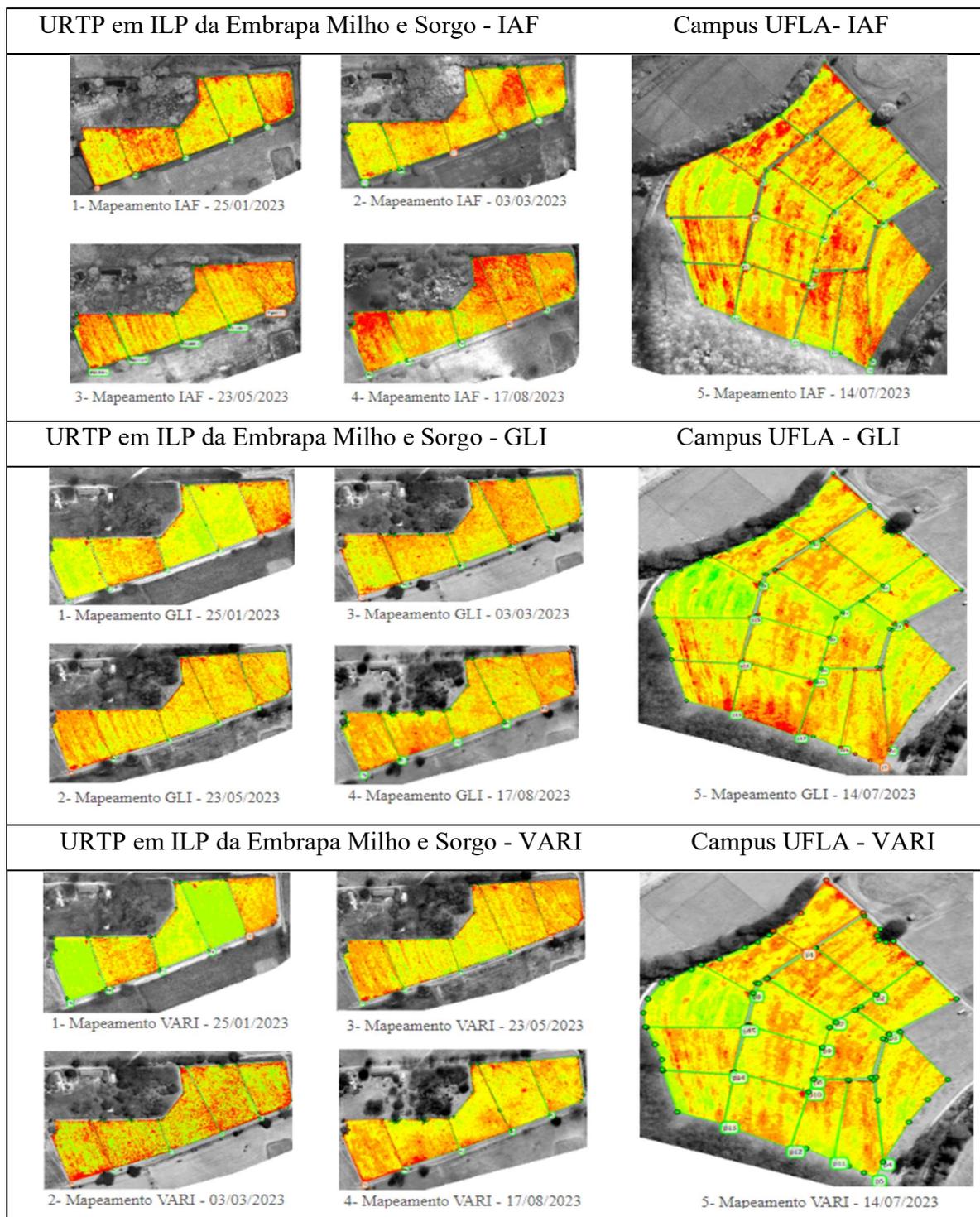


Figura 9 – Mapeamento IAF, GLI e VARI dos piquetes nas áreas avaliadas. 1 a 4 – URTP em ILP da Embrapa Milho e Sorgo e 5 – área do Campus UFLA.

5.2.3 Análise das Curvas de regressão linear para os Índices de Vegetação IAF, GLI e VARI

O gráfico (Figura 10) mostra os valores β_1 e β_0 com $P=0,522$ e $P=0,370$ respectivamente, assim em todos os piquetes medidos os valores das médias são iguais às médias ponderadas. O IV IAF conseguiu estimar a altura de forma precisa, sendo possível chegar na mesma altura estimada por medida direta.

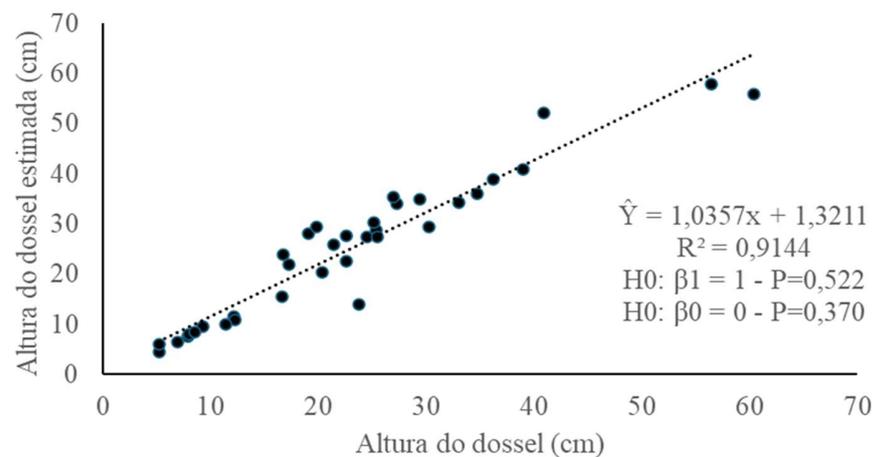


Figura 10 - Curva de regressão linear IAF - Altura Média estimada por piquete mediante uso de imagens de VANT.

No gráfico do GLI (Figura 11) observa-se que os valores β_1 e β_0 são respectivamente $P=0,132$ e $P=0,194$. O GLI conseguiu estimar a altura sendo possível chegar na mesma altura estimada por medida direta nas condições estudadas.

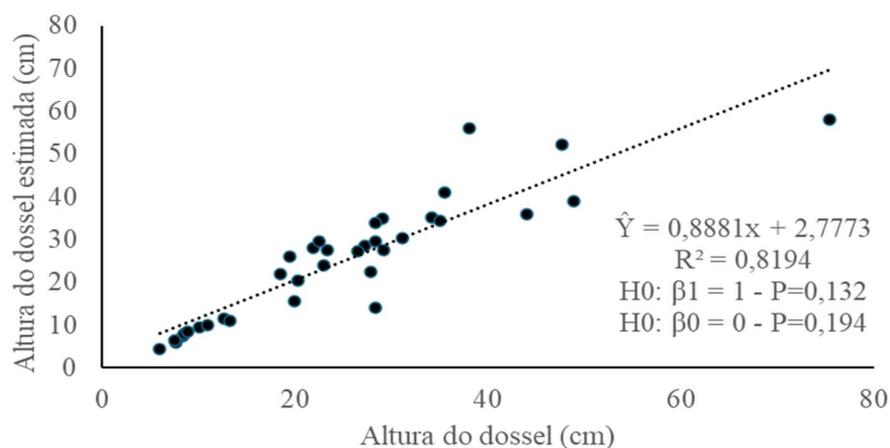


Figura 11 - Curva de regressão linear GLI - Altura Média estimada por piquete mediante uso de imagens de VANT.

Os valores de P para β_1 e β_0 os valores de P são inferiores a 0,10, mostrando que a média de altura real é diferente da média da altura estimada pelo VARI (Figura 12).

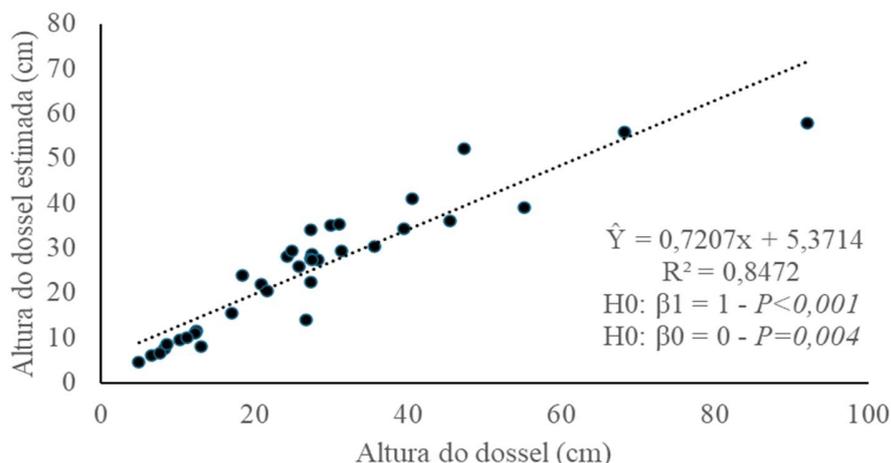


Figura 12 –Curva de regressão linear VARI -Altura Média estimada por piquete mediante uso de imagens de VANT.

5.3 Considerações Finais

A separação das classes de altura da pastagem nos IVs IAF, GLI e VARI, aplicado ao ILP na unidade experimental da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas - MG por meio do VANT foi satisfatória e estratificou a pastagem em todos os voos dos períodos testados.

No Campus UFLA em Lavras-MG a comparação da estratificação das classes foi mais prejudicada em todos os IVs testados devido ao manejo baixo da altura da pastagem. Assim, seriam necessários ajustes e mais voos contemplando o período chuvoso, pois, diante dos resultados podemos inferir que o mesmo está ligado a menor altura do dossel no período seco.

Nas amostragens de altura em campo, nos locais estudados (URTP-Embrapa e Campus – UFLA), foi utilizado apenas um aparelho celular (GNSS - Global Navigation Satellite System) com algum erro de precisão na marcação das coordenadas, desta forma o resultado geral de estratificação e predição das alturas do dossel da forrageira pode ser considerado muito satisfatório.

No mapeamento com VANT conseguimos verificar toda área do piquete, com predição com a amostra pela média ponderada e ocupação da forrageira em toda pastagem, identificando as áreas de solo exposto nos piquetes.

Nas condições estudadas, o mosaico com sensor multiespectral o índice de vegetação IAF mostrou, a maior eficiência na predição de altura das pastagens em média ponderada. O sensor RGB com GLI teve boa eficiência na estratificação de altura da pastagem com resultado estatístico próximo ao IAF. O mapeamento do VARI apresentou uma menor eficiência neste estudo quando comparado aos IVs IAF e GLI, no que se refere a predição de altura média ponderada e altura real. Desta forma, o mapeamento por meio de VANT, também indica a possibilidade de aplicação de VANTs com apenas um sensor RGB utilizando para mapeamento e estratificação o Índice de Vegetação GLI, com boa capacidade de predição da altura do dossel da pastagem. Os VANTs com sensores RGB são mais acessíveis, com valor até 20 vezes menor que VANTs com sensores multiespectrais.

A utilização de VANTs para o sensoriamento aplicado ao sistema de manejo com base na variável de altura, impacta nos custos, por meio da redução do número de amostras que o pecuarista deve realizar, possibilitando sua automação com economia de mão de obra para atividade.

6. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que os mapas de estratificação de alturas do dossel de forragem dos índices de vegetação IAF e GLI, por meio imagens do VANT processadas pelo software Pix4Dmapper, geraram a predição necessária da variável altura da pastagem para o manejo sistemas de produtivos, com a possibilidade de automação da atividade e vista para uma informação espacial do estado geral da pastagem.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. G., RODRIGUES, C. A. G., QUARTAROLI, C. F., FURTADO, A. L. S., BRUNINI, O.; SANCHES, I. D. - Estudo do índice de área foliar de pastagens em diferentes níveis de degradação com aplicação de imagens Landsat 5 - TM e dados de campo. Anais e Proceedings de eventos, Embrapa Territorial, 2010.
- BENARDI, A. C. de C. et. al., editores técnicos. Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar Brasília, DF: 596 p. ; ed. II. Embrapa, 2014.
- BOLFE, E. L, SANO, E.E., CAMPOS, S. K. editores técnicos. Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções - Potencialidade para expansão e diversificação agrícola sustentável do Cerrado – Capítulo 8 p. 229 a 258 Brasília, DF : Embrapa, 2020.
- BRAGA, G. J. Sequestro de Carbono em Pastagens Cultivadas. ISSN 2316-5146 Pesquisa & Tecnologia, vol. 7, n. 1, Jan-Jun 2010
- BRITO, B. N. de; BRITO, J. L. S. Mapeamento de qualidade em pastagens do Cerrado por meio de imagens Sentinel 2. Geografia Ensino & Pesquisa, 24, e44 2020. <https://doi.org/10.5902/2236499443352>.
- CARNEIRO, F. M.; MENEZES, P. C. de; ANGELI, F. C. E.; SILVA, R. P. da; Detecção Da Saturação Do Ndvi Por Meio Do Controle Estatístico De Qualidade. Avanços na produção de amendoim p. 161 a 170 Editora: Funep (2019).
- CARVALHO, F. A. N.; BARBOSA, F. A.; McDOWELL, L.R.; Nutrição de bovinos a pasto. PapelForm, 2. ed. 438 p. Belo Horizonte -MG, 2005.
- CARVALHO, P. C. F.; ROCHA, L. M.; BAGGIO, C.; MACARI, S.; KUNRATH, T. R.; ANÍBAL DE MORAES, A. Característica produtiva e estrutural de pastos mistos de aveia e azevém manejados em quatro alturas sob lotação contínua. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, n. 9, p. 1857- 1865, 2010

CASTRO JORGE L. A. e INAMASU R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. Embrapa Instrumentação, p. 26. São Carlos - SP, 2014.

CASTAN, M. C.; ZAPP, K. S.; BELLOMO, M.; SHI D.; REHAK, M.; STRECHA, C. - Assessment of the radiometric accuracy in a targetless workflow using pix4d software. Pix4D SA, EPFL Innovation Park - Building F, 1015 Lausanne, Switzerland, 2018.

FARIA, G, Dez erros para não cometer na ILPF - Espaço Temático Integração Lavoura Pecuária Floresta 15 de fevereiro de 2018. <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/busca-de-noticias/-/noticia/31857566/dez-erros-para-nao-cometer-na-ilpf>

FREIRE-SILVA, J.et. al.Remote Sensing vegetation index for processing images in the visible band (RGB), Journal of Hyperspectral Remote Sensing v.9, n. 4, p 228-239, 2019.

GENRO, T. C. M. e SILVEIRA, M. C. T. Uso da altura para ajuste de carga em pastagens. COMUNICADO TÉCNICO 101, Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS, Dezembro, 2018.

GIRARDI, E. P. Proposição de uma cartografia geográfica crítica e sua aplicação no desenvolvimento do atlas da questão agrária brasileira. FCT, UNESP – Campus de Presidente Prudente, 2008;

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment p. 295 - 309 agosto de 1988.

LIU, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007.

LOUHAICHI, M. et. al. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat, Geocarto International, Vol. 16, No. 1, March 2001.

LAPIG-UFG/WWF-BRASIL - Reabilitação de Áreas Degradadas. Estudo Qualidade e aptidão agrícola das áreas de pastagens no Bioma Cerrado v. 1, 57 p. Goiânia-GO - dezembro de 2021.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A.H.; ALMEIDA, R. G. de; ARAÚJO, A. R. de. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. n: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA - TEC - FÉRTIL, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. Anais... Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181.

NASCIMENTO, D. M. do. Desenvolvimento de um sistema de estimativa de biomassa vegetal através de sensores remotos para o semiárido pernambucano. 72 f.: il. Recife - PE, 2019.

PINTO, D. G.; VICARI, M. B.; FONTANA, D. C.; DALMAGO, G. A.; CUNHA, G. R.da; GOUVÊA, J. A. de; MENGUE, V.; SAMUEL KOVALESKI, S.; ELIZANDRO FOCHEATO, E.; ANDERSON SANTI. A.; Índices De Vegetação Ndvi E Evi, Iaf E Fpar Da Canola A Partir De Imagens Do Satélite Modis. 1º Simpósio Latino Americano de Cànula. Passo Fundo, RS. 19 a 21 de agosto de 2014.

PINTO, L. V. A.; BOTELHO, S. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; DAVIDE, A. C. 2004.Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 65, p.197-206.

RAMOS, A. P. M.; JUNIOR, J. M.; DECANINI, M. M. S.; PUGLIESI, E. A.; OLIVEIRA, R. F. de; FILHO, A. C. P. Avaliação Qualitativa e Quantitativa de Métodos e Classificação de Dados para o Mapeamento Coroplético. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 68, n. 3, 2016. DOI: 10.14393/rbcv68n3-44418. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44418>.

SÁ JÚNIOR, A. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/-Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. Sigmaplot - Exact Graphy for Exact Science. Version 11.0, 2008.

SALMAN, A. K. D., SOARES J. P. G. e CANESIN R. C. Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens, Circular Técnica 84 Embrapa, p.6.- Porto Velho - RO, 2006.

SANO, E. E. et al. Dinâmica do uso das terras no Cerrado no período de 2002 a 2013. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 54, p. 1-5, apr. 2019.

SILVEIRA, M.C.T. da; ALMEIDA, P.H.A. de; ANDRADE, C.V.P. de A. ; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. de ; BREMM, C. ; SANTOS, F.C. dos, Aprendizado da máquina com base na resposta espectral de imagens aéreas iniciadas por VANTs e aplicadas no gerenciamento de pastagens. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 51 - Embrapa Pecuária Sul, 61 p., dezembro de 2022.

TRINDADE, E. G. B. O que é GSD No Mapeamento Aéreo Com Drones? Geosense Engenharia e Geotecnologia - Drones e Fotogrametria 15 de setembro 2022 <https://geosense.net.br/2022/09/15/o-que-e-gsd-no-mapeamento-aereo-com-drones/>

VIANA, S. W. S., GIRÃO, L. N. S., BENDAHAN A. B. e FREITAS, V. de. Análise Visual de índices de vegetação utilizando imagens RGB para classificação de áreas de pastagem com presença de plantas invasoras, Universidade Federal de Roraima, Anais e Proceedings de eventos, p. 71-74, Embrapa Roraima 2020.

ANEXO I



Sensefly eBee SQ



Figura 13: VANT, Sensor multiespectral Sequoia e software de planejamento de voo Emotion Ag Sensefly.