



USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP) NA ESTIMATIVA DE ALTURA, COBERTURA E MASSA DE FORRAGEM DE *Urochloa Ruziziensis*

Ricardo Guimarães Andrade^{1*}, Marcos Cicarini Hott¹, Walter Coelho Pereira de Magalhães Junior¹, Domingos Sávio Campos Paciullo¹, Carlos Augusto de Miranda Gomide¹, Wadson Sebastião Duarte da Rocha¹

¹ Embrapa Gado de Leite - CNPGL/EMBRAPA, Rua Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, Juiz de Fora - MG, CEP: 36038-330, Brasil

*Autor Correspondente: Ricardo Guimarães Andrade, ricardo.andrade@embrapa.br

RESUMO: Há um crescente interesse no uso de Aeronaves Remotamente Pilotada (ARP) para monitorar o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, o presente estudo objetivou o uso da plataforma ARP e técnicas de geoprocessamento, para estimar altura, vigor/cobertura e produção de massa de forragem de *Urochloa ruziziensis* cvs. Kennedy e BRS Integra. A altura das plantas foi estimada a partir de técnicas de geoprocessamento aplicadas nas imagens captadas pelo sensor RGB e os índices de vegetação (NDVI e NDRE) foram gerados a partir das imagens captadas pelo sensor multiespectral. Os índices possibilitaram avaliar o vigor e a produção de massa das cultivares. Os índices apresentaram bom desempenho e foram sensíveis na discriminação de classes em intervalos que indicam desde a exposição do solo e estresses por infestação de pragas (baixo vigor) até as condições em que a vegetação apresenta bom desenvolvimento, em intervalos de classes com elevados índices de vegetação. Além disso, ao relacionar o NDVI com os dados amostrais coletados em campo, foi possível gerar um modelo de regressão linear ($R^2 = 0,95$) capaz de estimar a massa de forragem de *Urochloa ruziziensis*. De forma geral, as técnicas aplicadas se mostraram promissora para avaliar características agronômicas das plantas.

PALAVRAS CHAVE: geotecnologias, sensoriamento remoto, pastagem de precisão, parâmetros biofísicos, características agronômicas.

USE OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPA) IN ESTIMATING HEIGHT, COVERAGE AND FORAGING MASS OF *Urochloa ruziziensis*

ABSTRACT: There is a growing interest in the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA) to monitor plant growth and development. In this context, the present study aimed to use the ARP platform and geoprocessing techniques to estimate height, vigor and forage mass production of *Urochloa ruziziensis* cvs. Kennedy and BRS Integra. The height of the plants was estimated from geoprocessing techniques applied to the images captured by the RGB sensor and the vegetation indices (NDVI and NDRE) were generated from the images captured by the multispectral sensor. The indices made it possible to evaluate the vigor and mass production of the cultivars. The indices performed well and were sensitive in discriminating classes in intervals that indicate from soil exposure and stress due to pest infestation (low vigor) to conditions in which the vegetation presents good development, in intervals of classes with high indices of vegetation. Furthermore, by relating the NDVI with the sample data collected in the field, it was possible to generate a linear regression model ($R^2 = 0.95$) capable of estimating the forage mass of *Urochloa ruziziensis*. In general, the techniques applied proved to be promising to evaluate the agronomic characteristics of plants.

KEYWORDS: geotechnologies; remote sensing; precision pasture; biophysical parameters; agronomic characteristics.

Aceito para publicação em 12/09/2024

Publicado em: 11/12/2024

INTRODUÇÃO

A partir de uma constante sucessão de novas tecnologias, softwares, equipamentos e métodos, a transformação digital, que vivenciamos nos dias de hoje, pode impactar positivamente a área de pesquisa e o setor produtivo agropecuário. No meio agrícola, essa nova mentalidade digital, preconizada pela Agricultura 4.0 (De Clercq et al., 2018), é capaz de proporcionar melhorias de processos com redução de custos e de tempo de execução. No contexto da agricultura de precisão, a capacidade de estimar a altura (Franco et al., 2022), o vigor (Andrade et al., 2021; Hott et al., 2021) e a produtividade das pastagens (Andrade et al., 2019a; Ferreira et al., 2022), auxilia pesquisadores, técnicos e agricultores a tomarem decisões assertivas e a fazerem os devidos planejamentos de suas atividades.

A caracterização e o monitoramento de pastagens são geralmente baseados em medições de campo, que podem ser onerosas e trabalhosas em larga escala. As técnicas de sensoriamento remoto vêm contribuindo para auxiliar nessas estimativas (Cohen et al., 2017; Ballesteros et al., 2018; Andrade et al., 2019a; Andrade et al., 2019b; Lopes et al., 2020), reduzindo o tempo de avaliação e ao mesmo tempo ampliando e detalhando as áreas avaliadas. As plataformas VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), popularmente conhecida como drone, possibilitam aerotransportar sensores capazes de gerar dados e informações detalhadas de uma determinada área de interesse em altíssima resolução espaço-temporal.

Os rápidos avanços na tecnologia resultaram no aumento da acessibilidade e no uso de sensores multiespectrais leves para uma variedade de aplicações científicas (Assmann et al., 2019; Barbosa et al., 2016; Barbosa et al., 2019; Ferreira et al., 2022). Por meio dos ARPs, produtos como ortomosaicos e mapas digitais georreferenciados, produzidos com precisão centimétrica, podem ser utilizados para o monitoramento e mapeamento das condições da vegetação, em análises como:

detalhamento da condição de vigor, acúmulo de biomassa, estresse hídrico, contagem de plantas, contabilização das falhas de plantio, análise de cobertura do dossel, etc.

A tecnologia de sensoriamento remoto por ARP permite aferir com precisão a altura e o vigor das plantas para qualquer porção ou parte desejada da pastagem (touceira, parte do piquete ou toda a área plantada). Adicionalmente, modelos de cunho estatístico-matemático podem ser gerados a partir das imagens aéreas da pastagem, visando oferecer uma estimativa automatizada da massa de forragem, de forma não destrutiva, propiciando significativa economia de tempo, redução de despesas e maior agilidade nas tomadas de decisão.

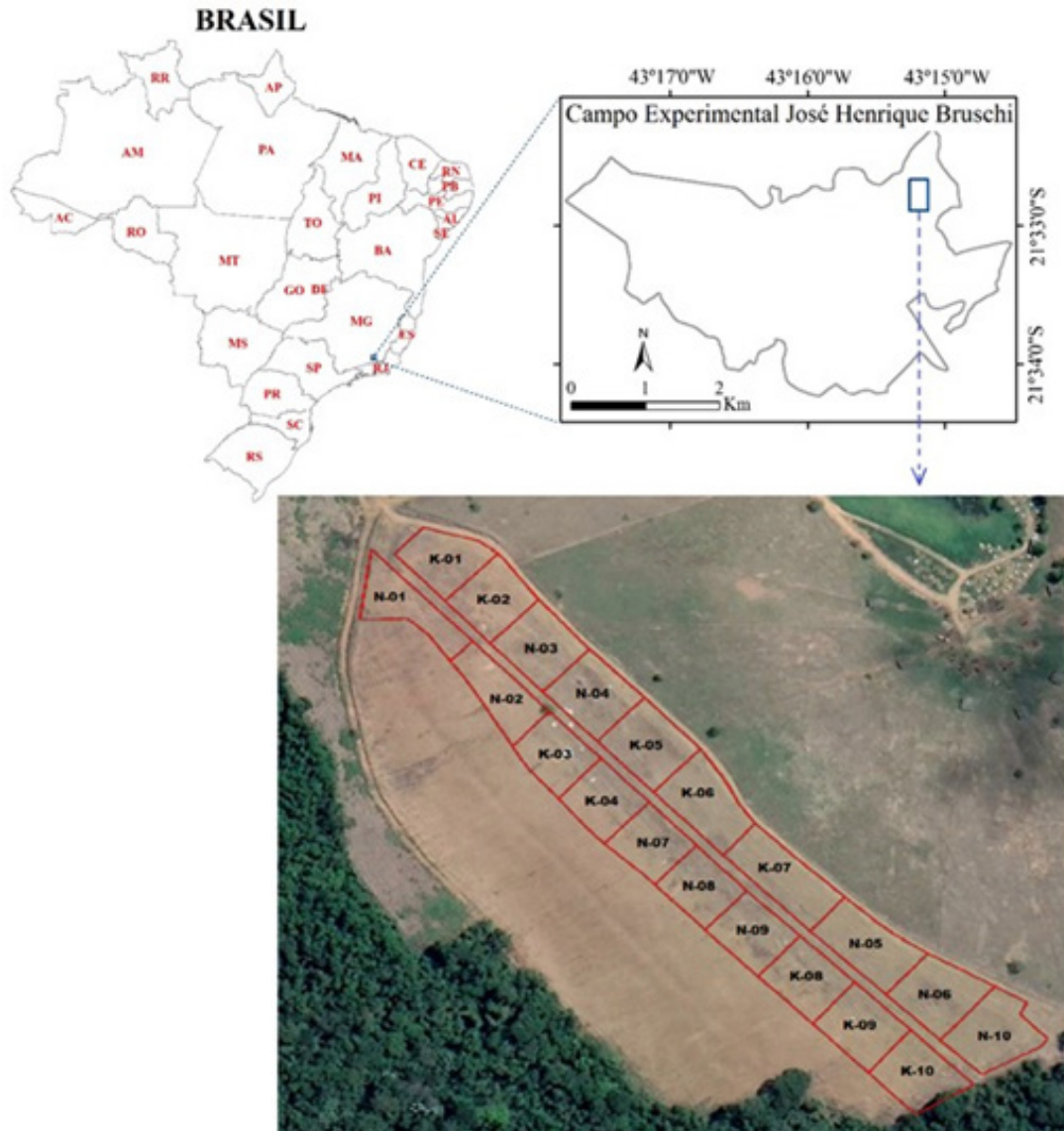
A expansão das áreas de integração lavoura-pecuária tem contribuído para a recuperação de áreas de pastagens (Macedo e Araújo, 2012; Croplife Brasil, 2022; MAPA, 2023). Este sistema tem como base a produção de palhada para o plantio direto com o uso de gramíneas forrageiras. Dentre essas, a *Urochloa ruziziensis* é reconhecida como ótima opção para formação de palhada em sistemas de integração lavoura-pecuária, além de ser a de melhor valor nutricional (Paciullo et al., 2021).

Diante do exposto, objetivou-se o uso da plataforma ARP associada a técnicas computacionais, para estimar as características agrônômicas de altura, cobertura e massa de forragem em pastagens de *Urochloa ruziziensis* cvs. Kennedy e BRS Integra, manejadas com vacas em lactação, segundo o método de lotação rotativa.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Campo Experimental José Henrique Bruschi (CEJHB), em Coronel Pacheco-MG, em área de 5,88 ha, perímetro de 1,18 km e altitude média de 439 m. A área do experimento possui altitude entre 424 e 465 m e latossolo amarelo distrófico de textura argilosa. Na Figura 1 visualiza-se a delimitação das parcelas experimentais.

Figura 1. Localização das parcelas experimentais no Campo Experimental José Henrique Bruschi (CEJHB), Coronel Pacheco, MG. Piquetes identificados com N se referem ao plantio de *Urochloa ruziziensis* de cultivar BRS Integra e piquetes identificados com K se referem ao plantio de *Urochloa ruziziensis* de cultivar Kennedy.



De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o município de Coronel Pacheco, MG, situa-se em uma zona de transição de classificação climática Aw (clima tropical com estação seca de inverno) e Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente). No entanto, há predominância da classe Cwa para a região do município onde se encontra instalada a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Com base nas normais climatológicas do INMET para o período de 1981 a 2010, a média anual de temperatura do ar é de 21,4°C e a precipitação anual média é de 1620,6 mm. Os meses de julho (12,6 mm) e janeiro (355,1 mm) são os de menor e maior precipitação acumulada, respectivamente.

O experimento foi desenvolvido com as cultivares Kennedy e BRS Integra de *Urochloa ruziziensis*, submetidas ao pastejo regular de vacas lactantes. O solo foi preparado por meio de aração e gradagem. Efetuou-se a calagem para elevação do nível de saturação de bases do solo para 40%. O plantio das forrageiras foi realizado em dezembro de 2016, por meio da semeadura de 3,5 kg de sementes puras viáveis por hectare. Realizou-se a adubação fosfata, no sulco de plantio, na dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, usando-se como fonte o superfosfato simples. O primeiro pastejo ocorreu após 50 dias do plantio, com novilhas leiteiras de peso corporal médio de 250 kg. A área foi dividida em 20 piquetes de

aproximadamente 1.350 m² cada, sendo 10 piquetes para cada cultivar.

Durante o período de avaliação, efetuou-se o pastejo por vacas Holandês x Zebu em lactação, segundo o método de lotação rotativa. O período de ocupação foi de dois dias e o período de descanso do piquete correspondeu ao tempo necessário para que o dossel forrageiro alcançasse a altura de 50 cm, o que representou durante a época chuvosa, em média, 18 dias. A adubação com nitrogênio e potássio foi realizada a cada ciclo de pastejo, com dose de 30 kg ha⁻¹ de N e K₂O, perfazendo um total de 180 kg de cada nutriente ao longo de seis ciclos de pastejo. Estimou-se o acúmulo de forragem a cada ciclo de pastejo, segundo metodologia proposta por Davies et al. (1993).

As atividades de mapeamento aéreo ou aerolevantamento foram executadas por um ARP de asas rotativas, modelo Inspire 1 Pro, que permite o intercâmbio de câmeras equipadas com sensores RGB e multiespectrais de alta precisão (Rauber et al., 2018). Foi utilizada uma câmera RGB, modelo DJI Zenmuse X5 (16 MP e CMOS 4/3”), para imageamento das pastagens nas faixas do espectro eletromagnético do visível (*Red-Green-Blue*) e uma câmera multiespectral, modelo Sentra Multispectral Double 4K Gimbaled, para imageamento na faixa da borda do vermelho (*Red Edge*) e do infravermelho próximo (*Near Infrared - NIR*).

Apartir do sensor RGB foi possível gerar ortomosaicos, Modelos Digitais de Elevação (Superfície e Terreno), identificar falhas de plantio e estimar a altura das plantas. Por outro lado, o sensor multiespectral foi utilizado nas avaliações qualitativas da pastagem, particularmente, realizadas por meio de índices de vegetação que operam na faixa do visível, da borda do vermelho e do infravermelho próximo, a saber: avaliações do vigor ou cobertura das plantas com identificação de áreas saudáveis ou estressadas e massa de forragem na pastagem.

Os aerolevantamentos foram realizados de forma padronizada, a fim de que os mapas

e produtos georreferenciados pudessem ser comparados em bases semelhantes. As seguintes variáveis técnicas foram padronizadas: altura do voo, tamanho do pixel das imagens (*Ground Sample Distance - GSD*), calibração dos sensores RGB e multiespectrais, velocidade da aeronave e o percentual de sobreposição das imagens.

No momento dos voos, as seguintes variáveis ambientais foram observadas: velocidade dos ventos, grau de luminosidade, temperatura, posicionamento das sombras, hora do dia, estágio de desenvolvimento do dossel, ângulo de inclinação do dossel e posicionamento do sol. Os aerolevantamentos foram realizados em 14 de novembro de 2018 e 06 de maio de 2019.

O plano de voo foi parametrizado da seguinte forma: (i) altura de voo de 90 m; GSD de 2,60 cm; velocidade máxima de 4,5 m/s, tempo de voo de 20 minutos no uso de duas baterias; imagens com sobreposição lateral e frontal de 75%. Com base nessa configuração de plano de voo, foram necessárias 18 linhas de voo e 229 imagens para cobrir toda a área e, posteriormente, gerar o ortomosaico.

De posse dos dados coletados pelos sensores a bordo da plataforma ARP foi possível gerar os índices de vegetação NDRE e NDVI para avaliar a cobertura e a massa de forragem de *Urochloa ruziziensis*. O NDRE (*Normalized Difference Red Edge*) e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) podem ser obtidos por meio das equações:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

$$NDRE = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RedEdge}}{\rho_{NIR} + \rho_{RedEdge}} \quad (2)$$

Em que, ρ_{Red} , $\rho_{RedEdge}$ e ρ_{NIR} são as bandas espectrais referentes aos canais do vermelho (*Red*), borda do vermelho (*Red Edge*) e infravermelho próximo (*NIR*), respectivamente.

O cálculo da massa de forragem foi realizado com base nas estimativas de massas

de forragem verde e seca. Para tanto, aplicou-se o método tradicional do corte e os índices de vegetação. No método tradicional de campo foram coletadas amostras das plantas, a partir de áreas previamente selecionadas, que representaram uma média da condição da vegetação no piquete. Nesse processo, foram usados quadros de 0,25 m² (0,5 x 0,5m). A seleção de áreas para coleta de amostras foi realizada com base em uma análise empírica das condições da pastagem e na aferição da altura das plantas realizada com auxílio de uma régua graduada em centímetros em 40 pontos aleatórios no piquete. As amostras foram coletadas quando a altura média da vegetação alcançou 50 cm (altura de manejo recomendada).

Para estimar a massa total de forragem no pré-pastejo, efetuou-se o corte rente ao solo de toda a vegetação contida no quadro amostral. As amostras coletadas foram identificadas e pesadas individualmente para estimativa do peso verde da amostra (PVA). Em seguida, determinou-se o percentual de matéria seca das amostras a partir da secagem em estufa a 55°C por um período mínimo de 72 horas. Após a pesagem das

amostras secas calculou-se o percentual de matéria seca da forragem.

Os valores de massa de forragem obtidos pelo método tradicional foram relacionados aos dados obtidos por meio de sensores a bordo de plataforma ARP, visando a elaboração de um modelo de regressão capaz prever, de forma não destrutiva, a massa de forragem de *Urochloa ruzizensis*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas de altura do dossel de *Urochloa ruzizensis* foram realizadas por meio de análises que consideram a associação de um modelo altimétrico de alta precisão, ao recorte do ortomosaico da área desejada. Como exemplo, as Figuras 2, 3 e 4, ilustram estimativas para o piquete N-01 da cultivar BRS Integra, com base nos resultados apresentados por perfis altimétricos das áreas com alta (Figura 2), média (Figura 3) e baixa (Figura 4) densidade de plantas. Os perfis altimétricos foram construídos a partir dos modelos digitais de elevação (MDT e MDS). Observe-se que o método apresentou bom desempenho na estimativa da altura do dossel sob diferentes condições de desenvolvimento da pastagem.

Figura 2. BRS Integra: Área ao norte do piquete N-01 em falsa cor. A linha amarela possibilita visão do perfil de direção NW-Centro, conforme destacado acima. Nota-se alta cobertura de plantas e altura média do dossel entre 70 e 80 cm.

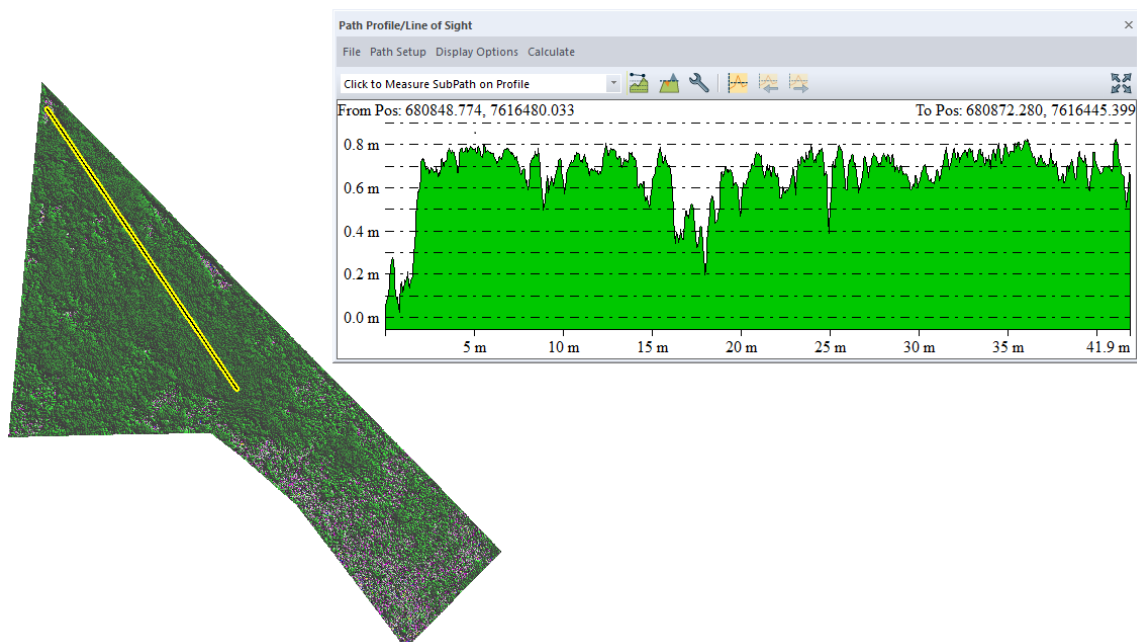


Figura 3. BRS Integra: Área ao sul do piquete N-01 em falsa cor. A linha amarela na porção sul superior possibilita visão do perfil de direção NW-SE, conforme destacado acima. Nota-se média cobertura de plantas com grandes bolsões de solo exposto e altura do dossel entre 10 e 60 cm.

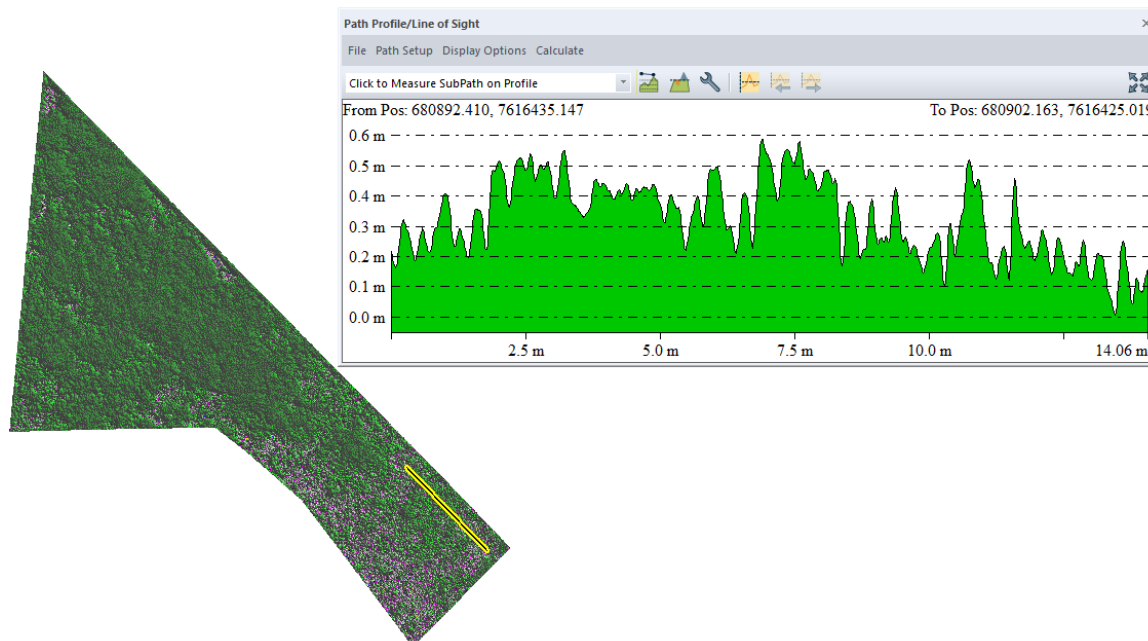
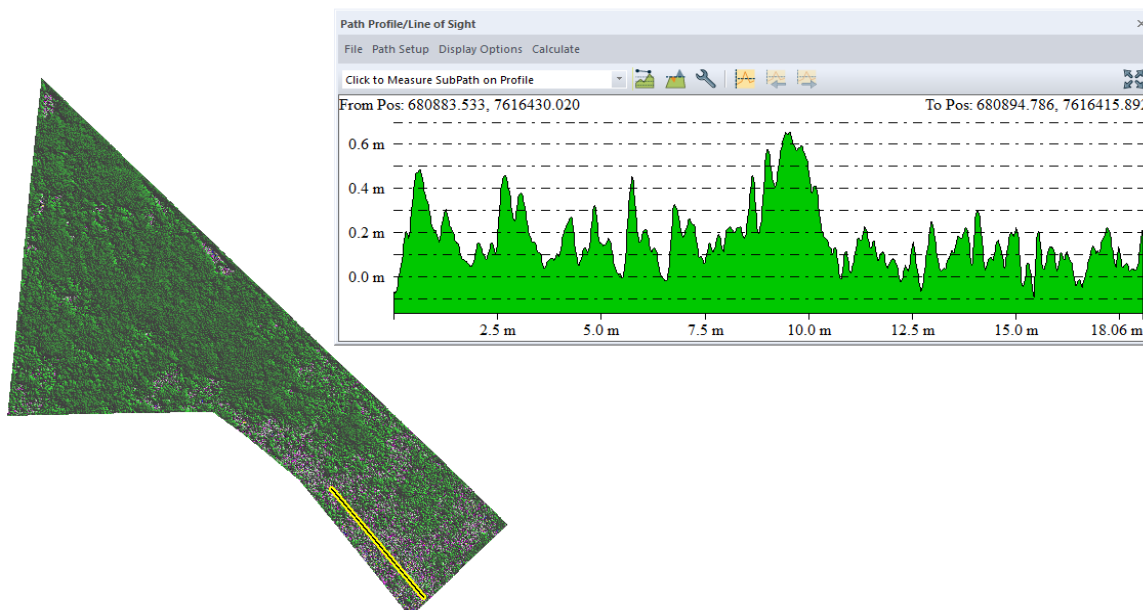


Figura 4. BRS Integra: Área ao sul do piquete N-01 em falsa cor. A linha amarela na porção sul inferior possibilita visão do perfil de direção NW-SE, conforme destacado acima. Nota-se baixa cobertura de plantas e alta prevalência de solo exposto e altura do dossel ao redor de 20 cm.



De acordo com Salman et al. (2006) tem sido muito praticado o uso de régua graduada para determinar a altura do pasto no piquete. Ao identificar a altura do pasto e associá-la a altura ótima de manejo pode-se tomar a decisão de quando os animais deverão entrar ou sair do piquete. Nesse caso, o método de identificação da altura por meio do uso de plataforma ARP tem por vantagem a análise espaço-temporal do pasto no

piquete, ou seja, possibilita analisar a uniformidade do dossel e estimar a altura e o volume da massa de forragem de forma mais precisa.

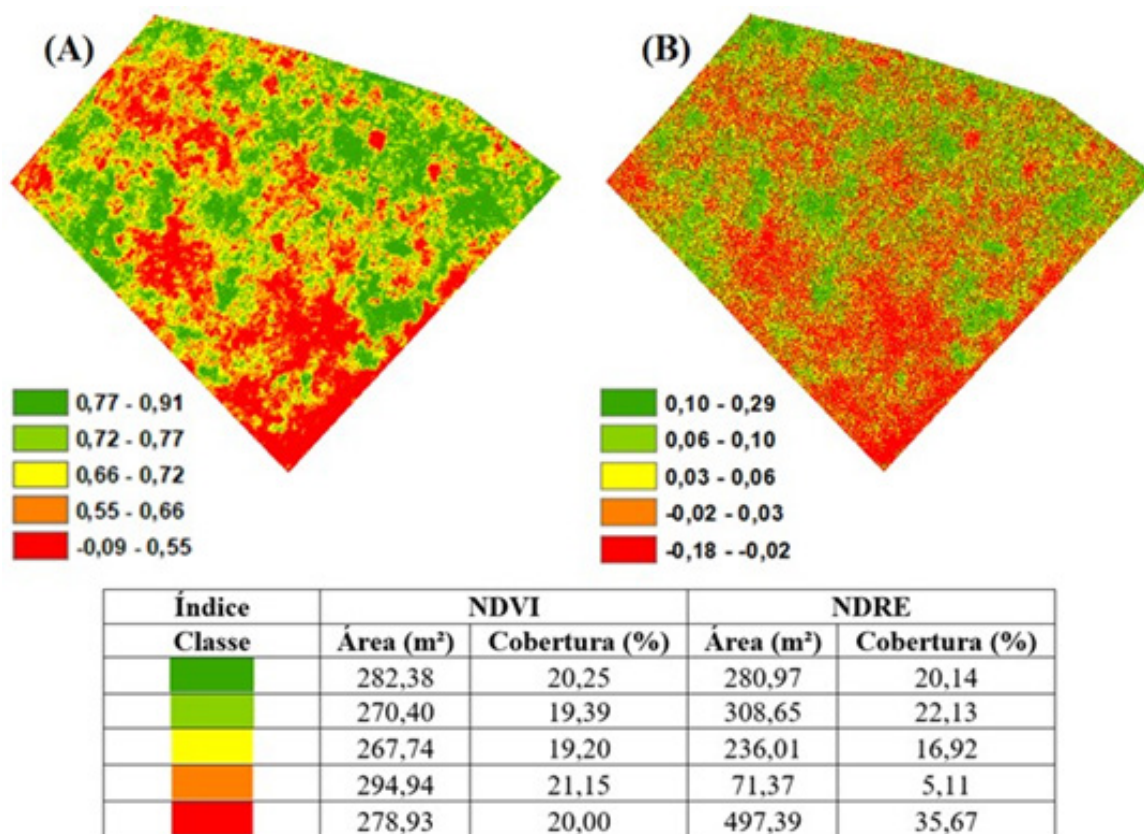
Em sistemas de pastejo rotativo a régua de manejo é usada para controlar a altura de entrada e saída dos animais do piquete. Além disso, auxilia no estabelecimento da taxa de lotação do piquete. Conforme Costa e Queiroz (2017) a taxa de lotação mais adequada será

aquela permitir o consumo de toda a forragem entre a altura de entrada e a altura de saída num período de 1 a 7 dias. O método de estimativa da altura por meio do uso da plataforma ARP pode gerar estimativas mais precisas ao explicitar a heterogeneidade da altura do pasto ao longo do perfil dado por um transecto (Figuras 2, 3 e 4).

Entre as diferentes formas existentes para avaliação da produtividade de uma cultura, pode-se utilizar a contagem dos perfilhos existentes, a cobertura do dossel e a massa de forragem, dentre outros. Neste estudo foram utilizadas avaliações de cobertura do dossel e da massa de forragem de *Urochloa ruziziensis*, cultivares Kennedy e BRS Integra.

Na Figura 5 visualizam-se os mapas dos índices de vegetação (NDVI e NDRE) e os intervalos de classes dos índices de vegetação, que possibilitaram maior nível de detalhamento de vigor/cobertura do dossel. Ressalta-se que no piquete K-01 ocorreu ataque das cigarrinhas das pastagens (*Deois flavopicta*), detectado por meio das imagens geradas no aerolevanteamento do dia 14 de novembro de 2018. Na área do piquete, a cobertura média predominante foi representada pela vegetação das classes em tons de verde e amarelo (NDVI: 58,84%, NDRE: 59,19%). Além disso, foram observadas áreas com pouca vegetação e presença de solo exposto, conforme as classes laranja e vermelha (NDVI: 41,15%, NDRE: 40,78%).

Figura 5. Índices de vegetação NDVI (A) e NDRE (B). Cultivar Kennedy: Recorte do piquete K-01. Aerolevanteamento realizado em 14 de novembro de 2018. Estimativa da área (m²) e da cobertura vegetal (%) a partir dos índices de vegetação NDVI e NDRE.



Os intervalos de classes de vigor/cobertura indicam a heterogeneidade espaço-temporal de desenvolvimento da vegetação. Fatores como condições hídricas, pastejo, constituintes químicos e físicos do solo e, principalmente, ataques das cigarrinhas das pastagens, podem ter influenciado nessa heterogeneidade. Nesse caso, os resultados

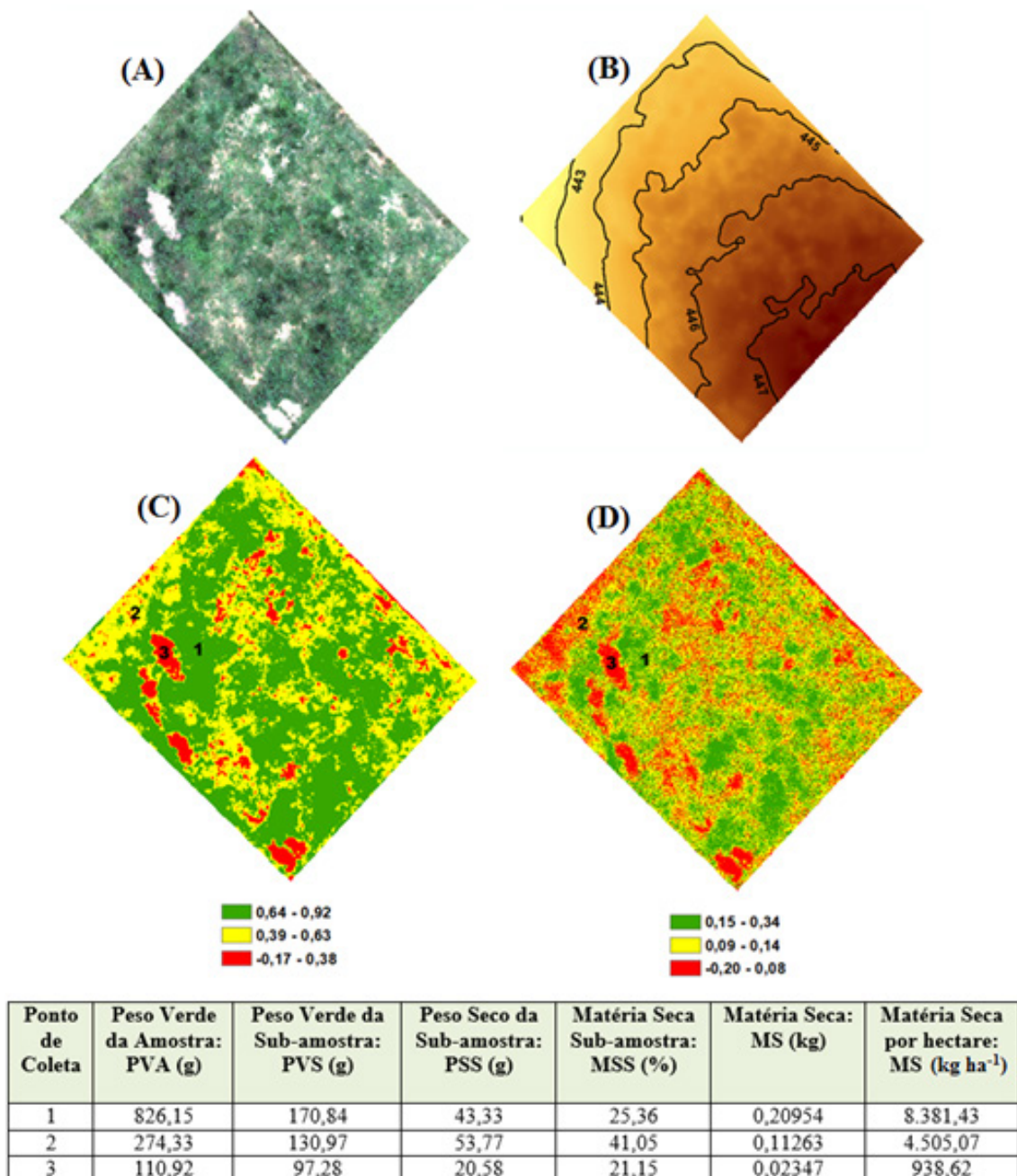
obtidos reforçam o potencial de aplicação dos índices de vegetação na identificação de áreas da pastagem que apresentam desenvolvimento dentro da normalidade ou com alguma deficiência. De acordo com Hunt Jr. et al. (2013), os índices de vegetação possuem fundamental aplicação na extração de informações a partir dos dados de sensoriamento remoto, porém, estes métodos

podem reduzir, mas não eliminar, os efeitos dos solos, da topografia e do ângulo de visada.

No método alternativo por índices de vegetação, inicialmente torna-se necessário observar na própria imagem os pixels que representam as áreas de pastagem com diferentes potenciais de produção de massa de forragem, neste experimento classificadas de forma decrescente em tons de verde, amarelo e vermelho (Figura 6). Após a identificação de tais áreas, foram coletadas amostras da pastagem e estimou

a produção de matéria verde e seca pelo método tradicional, sempre no momento da entrada dos animais no piquete. Assim, a Figura 6 apresenta um exemplo da adoção deste procedimento no piquete N-03 do cultivar BRS-Integra. Na Figura 6A tem-se o ortomosaico em falsa cor e na Figura 6B o MDT com curvas de nível de 1 em 1 metro. Já os índices de vegetação NDVI e NDRE podem ser visualizados nas Figuras 6C e 6D, respectivamente. Observa-se plantas com altura irregular, áreas com pouca vegetação e presença de solo exposto.

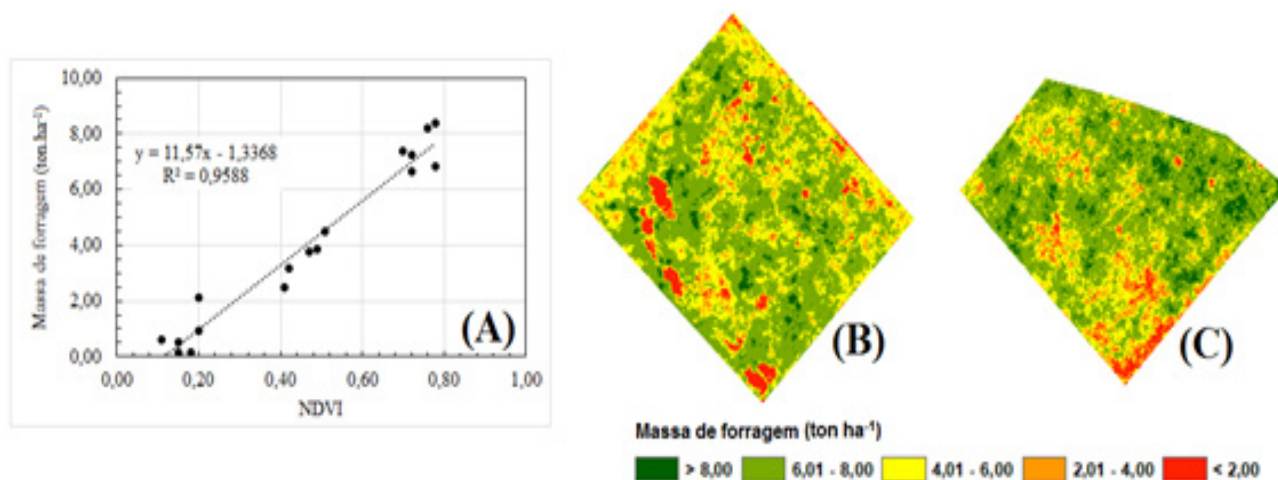
Figura 6. Visualização do ortomosaico em falsa cor (A), MDT com curvas de nível de 1 em 1 metro (B), NDVI (C) e NDRE (D) para a área do piquete N-03 com cultivar BRS-Integra. Nas Figuras 6C e 6D também mostra a indicação dos locais (1, 2 e 3) para coleta de amostras e aferição da massa de forragem pelo método tradicional de campo, de acordo com as classes dos índices de vegetação. Aerolevanteamento realizado em 06 de maio de 2019.



Para a área de estudo como um todo, a massa de forragem acima do solo foi estimada ao relacionar o NDVI com os dados amostrais coletados em campo. Para tanto, utilizou-se da equação de regressão apresentada na Figura 7A. Os mapas das estimativas de biomassa por meio das imagens ARP e dados de campo podem ser visualizadas nas Figuras 7B e 7C. Nota-se que em áreas com exposição de solo ou de ataque de cigarrinhas das pastagens (*Deois*

flavopicta), a biomassa foi menor que 2,0 ton ha⁻¹ (cor vermelha). Por outro lado, valores de biomassa acima de 6,0 ton ha⁻¹ (tons de verde) indicam bom desenvolvimento da vegetação ou sem estresse por ataques de pragas. Na Figura 7A visualiza-se a elevada associação entre os valores de massa de forragem obtidos pelo corte e o índice NDVI, o que é confirmado pelo alto coeficiente de regressão obtido ($R^2 = 0,95$).

Figura 7. Regressão linear entre os dados de massa de forragem e o NDVI obtido nas áreas de pastagens de *Urochloa ruziziensis* - Kennedy cv. e BRS Integra cv. (A), mapas das estimativas de massa de forragem para as cultivares BRS Integra - piquete N-03 (B) e Kennedy - piquete K-01 (C).



A conversão da gramínea em produto animal (carne e leite) dita a eficiência do sistema de produção animal (Hodgson, 1990). Assim, torna-se fundamental compreender a relação entre estrutura do pasto e a forragem produzida e consumida no pastejo dos animais visando técnicas de manejo mais racionais e sustentáveis (Gonçalves et al., 2009; Silva Neto et al., 2016). Os resultados das estimativas de altura, vigor/cobertura e massa de forragem de *Urochloa ruziziensis* reforçam o potencial de aplicação dos sensores embarcados em plataformas ARP como instrumento auxiliar de precisão para avaliação de características agrônômicas do pasto e de ajuste da taxa de lotação.

O uso de recursos computacionais e espectrais derivados de dados de imagem obtidas por ARP, com sensores de RGB e multiespectral, é uma abordagem não destrutiva cuja aplicação se mostrou promissora para avaliar características agrônômicas do pasto.

O uso de plataforma ARP e os procedimentos metodológicos apresentados nesse estudo permitiram: (i) construir os modelos digitais de elevação (terreno e superfície) e estimar a altura da vegetação; (ii) estimar o percentual de cobertura do solo e identificar as áreas mais afetadas por pragas; (iii) gerar os intervalos de classes de vigor das plantas por meio do índice de vegetação NDVI e NDRE; (iv) indicar as áreas de coleta e aferição da massa de forragem pelo método de campo, a partir das classes de vigor; (v) estimar a massa de forragem por meio da relação entre o NDVI e os dados de massa de forragem aferida no campo.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e à FAPEMIG (Projeto APQ-00657-17) pelo apoio na condução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, R. G.; Hott, M. C.; Magalhães Junior, W. C. P. Estimation of Energy Flux and Biomass in Pasture Areas through Remote Sensing Techniques. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, **2019a**, 6, 59-65. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.6.4.6>
- Andrade, R. G.; Hott, M. C.; de Magalhães Junior, W. C. P.; Oliveira, P. D'Oliveira, J. Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 233). **2019b**. 20p. ISSN 1516-7453. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1108242>
- Andrade, R. G.; Hott, M. C.; Magalhães Junior, W. C. P.; Paciullo, D. S. C.; Gomide, C. A. M. Estimate of Vigor Classes of *Brachiaria Ruziziensis* using Sensors Boarded on UAV Platform. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, **2021**, 8, 365-370. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.812.37>
- Assmann, J. J.; Kerby, J. T.; Cunliffe, A. M.; Myers-Smith, I. H. Vegetation monitoring using multispectral sensors - best practices and lessons learned from high latitudes. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, **2019**, 7, 1, 54-75. <https://doi.org/10.1139/juvs-2018-0018>
- Ballesteros, R.; Ortega, J. F.; Hernandez, D.; Del Campo, A.; Moreno, M. A. Combined use of agroclimatic and very high-resolution remote sensing information for crop monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **2018**, 72, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.019>
- Barbosa, B. D. S.; Ferraz, G. A. S.; Gonçalves, L. M.; Marin, D. B.; Maciel, D. T.; Ferraz, P. F. P.; Rossi, G. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. *Agronomy Research*, **2019**, 17, 349-357. <https://doi.org/10.15159/AR.19.119>
- Barbosa, J. Z.; Consalter, R.; Pauletti, V.; Motta, A. C. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. *Revista de Ciências Agrárias*, **2016**, 39, 1, 15 - 24. <https://doi.org/10.19084/RCA15006>
- Cohen, Y.; Alchanatis, V.; Saranga, Y.; Rosenberg, O.; Sela, E. E.; Bosak, A. Mapping Water Status Based on Aerial Thermal Imagery: Comparison of Methodologies for Upscaling from a Single Leaf to Commercial Fields. *Precision Agriculture*, **2017**, 18, 5, 801-822. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-016-9484-3>
- Costa, J. A. A.; Queiroz, H. P. Régua de manejo de pastagens – edição revisada. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 135). **2017**. 7 p. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165094/1/Regua-de-manejo-de-pastagens.pdf>
- Croplife Brasil. Plano ABC+ 2020-2030. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/noticias/conheca-o-plano-abc/>>. Acesso em: 17 jul. 2023.
- De Clercq, M.; Vats, A.; Biel, A. Agriculture 4.0: the future of farming technology, World Government Summit, **2018**. 30p.
- Davies, D.A., Futhergill, M., Morgam, C.T. Assessment of contrasting perennial ryegrasses with clover, under continuous stocking in the uplands. 5. Herbage production, quality and intake in years 4-6. *Grass and Forage Science*, **1993**, 48, 213-222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1993.tb01854.x>
- Franco, V. R.; Hott, M. C.; Andrade, R. G.; Goliatt, L. Hybrid machine learning methods combined with computer vision approaches to estimate biophysical parameters of pastures. *Evolutionary Intelligence (Print)*, **2022**, 15, 1-14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12065-022-00736-9>
- Ferreira, F. M.; Leite, R. V.; Malikouski, R. G.; Peixoto, M. A.; Bernardeli, A.; Alves, R. S.; Magalhães Junior, W. C. P.; Andrade, R. G.;

- Bhering, L. L.; Machado, J. C. Bioenergy elephant grass genotype selection leveraged by spatial modeling of conventional and high-throughput phenotyping data. *Journal of Cleaner Production*, **2022**, 363, 132286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132286>
- Gonçalves, E. N.; Carvalho, P. C. F.; Devincenzi, T.; Lopes, M. L. T.; Freitas, F. K.; Jacques, A. V. A. Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: padrões de deslocamento e uso de estações alimentares. *Revista Brasileira de Zootecnia*. **2009**, 38, 11, 2121-2126. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001100008>
- Hodgson, J. Grazing management: science into practice. London: Longman Group, **1990**. 200p.
- Hott, M. C.; Andrade, R. G.; Magalhães Junior, W. C. P.; Benites, F. R. G. Classification of Cynodon spp. grass cultivars by UAV. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, **2021**, 8, 266-270. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.812.26>
- Lopes, A. A.; Andrade, R. G.; Teixeira, A. H. C. Uso do algoritmo SAFER na análise espaço-temporal da evapotranspiração em áreas de produção agropecuária do município de Maracaju, MS. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2020, 3, 3417-3426. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n4-051>
- Macedo, M. C. M.; Araujo, A. R. de. Sistemas de integração lavoura-pecuária: alternativas para recuperação de pastagens degradadas. In: Bungenstab, D. J. (Ed.). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, Capítulo 4. **2012**. p. 27-48. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159847/1/Sistemas-de-integracao-lavoura-pecuaria-alternativas.pdf>
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano ABC. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>>. Acesso em: 17 jul. 2023.
- Paciullo, D. S. C.; Rodrigues, P. R.; Soares, N. A.; Gomide, C. A. M.; Sobrinho, F. S.; Morenz, M. J. F. Produção de forragem de *Brachiaria ruziziensis* cv. BRS Integra sob pastejo, ao longo do ano. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 43). **2021**. 23p. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222936/1/BOP-43-Producao-de-Forragem.pdf>
- Rauber, E. R.; Bordin, F.; Anschau, M.; Veronez, M. R.; Gonzaga Jr., L.; FRAMARIM, C. Análise bibliográfica sobre as potencialidades da aquisição de imagens multi e hiperespectrais por VANTs no auxílio à inspeção de obras de arte especiais. *Revista Brasileira de Geomática*, **2018**, 6, 1, 44-61. <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v6n1.5924>
- Salman, A. K. D.; Soares, J. P. G.; Canesin, R. C. Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens. Porto Velho: Embrapa Rondônia, (Embrapa Rondônia. Circular Técnica, 84). **2006**. 6p. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/24669/1/ct84-pastagem.pdf>
- Silva Neto, S. P.; Santos, A. C.; Garcia, R. N.; Dias, J. L. A.; Silva, Á. M.; Pereira, P. A. R. Variabilidade espacial da biomassa da forragem e taxa de lotação animal em pastagem de capim Marandu. *Revista Agrogeoambiental*, **2016**, 8, 2, 119-130. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v8n22016856>