



Campus Ariquemes
Coordenação do Curso Bacharel em Agronomia

Enos Araujo de Oliveira

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA VEGETAL EM
ÁREA DE PASTAGEM CULTIVADA NA REGIÃO DO VALE DO JAMARI, RO**

Ariquemes - RO

2025

ENOS ARAUJO DE OLIVEIRA

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA VEGETAL EM
ÁREA DE PASTAGEM CULTIVADA NA REGIÃO DO VALE DO JAMARI, RO**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Ariquemes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto ao Curso de Agronomia, sob a orientação do professor Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira.

Ariquemes - RO

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

O48i

Oliveira, Enos Araujo de.
Índices de vegetação na estimativa de biomassa vegetal em área de pastagens cultivada na região do Vale do Jamari, RO / Enos Araujo de Oliveira. - Ariquemes, 2025.
28 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Ariquemes, 2025.

1. Massa seca da pastagem. 2. Massa verde da pastagem. 3. NDVI. 4. Radiação eletromagnética. I. Oliveira, Ivanildo Amorim de (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Renilce Silva Morais, CRB-11/906

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
RONDÔNIA *CAMPUS* ARIQUEMES**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**Índices de vegetação na estimativa de biomassa vegetal em área de pastagem cultivada
na região do vale do Jamari, RO**

Acadêmico: Enos Araujo de Oliveira

Orientador: Ivanildo Amorim de Oliveira

Conceito Atribuído: Aprovado

Ivanildo Amorim de Oliveira
Orientador

Acácio Bezerra Mira
Membro da Banca

Igor Vilela Cruz
Membro da Banca

Data da Realização: 22/07/2025

Ariquemes – RO
2025

AGRADECIMENTO

Às pessoas que me ajudaram a tornar esse trabalho possível, meu orientador Ivanildo Amorim de Oliveira, aos meus colegas de classe Geovani Gabriel Gonçalves da Luz, Guilherme Araujo Silva e principalmente Oséias Rosário Santos.

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA VEGETAL EM ÁREA DE PASTAGEM CULTIVADA NA REGIÃO DO VALE DO JAMARI, RO

RESUMO

O crescimento da produção da pecuária bovina no Brasil é incontestável. O pasto é a principal fonte de alimento para os ruminantes no sistema de produção da pecuária predominante do país, contudo o manejo da pastagem é negligenciado elevando o estado de degradação da mesma e diminuindo rapidamente a disponibilidade de alimento para os animais. Em um contexto em que, o monitoramento da produção demanda maior detalhamento e precisão, o sensoriamento remoto se destaca pela obtenção de informações de forma rápida e prática. O objetivo deste trabalho é analisar diferentes índices de vegetação na estimativa de biomassa em área de pastagem cultivada, na região do Vale do Jamari, RO. A pesquisa foi conduzida nas dependências do Instituto Federal de Rondônia - IFRO – *Campus* Ariquemes. O imageamento para a construção da ortofoto do dossel da pastagem foram coletadas utilizando o Drone da DJI Mavic 3 Multi-espectral com o sensor multi-espectral que opera em quatro bandas multi-espectrais. Através dos ortomosaicos foram criados seis índices: Índice de Vegetação por Diferença Normalizado (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), Índice de Vegetação Aprimorado (EVI), Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera Verde (GARI) e Índice de Clorofila Verde (GCI). As coletas das amostras de forragem ocorreram na época da seca e chuvosa nos pontos amostrais de um grid amostral com espaçamento regular de 75 m, perfazendo um total de 15 pontos amostrais. Foram analisadas as variáveis, massa seca (MS), massa verde (MV) e umidade da planta. Os índices de vegetação foram correlacionados e comparados com mapas interpolados por krigagem das variáveis coletadas. Observou maior biomassa da pastagem no período chuvoso. Os dados apresentaram variabilidade espacial, ajustando-se aos modelos de semivariogramas esféricos. Dentre os cinco índices de vegetação analisados, conclui-se que o GCI foi o melhor para realizar a estimativa de biomassa da pastagem.

Palavras-chave: Massa seca da pastagem. Massa verde da pastagem. NDVI. Radiação eletromagnética

VEGETATION INDICES IN THE ESTIMATION OF PLANT BIOMASS IN CULTIVATED PASTURE AREAS IN THE VALE DO JAMARI REGION, RO

ABSTRACT

The growth of cattle production in Brazil is undeniable. Pasture is the primary food source for ruminants in the country's dominant livestock production system. However, pasture management is neglected, increasing pasture degradation and rapidly decreasing feed availability. In a context where production monitoring demands greater detail and precision, remote sensing excels at obtaining information quickly and conveniently. The objective of this study is to analyze different vegetation indices to estimate biomass in a cultivated pasture area in the Jamari Valley region of Rondônia. The research was conducted at the Federal Institute of Rondônia (IFRO) – Ariquemes Campus. The images used to create the orthophoto of the pasture canopy were collected using the DJI Mavic 3 Multispectral drone, equipped with a multispectral sensor operating in four multispectral bands. Six indices were generated from the orthomosaics: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), the Enhanced Vegetation Index (EVI), the Green Atmosphere Resilient Vegetation Index (GARI), and the Green Chlorophyll Index (GCI). Forage samples were collected during the dry and rainy seasons at sampling points on a sampling grid with regular spacing of 75 m, totaling 15 sampling points. The variables dry mass (DM), green mass (VM), and plant moisture were analyzed. The vegetation indices were correlated and compared with kriged-interpolated maps of the collected variables. Higher pasture biomass was observed during the rainy season. The data showed spatial variability, fitting spherical semivariogram models. Among the five vegetation indices analyzed, it was concluded that the GCI was the best for estimating pasture biomass.

Keywords: Dry mass. Green mass. NDVI. Electromagnetic radiation.

INTRODUÇÃO

Em 2022, o crescimento do rebanho bovino no Brasil em cerca de 3,3% aliado a redução das áreas de pastagens em 5,7%, totalizando 154 milhões de hectares, elevou a taxa de ocupação brasileira para 1,32 cabeças por hectare e conseqüentemente a produtividade, sendo que a maior parte do gado brasileiro é criado em sistema extensivo a pasto e apenas 18,2% foram terminados em confinamento em 2022 (ABIEC, 2023). Nesse sistema, o pasto é a principal fonte de alimento para os ruminantes, contudo o manejo da pastagem é negligenciado elevando o estado de degradação da mesma e diminuindo rapidamente a disponibilidade de alimento para os animais (DIAS-FILHO, 2017).

Em um contexto que o monitoramento da produção demanda maior detalhamento e precisão, o sensoriamento remoto se destaca pela obtenção de informações do objeto que se deseja analisar sem precisar de contato físico, através de imagens capturadas por sensores remotos, como satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados e outros. As imagens podem ser utilizadas para obter estimativa da biomassa e produtividade da cultura; monitoramento de estresse hídrico e vigor nas plantas e avaliação do estágio fenológico. (BERNARDI et al., 2014).

O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e ou drones é uma alternativa de sensoriamento remoto capaz de gerar dados de alta resolução espacial e de baixo custo de aquisição quando comparados a uma aeronave tripulada ou satélite comerciais para os mesmos fins, além das imagens serem mais acuradas, não há limitação quanto à periodicidade, como é o caso das imagens obtidas de satélites (CHAVES et al., 2015).

Neste cenário, o sensoriamento remoto captura dados de reflectância para cada faixa do espectro eletromagnético. Estes, podem ser processados por meio de índices matemáticos de diferentes bandas espectrais, responsáveis por medir atividades da vegetação (SOUZA e PARANHOS, 2021). A combinação de duas ou mais bandas das imagens através desses cálculos é o que dá origem aos índices de vegetação (IV). Há inúmeros índices de vegetação, desenvolvidos para diferentes finalidades, podendo-se dividir em índices sensíveis à concentração do pigmento (clorofila) e índices estruturais, que sofrem ou não influência das propriedades óticas do solo. A escolha do índice de vegetação depende do comprimento de onda mais adequado para a característica que se deseja analisar (BERNARDI et al., 2014).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é um dos mais utilizados, caracterizado por levar em consideração as bandas nos comprimentos do vermelho e do infravermelho próximo. Este, está baseado no fato de que uma vegetação mais densa e vigorosa reflete maiores quantidades de infravermelho e condiciona maior quantidade de luz visível

absorvida, do contrário, quando a vegetação está menos vigorosa ou espalhada há maiores quantidades de luz visível refletida e menor infravermelho próximo refletida (PINGUELLO et al, 2020).

A reflectância tem forte relação com a quantidade de água líquida presente nas células da folha, quanto maior o nível de água, menor é a reflectância. Considerando que as espécies vegetais possuem diferenças na estrutura celular, há grande variação da resposta espectral na região do infravermelho, e essa distinção é reduzida quando as análises são feitas na faixa do visível, uma vez que, as plantas possuem pigmentos muito similares (NAKAI, 2016). Por outro lado, a biomassa é a medida da parte aérea da planta, em termos de vegetação seca, podendo ser usada como indicativo de produtividade. A biomassa está relacionada com a reflectância da radiação eletromagnética e com a altura da vegetação, viabilizando o uso de índices de vegetação na medição dessa variável (SOUZA, 2018).

Em seu trabalho, García (2019) estudando diferentes índices de vegetação na estimativa de diferentes parâmetros biofísicos de pastagens tropicais, concluiu que para a predição da produtividade, os índices TBI (Three Band Index) e NAOC (Normalized Area Over reflectance Curve) foram os que tiveram melhor representatividade. Nakai (2016) avaliando a eficiência na estimativa de biomassa acima do solo, em distintas coberturas vegetais, por meio de três diferentes índices de vegetação, obtidos a partir de imagens do satélite Landsat-8, concluiu que foi possível diferenciar as coberturas vegetais através dos diferentes índices de vegetação. E para a estimativa de biomassa, o índice EVI foi o que apresentou melhor correlação, tanto para floresta quanto para pastagens.

De acordo com Gitelson et al., 1996, a banda verde possui uma boa correlação com a concentração de clorofila, sendo que os índices GARI (Índice Verde de resistência atmosférica) e GRARI (Índice Verde-Vermelho Resistente à Atmosfera) possuem 4 vezes menos sensibilidade aos efeitos da atmosfera quando comparados com o NDVI, além de possuírem sensibilidade para a concentração do pigmento clorofila na vegetação.

Diante do potencial uso dos índices de vegetação para o monitoramento da vegetação em agroecossistemas e da incerteza da aplicação dos mesmos, o objetivo deste trabalho é analisar diferentes índices de vegetação na estimativa de biomassa em área de pastagem cultivada na região do Vale do Jamari, RO.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi conduzida nas dependências do IFRO – *Campus Ariquemes* (Figura 1), que se localiza na porção centro – norte do estado de Rondônia, situado nas coordenadas geográficas 9°57'08.9"S e 62°57'26.6"W, com altitude média de 135 m. O clima da região, segundo Koppen, é do tipo Aw – Clima Tropical Chuvoso, com média climatológica da temperatura média de 25,62 °C com precipitação pluvial média anual de 2290 mm, e a umidade média relativa do ar de 81,02%, e um período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre na região um moderado déficit hídrico com índice pluviométrico inferiores a 60 mm/mês (CARVALHO et al., 2016). O solo foi classificado como Latossolo Amarelo (SANTOS et al., 2018).

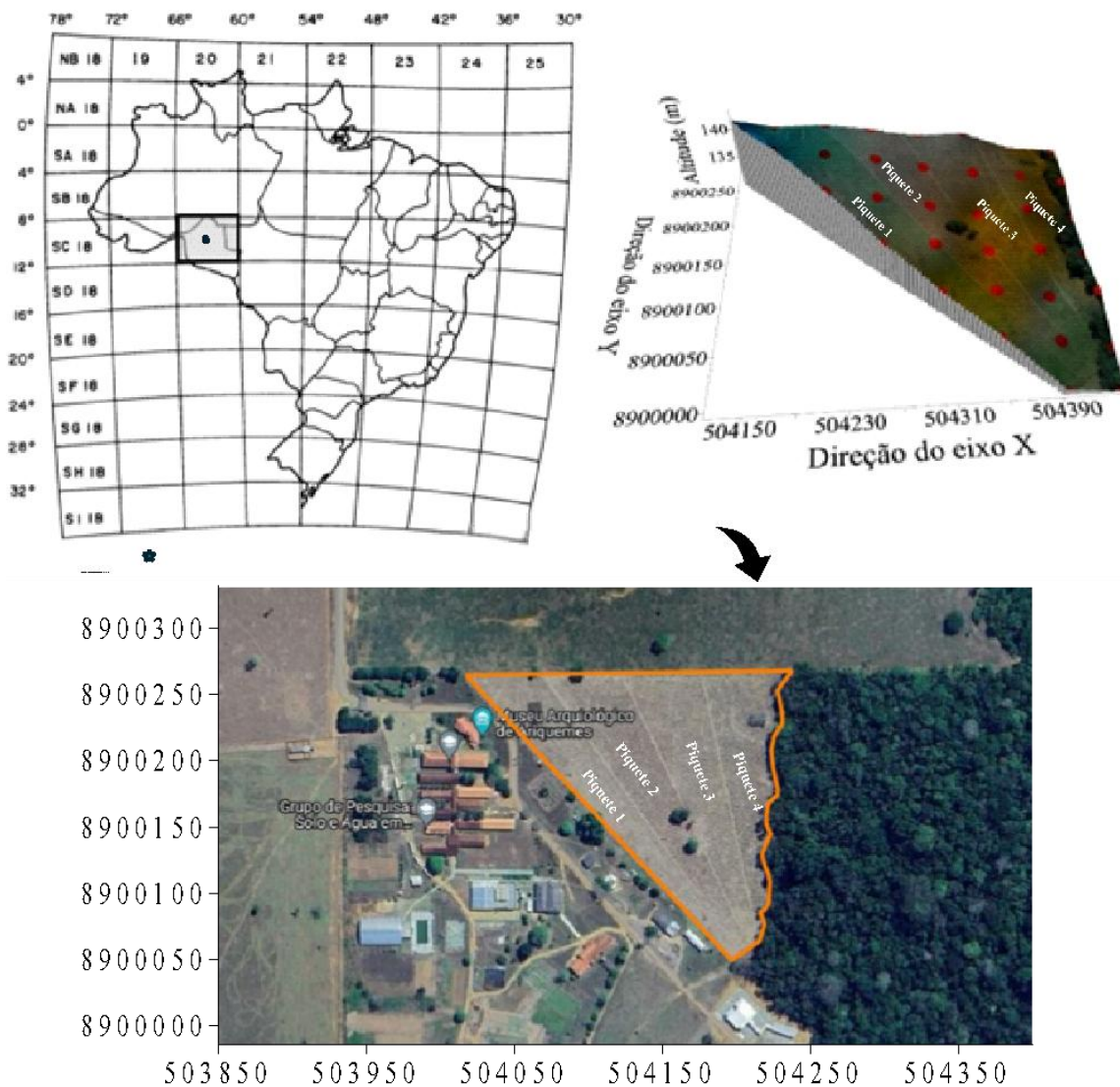


Figura 1. Localização da área de pastagem utilizada no experimento. O contorno laranja demarca a área de realização do experimento. Fonte: o autor (2024).

A cobertura vegetal predomina a Floresta Tropical Densa dos climas quentes úmidos e superúmidos sendo caracterizada sobretudo por suas grandes árvores, por vezes com mais de 50 m de altura, que sobressaem no estrato arbóreo uniforme entre 25 e 35 m de altura e Floresta Tropical Aberta que apresentam grandes árvores muito dispersas, com frequentes grupamentos de palmeiras e enormes quantidades de fanerófitas sarmentosas, que envolvem as árvores e recobrem completamente o estrato inferior (BRASIL, 1978).

A geologia da região apresenta rochas granulitos, migmatitos, granitos, adamelitos e granodiorito cristalinas do Pré-Cambriano Médio a Superior do Complexo Xingu; Granitos Rondonianos do Pré-Cambriano Superior; arenitos arcoseanos, localmente quartzíticos, brancos a vermelhos, folhelhos, siltitos e quartzitos do Pré-Cambriano Superior e Eopaleozóico e sedimentos são de natureza arenosa, siltosa e argilosa, recobertos por depósitos de resíduos vegetais de constituição e grau de decomposição diversos do Quaternário (Holoceno) (BRASIL, 1978).

METODOLOGIA DE CAMPO E LABORATÓRIO

Na área cultivada com pastagem de capim Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça), o solo foi corrigido e adubado no ano de 2019, sendo aplicado calcário para correção da acidez e adubação mineral realizada para suprir a demanda nutricional para a cultura do milho, sendo que, a pastagem foi cultivada após a retirada da cultura do milho. A área está dividida em 4 piquetes, sendo utilizado como manejo rotacionado de animais, conforme capacidade de suporte da pastagem. Vale destacar que, o piquete da esquerda para a direita (piquete 1) estava sendo pastoreado pelos animais, no momento da coleta (Figura 1).

Os dados de reflectância eletromagnética do dossel da pastagem foram coletadas utilizando o sensor multiespectral que opera em quatro bandas multi-espectrais (verde: 550nm \pm 40nm; Vermelho 660 \pm 40nm; Borda Vermelho (rededge): 735nm \pm 10nm e infravermelho Próximo: 790nm \pm 40nm)), adquiridas por meio do Drone da DJI Mavic 3 Multi-espectral. A captura das imagens foi realizada um dia antes da coleta direta da pastagem, em época seca e chuvosa, compreendendo uma coleta no mês de agosto e uma coleta no mês de dezembro do ano de 2023, com o objetivo de avaliar as alterações dos índices de vegetação (IV) da cultura em razão do regime pluviométrico (Figura 1 e 2).

Na área, os pontos amostrais de coleta de biomassa da pastagem foram definidos por um grid amostral com espaçamentos regulares de 75 m, perfazendo um total de 15 pontos amostrais na malha, onde foi coletada a parte aérea da pastagem.

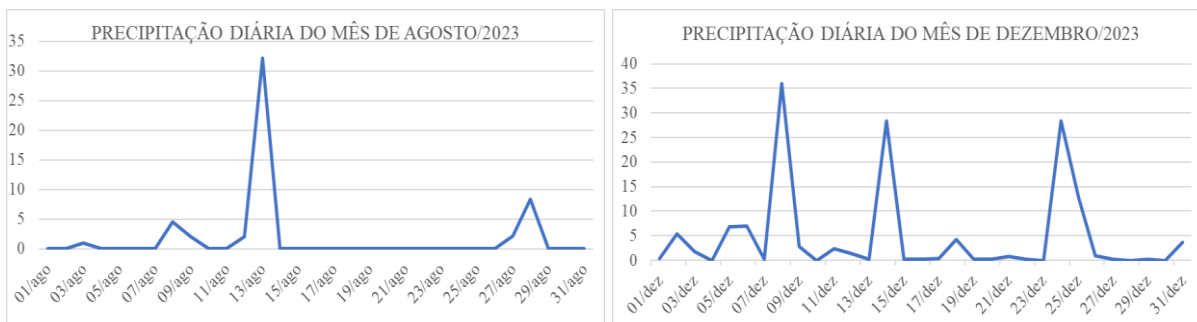


Figura 2. Precipitação (mm) diária do mês de agosto e dezembro do ano de 2023 . Fonte: INMET (2023).

Foi realizada a avaliação direta da cultura e determinado os parâmetros de rendimento produtivo da cultura, sendo a massa seca de forragem (MS), dada em quilos de matéria seca por hectare (kg MS ha^{-1}), sendo esta, submetida a estufa de circulação de ar forçada a 65°C , e massa verde da forragem (MV) em kg MV ha^{-1} . A técnica direta mais conhecida para amostragem de pastagem é a que utiliza uma moldura de área conhecida fabricada de madeira ou metal de forma quadrada ou retangular, a mais comum é a forma quadrada e, por isso, essa técnica é também conhecida por “Método do Quadrado”. O tamanho do quadrado foi de $1,0 \times 1,0 \text{ m}$ ($1,0 \text{ m}^2$), conforme indicação de Salman et al. (2006). As plantas coletadas foram pesadas em laboratório para definir a biomassa, determinando as massas da forragem (MV e MS). As amostras de biomassa foram alocadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar e temperatura média de 65°C por 72 horas, para determinar a MS e a umidade na amostra (em %).

FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS.

Análises Geoestatísticas

Foi realizada análise exploratória dos dados da forragem coletados (MS, MV e umidade), calculando-se média, mediana, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose, desvio padrão, variância e teste de normalidade. O coeficiente de variação (CV%) foi calculado base no critério de Warrick e Nielsen (1980) que classifica o CV como baixo $< 12\%$, médio de 12% a 24% e alto $> 24\%$. A hipótese de normalidade dos dados será testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Para determinação da existência da dependência espacial foram modelados semivariogramas, utilizando análise geoestatística por meio da krigagem (MATHERON, 1963; ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela Equação 2:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

sendo:

- ✓ $\gamma(h)$ - valor da semivariância para o vetor h ;
- ✓ $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;
- ✓ $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ;
- ✓ $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985). Na determinação da existência ou não da dependência espacial, foi utilizado o exame de semivariogramas, por meio do programa GS⁺ (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, será considerado o melhor R^2 (coeficiente de determinação) e coeficientes da validação cruzada (VC) (este último, não apresentado no trabalho, sendo utilizado para modelagem do melhor ajuste aos dados).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), no qual os valores de $[(C_0/(C_0+C_1))*100]$ menores que 25 % são considerados dependência espacial forte, valores de $[(C_0/(C_0+C_1))*100]$ entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de $[(C_0/(C_0+C_1))*100]$ maiores que 75 % de dependência espacial fraca.

Índices de vegetação

O imageamento para a construção do ortomosaico do dossel da pastagem realizadas um dia antes da avaliação da produção de biomassa para determinação dos parâmetros de rendimento produtivo da cultura. As medidas foram realizadas a aproximadamente 120 m acima e perpendicular ao dossel das plantas. Foi utilizado um sistema de posicionamento global (GPS) para obter as coordenadas geográficas de cada medição de reflectância. A partir das medidas foram calculados os índices (parâmetros biofísicos) descritos nas equações 3, 4, 5, 6 e 7.

$$\text{NDVI} = (\text{Nir}_{760} - \text{Vis}_{670}) / (\text{Nir}_{760} + \text{Vis}_{670}) \quad (2)$$

$$\text{SAVI} = (1 + L)(\text{Nir}_{760} - \text{Vis}_{670}) / (\text{Nir}_{760} + \text{Vis}_{670} + L) \quad (3)$$

$$\text{EVI} = 2,5(\text{Nir}_{760} - \text{Vis}_{670}) / (1 + \text{Nir}_{760} + 6\text{Vis}_{670} - 7,5\text{B}_{510}) \quad (4)$$

$$\text{GARI} = \text{Nir}_{760} - [\text{G}_{590} - \gamma(\text{B}_{510} - \text{Vis}_{670})] / [\text{Nir}_{760} + (\text{G}_{590} - \gamma(\text{B}_{510} - \text{Vis}_{670}))] \quad (5)$$

$$\text{GCI} = [\text{Nir}_{760} / \text{G}_{590}] - 1 \quad (6)$$

$$\text{IAF} = -\ln \frac{((0,69 - \text{SAVI}) / 0,59)}{0,91} \quad (7)$$

Onde:

- ✓ NDVI = Normalized difference vegetation index ou Índice de diferença de vegetação normalizado, relacionado à quantidade de biomassa verde, teor e conteúdo de pigmentos e estresse hídrico (ROUSE et al., 1973);
- ✓ SAVI = Soil Adjusted Difference Vegetation Index ou Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.
- ✓ EVI = Enhanced Vegetation Index ou Índice de Vegetação Aprimorado.
- ✓ GARI = Green Atmospherically Resistant Vegetation Index ou Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera Verde.
- ✓ GCI = Green Chlorophyll Index ou Índice de Clorofila Verde.
- ✓ NIR₇₆₀, Re₇₂₀, VIS₆₇₀, G₅₉₀ e B₅₁₀ são as refletâncias das bandas nos comprimentos de luz de 760, 720, 670, 590 e 510 nm.
- ✓ L = constante L apresenta valores de 0 a 1, variando segundo a própria biomassa. Sendo o adequado, segundo HUETE (1988), L = 1 para baixas densidades de vegetação, L = 0,5 para médias densidades de vegetação, L = 0,25 para altas densidades de vegetação.
- ✓ γ = ajuste empírico de correção atmosférica, usualmente 1,7 (GILTELSON et al., 1996)

Cada índice resultou em um valor para cada pixel da área. Para realizar a média de cada índice de vegetação nos pontos correspondentes a coleta da pastagem, foi gerado um *buffer* com raio de 5 m e as médias foram utilizadas para correlacionar com os valores das variáveis produtivas da pastagem nos respectivos pontos de coleta. Posteriormente no Microsoft Excel foi estabelecida a correlação entre o dado da variável e o índice de vegetação coletado em cada ponto, através do índice de correlação, chamado também de coeficiente de Pearson, responsável por estabelecer a medida de correlação entre a variável analisada e o valor obtido por cada

índice nos pontos amostrados. Esse coeficiente de correlação varia entre -1 e 1 , onde o menor valor é uma correlação perfeita inversamente proporcional e o maior indica correlação perfeita diretamente proporcional (SOUZA, 2018). Estas correlações foram classificadas segundo Hinkle et al. (2003) como muito alta (0,9 a 1), alta (0,7 a 0,9), moderada (0,5 a 0,7), baixa (0,3 a 0,5) e pequena (0,1 a 0,3).

A produção da ortofoto para a geração dos IV foi produzido pelo *software Open Drone Map* de código aberto, que vem sendo explorado em trabalhos científicos e se mostrando uma grande opção de processamento de imagens aéreas de Veículo Aéreo Não Tripulados (VANTs). O parâmetro biofísico (NDVI) foi gerado com os repositórios de longa duração do *software QGIS 3.22*, bem como os mapas de krigagem das variáveis estudadas.

O QGIS é um *software* para Sistema de Informações Geográficas gratuito e amplamente utilizado em trabalhos com dados geográficos. A geração destes mapas de índices de vegetação permitiu a correlação espacial com os mapas de correlação com a produtividade das culturas (MS, MV e umidade), facilitando as interpretações do comportamento da produção da cultura avaliada por IV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas de posição, dispersão e de forma das variáveis coletadas estão apresentadas na Tabela 1. É possível observar que alguns dados de assimetria estão negativos, indicando que há uma tendência de concentração de valores acima da média, e quanto maior for essa tendência, mais esse valor negativo tende a se distanciar do zero, no caso de valores positivos o inverso é válido (NEVES NETO et al., 2013). Os dados de curtose se encontram abaixo de 3, considerado por Flynn et al. (2008) um valor padrão normal, de forma que os valores acima de 3 são considerados altos e podem refletir diferenças na utilização da forragem, bem como no comportamento da pastagem.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos das variáveis produtivas da pastagem na época seca e chuvosa.

Estatística	-----Época seca-----			-----Época chuvosa-----		
	MS	MV	Umidade	MS	MV	Umidade
	-----kg ha ⁻¹ -----		%	-----kg ha ⁻¹ -----		%
Média	1214,03	2081,94	41,38	1374,92	5.266,18	73,58
Mediana	1054,60	1711,00	42,13	1471,58	5.612,15	73,63
Mínimo	320,00	648,20	27,81	469,01	1.608,05	68,54
Máximo	2331,95	4032,70	50,63	1831,58	6.651,75	79,12
DP	529,37	927,32	5,89	376,24	1.479,81	2,90
Variância	280236,50	859919,60	34,65	141.562,09	218.983,70	8,42
CV (%)	0,44	0,45	0,14	27,36	28,10	3,94
Curtose	0,23	-0,02	0,96	1,21	1,65	-0,25
Assimetria	0,59	0,59	-0,78	-1,20	-1,42	-0,01
t	0,25*	0,22*	0,17*	0,18*	0,24*	0,10*

MS: Massa Seca; MV: massa verde; DP: Desvio Padrão; Var.: Variância; CV: coeficiente de variação; t: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, (*): significativo a 5%.

O coeficiente de variação (CV) das variáveis MV e MS na época chuvosa se classifica como alto de acordo com a classificação de Warrick e Nielson (1980), destacando que existe grande discrepância entre os valores coletados. Esses valores podem ser explicados pelo manejo adotado na área, uma vez que a área é utilizada para pastejo rotacionado, os piquetes se encontram em diferentes estágios de recuperação. Alencar et al. (2016) analisando a distribuição espacial da produção de capim-Marandu com intensidade de pastejo, encontrou CVs correspondentes a 29,54% e 32,63% para massa seca total e altura, respectivamente, indicando que os fatores que causam variabilidade nas características da forragem, em parte, devem-se ao comportamento de pastejo. Silva Neto et al. (2012) concordam, ao avaliarem a massa seca total de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em diferentes níveis de degradação, encontrou CVs de 38,54%, 37,11% e 75,11% para baixo, médio e alto nível de

degradação, respectivamente.

As médias das variáveis analisadas na época chuvosa apresentaram-se superiores às médias da época seca sendo similar aos dados encontrados por Lara et al. (2015) ao avaliarem a produção de *Brachiaria brizantha* no período de janeiro a julho de 2014, em Rolim de Moura - RO, que encontram médias de 5710 kg ha⁻¹, 1381 kg ha⁻¹ e 24,43 % para as variáveis, massa fresca, massa seca e teor umidade, respectivamente. Os autores ainda observaram também que, os valores de MS e MV tendem a diminuir de janeiro para julho, esse período final condiz com a época seca da região, o que se repetiu neste trabalho.

Os atributos analisados apresentaram simetria, e essa se justifica em valores de média e mediana se encontram similares, atendendo às condições de normalidade, logo, os dados não são dominados por valores atípicos de distribuição e são mais adequados para uso da geoestatística (CAMBARDELLA et al., 1994).

Por meio da análise geoestatística, foi realizada a construção e ajustes dos semivariogramas das variáveis analisadas nos dois períodos avaliados, conforme os parâmetros observados na Tabela 2. Foi constatado que na época seca, apenas as variáveis MS e MV apresentaram dependência espacial, já na época chuvosa, além da MS e MV, a umidade também apresentou dependência espacial e todas as variáveis foram ajustadas no modelo Esférico com alto coeficiente de determinação (R²). Silva Neto et al. (2016) ao estudarem a modelagem variográfica da disponibilidade de matéria seca de *Urochloa brizantha* cv. Marandu observou que o modelo esférico apresentou melhor inferência da variável em questão, e menor soma dos erros ao quadrado, quando comparado aos modelos gaussiano e exponencial que podem levar a estimativas de massa seca não representativas na área.

A umidade na época seca apresentou Efeito Pepita Puro (EPP), sinal de que a variabilidade não pode ser detectada pela malha de amostragem utilizada, ou seja, é possível que a variável tenha alcance menor que o espaçamento do grid utilizado (CAMBARDELLA et al., 1994). Isso se deve ao fato de que na época seca a umidade possui menor continuidade na área gerando maior heterogeneidade local e menor alcance da variável na área (VIEIRA et al., 2010).

O Grau de Dependência Espacial (GDE) das variáveis analisadas foi classificado como fraco, variando de 90,6 a 99,9, nas duas épocas avaliadas, o que pode ser um indicativo que se tem baixa estrutura espacial e que maior precisão pode ser obtida no mapeamento das propriedades estudadas (KRAVCHENKO et al., 2006). Silva Neto et al. (2012) avaliando a espacialização de atributos morfológicos em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, observaram forte dependência espacial para variáveis como, massa seca, material morto,

matéria orgânica e massa seca total indicando de forma geral que esses atributos apresentam padrões espaciais bem definidos e a sua variabilidade pode ser atribuída a fatores não aleatórios.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos parâmetros produtivos da pastagem na época seca e chuvosa.

Estatística	Parâmetros produtivos da planta		
	MV	MS	Umidade
Época seca			
Modelo	Esf.	Esf.	EPP
Efeito pepita (C_0)	89.327,64	1.000,00	-
Patamar (C_0+C_1)	946.600,00	348.800,00	-
Alcance (a)	124,81	165,00	-
¹ GDE	90,60	99,70	-
² R ²	0,95	0,96	-
Época chuvosa			
Modelo	Esf.	Esf.	Esf..
Efeito pepita (C_0)	1.000,00	100,00	0,01
Patamar (C_0+C_1)	165.0000,00	85.000,00	10,23
Alcance (a)	202,00	102,40	151,60
¹ GDE	90,90	99,90	99,90
² R ²	0,99	0,95	0,96

¹ GDE= grau de dependência espacial; ²R² = coeficiente de determinação; Esf. = esférico; MV = massa verde; MS: massa seca.

Ainda é importante ressaltar que todas as variáveis analisadas, exceto a umidade na época seca, apresentaram um alcance bem definido, característico do modelo amostral esférico, podendo determinar a distância amostral limite para a correlação espacial dessas variáveis (SEIDEL e OLIVEIRA, 2014). Silva Neto et al. (2012) avaliando a massa seca total de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em diferentes níveis de degradação, observou alcances que variaram de 16,3 a 7,7 metros, indicando que áreas com maior nível de degradação apresentam alcances menores em função de sua heterogeneidade ser maior. Alencar et al. (2016) encontraram alcance de 85 metros para a variável massa seca total em pastagens de capim Marandu, já Cavallini et al., (2010) concluíram que a produtividade de *Brachiaria brizantha* não variam aleatoriamente e seguem padrões espaciais bem definidos, com alcances variando de 40 a 50 metros. Dessa forma, fica evidente que o alcance dessas variáveis pode variar conforme as condições edafoclimáticas de cada local.

Os mapas de krigagem das variáveis, bem como os diferentes índices de vegetação das épocas avaliadas estão apresentados nas Figuras 2 e 3. Os valores das correlações espaciais mostram que na época seca, as variáveis MS e MV mostraram pequena correlação com os índices de vegetação como visto na Tabela 3 e Figuras 2 e 3. Durante a estação seca, a quantidade de clorofila nas plantas tende a diminuir devido à falta de água e, conseqüentemente,

interferindo nos valores gerados por tais índices e diminuindo sua precisão na estimativa de biomassa da pastagem durante a estação seca (HOTT et al., 2013). Os índices de vegetação como NDVI são medidas baseadas em reflectância e são sensíveis à clorofila nas plantas, indicador de atividade fotossintética.

Tabela 3. Correlação entre as variáveis analisadas da planta e os índices de vegetação (IV) na época de seca e chuvosa.

Var x IV	NDVI	SAVI	EVI	GARI	GCI	IAF
Período de seca						
MS	-0.20	-0.21	-0.22	-0.24	-0.26	-0.18
MV	0.09	0.09	0.08	0.06	0.03	0.12
Umidade	0.91	0.91	0.89	0.91	0.90	0.91
Período chuvoso						
MS	0.72	0.70	0.72	0.77	0.91	0.72
MV	0.72	0.70	0.73	0.77	0.91	0.72
Umidade	0.26	0.27	0.27	0.24	0.22	0.23

Var: Variável; MS: massa seca; MV: massa verde; IV: Índice de Vegetação; NDVI: Índice de diferença de vegetação normalizado; SAVI: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo; EVI: Índice de Vegetação Aprimorado; GARI: Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera Verde; GCI: Índice de Clorofila Verde; IAF: Índice de Área Foliar. Valores: 0,9 a 1 = muito alta, 0,7 a 0,9 = alta, 0,5 a 0,7 = moderada, 0,3 a 0,5 = baixa e 0,1 a 0,3 = pequena.

A umidade da planta foi a única variável que apresentou correlação de alta a muito alta com os índices de vegetação da época seca (Tabela 3 e Figura 2). Isso ocorre pelo fato de que a vegetação se torna altamente dependente da umidade disponível no solo, de forma que as respostas da planta a umidade pode ser captada pelos IVs. Tal padrão foi observado por Kirimi (2018), ao analisar respostas de NDVI em diferentes períodos do ano, de forma que as correlações mais altas com o conteúdo de água no solo corresponderam ao período seco (0,67 a 0,9) enquanto que no período chuvoso as correlações ficaram abaixo de 0,5. Tal fato abre espaço para a importância de se medir a variável umidade da planta, pois segundo Cunha et al. (2015), apesar da água ser um componente importante da massa fresca, muitos outros fatores também contribuem para essa medida, como o teor de nutrientes, a densidade da planta, o tipo de estrutura celular e ambiente, de forma que duas plantas podem ter a mesma massa fresca, mas apresentarem taxas de fotossíntese diferentes.

Distintivamente, na época chuvosa, a variável umidade da planta apresentou pequena correlação com os índices de vegetação analisados (Tabela 3). Isso pode ser explicado pelo fato de que no período de chuvas, a umidade do solo e a umidade atmosférica aumentam significativamente, podendo levar a uma saturação de umidade nas plantas, ou seja, embora a umidade da planta aumente, a correlação entre a umidade da planta e os índices de vegetação pode diminuir devido a saturação de umidade na planta (HOFFMAN et al., 2015).

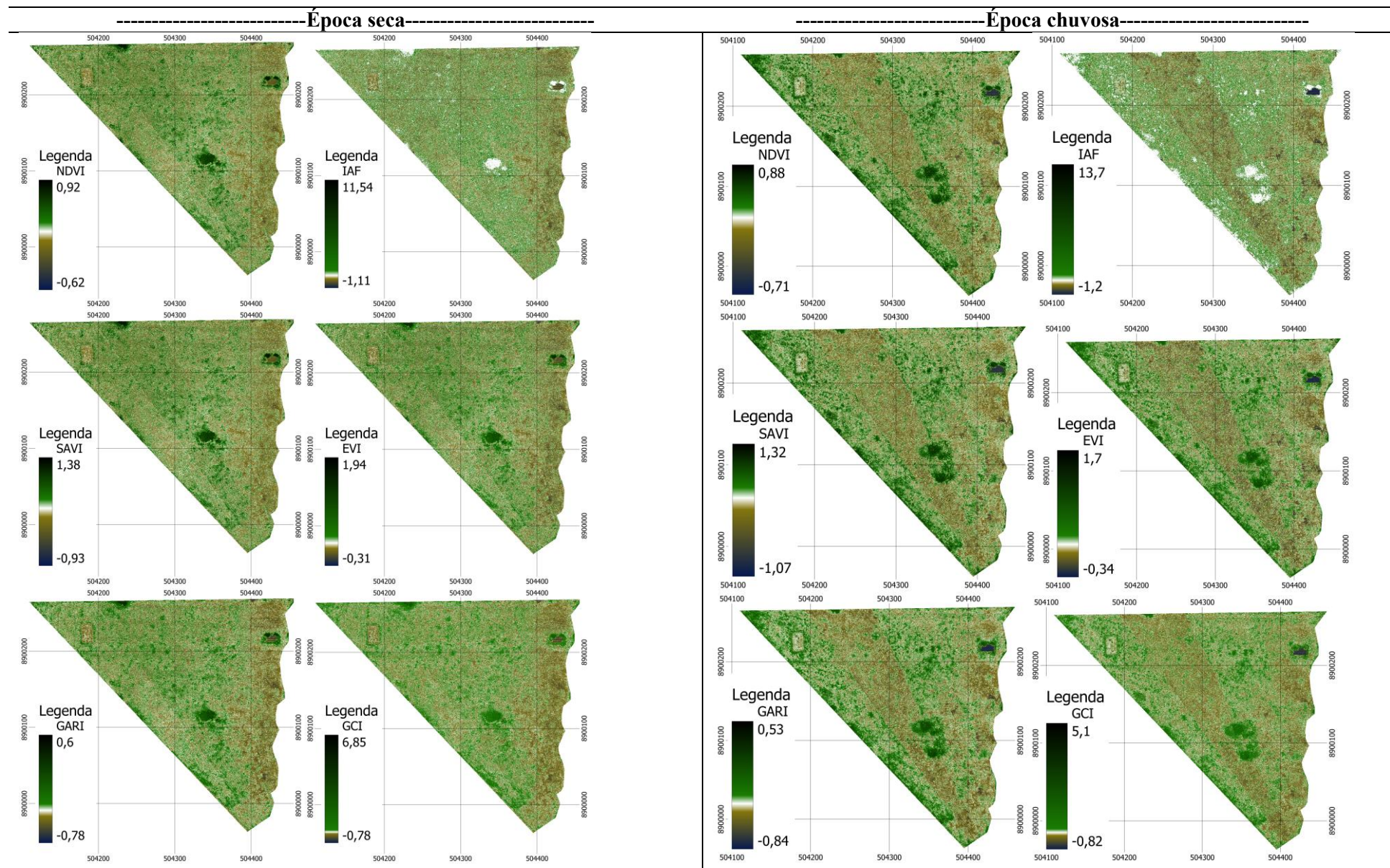


Figura 2. Índices de vegetação e índice de área foliar (IAF) da pastagem para época seca e chuvosa. NDVI: Índice de diferença de vegetação normalizado; SAVI: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo; EVI: Índice de Vegetação Aprimorado; GARI: Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera Verde; GCI: Índice de Clorofila Verde.

Na época chuvosa, as variáveis MS e MV apresentaram correlações mais altas com os IVs, uma vez que possui maior atividade fotossintética, com destaque para o GCI, que apresentou correlação muito alta com tais variáveis (Tabela 3). Corroborando com os dados encontrados por Flynn et al. (2008) avaliando a estimativa de massa de forragem obtida por NDVI no período das chuvas, observaram que o NDVI obteve um valor $r=0,68$ com relação a biomassa de forragem. O trabalho conduzido por Ravaglia et al. (2010) avaliando áreas de campos degradados usando imagens do satélite Landsat-5 no período de maio, início da seca, relataram que o índice de NDVI apresentou correlação de 0,7 com a massa seca. Parreira et al. (2022) pesquisando a correlação de vários índices de vegetação na produção de massa fresca e massa seca durante o período médio das secas e águas, notou que o índice RVI (Índice de Vegetação por Razão Simples) foi o que apresentou maiores valores de correlação, obtendo $r=0,5290$ para massa fresca e $r=0,4145$ para massa seca.

O GCI é um índice usado para avaliar o conteúdo de clorofila nas folhas, estado dos nutrientes, processos de envelhecimento e estresses bióticos e varia de -1 acima (Figura 2). Kurbanov e Zakharova (2020) ao avaliarem o uso de índices de vegetação para o monitoramento da condição das culturas, identificaram que o NDVI foi insuficiente para avaliação do trigo de inverno, uma vez que possui menor precisão quando a cobertura vegetal é menor, ou seja, solo exposto, já o GCI apresentou maior sensibilidade que o NDVI quanto às mudanças no estado da vegetação, especialmente em baixos valores de biomassa. Zanzarini et al. (2013) destacam que o NDVI possui a característica de rápida saturação, tornando-o insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento, logo, mesmo que a densidade do dossel aumente, o índice irá estabilizar.

Quanto ao SAVI, EVI, GARI, estes são índices de vegetação derivados do NDVI que foram modificados com o intuito de reduzir o efeito do solo, reduzir os efeitos atmosféricos e promover maior sensibilidade na concentração de clorofila, respectivamente, o que acabou por não gerar tanta diferença entre os mesmos (BERNARDI et al., 2014). De acordo com Gitelson et al. (1996), há uma ampla gama de verde nas folhas, de forma que a banda do vermelho não cobre essa ampla gama, no entanto a sensibilidade máxima da concentração de “clorofila-a” foi encontrada em torno da banda verde, dessa forma os índices que levam em consideração a banda verde, podem apresentar maior sensibilidade a concentração de clorofila. Os mesmos autores ainda observaram que o GARI possui uma faixa dinâmica mais ampla do que o NDVI, sendo em média, cerca de cinco vezes mais sensível à concentração de clorofila-a.

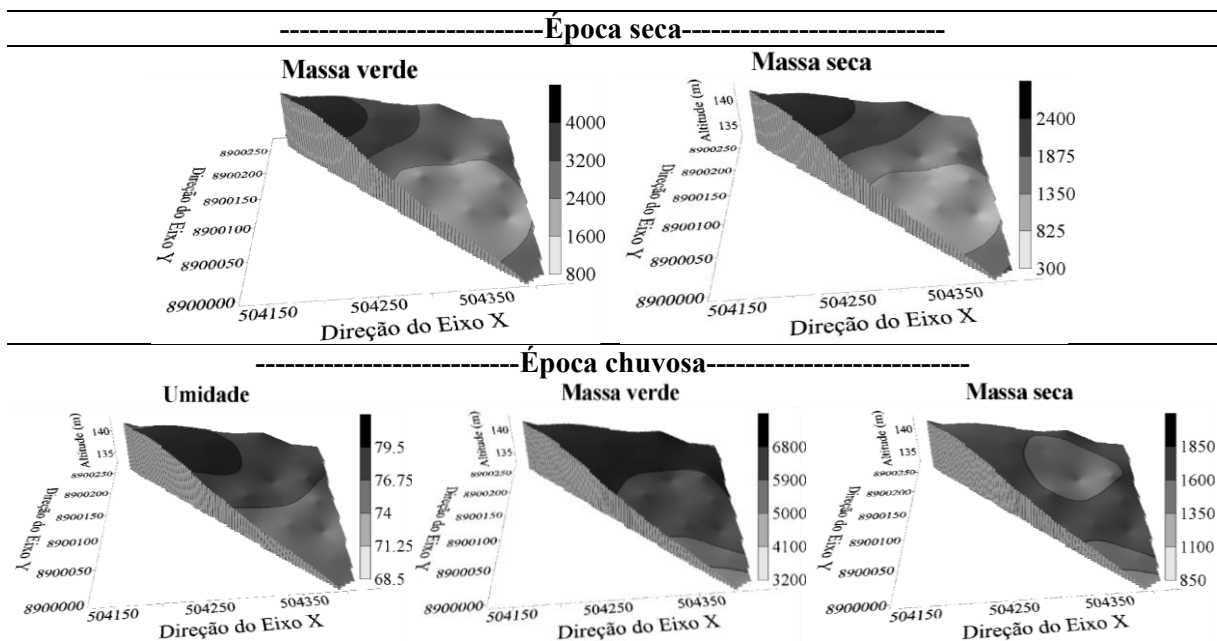


Figura 3. Mapas dos parâmetros produtivos da pastagem na época seca e chuvosa. MS = Massa seca; MV = Massa verde.

A alta correlação dos índices de vegetação com as variáveis analisadas (Figuras 2 e 3), potencializa a estimativa de tais características em função dos valores obtidos por tais índices, como ressaltado por Deus et al. (2023), analisando o uso de geotecnologias para determinação de fitomassa de forragens, que considerou o uso dos índices de vegetação como potencial cofator na estimativa de altura através da cokrigagem. Além disso, estes mesmos autores concluíram que é possível estimar indiretamente a massa de forragem através da altura em vista da correlação positiva e significativa entre os atributos. Trevisan et al. (2015) estudando o uso de imagens de satélite no mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo, observou que o uso de NDVI como variável auxiliar na estimativa de CTC por Krigagem apresentou melhor estimativa comparado a krigagem ordinária.

No trabalho de Lourenço (2018), analisando 3 modelos para estimar a matéria seca da pastagem, objetivando encontrar o melhor método de estimar produtividade de uma pastagem de sequeiro, observou que o índice de vegetação independente pode prever cerca de 57% dos valores da produtividade, contudo ao usar dados de altura e solo, o coeficiente de determinação do modelo chegou a 0,8, indicando melhor capacidade de estimativa. Estes estudos destacam a importância dos índices de vegetação na estimativa indireta de atributos morfológicos e quantitativos da pastagem, sendo potenciais tecnologias para a avaliação do potencial produtivo de forrageiras e suas correlações espaciais, na região de estudo deste trabalho.

CONCLUSÕES

A correlação espacial das variáveis MS e MV com os índices de vegetação foram melhores na época chuvosa.

Na época seca, os índices analisados não são capazes de estimar a biomassa de forma eficiente como no período chuvoso, sendo o IV índice de Área Foliar (IAF) o que melhor estimou a biomassa da pastagem na época da seca.

O Índice de Clorofila Verde (GCI) foi o melhor índice de vegetação para a estimativa de biomassa no período chuvoso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. **Beef Report**. São Paulo: Abiec, 2023. 61p.

ALENCAR, N. M.; MELO, J. C.; SANTOS, A. C.; CUNHA, O. F. R.; PAULA NETO, J. J. Distribuição espacial das propriedades do solo, produção do capim-Marandu com a intensidade de pastejo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.24, n.4, p.338-349, 2016.

ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WARTES, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL). **Idaho implementation - Advanced training and user's manual**, version 1.0, 2002. 97p.

BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014. 596p. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL, folha SC. 20**. Porto Velho. Rio de Janeiro, 1978.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, J. M.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159.

CARVALHO, R. L. S. et al. Comportamento das séries temporais de temperatura do ar, umidade e precipitação pluviométrica no município de Ariquemes (Rondônia-Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.18, n.1, p.123-142, 2016.

CAVALLINI, M. C.; ANDREOTTI, M.; OLIVEIRA, L. L.; PARIZ, C. M.; CARVALHO, M. P. Relações entre produtividade de *Brachiaria brizantha* e atributos físicos de um latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.34, n.4, p.1007-1015, 2010.

CHAVES, A. A.; LA SCALEA, R. A.; COLTURATO, A. B.; KAWABATA, C. L. O.; FURTADO, E. L.; BRANCO, K. R. L. J. C. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p.5642-5649.

CUNHA, D. L.; MATIAS, S. S. R.; NASCIMENTO, A. H.; COSTA JUNIOR, E. S.; SOARES, G. B. S.; MORAIS, D. B. Massa fresca e seca da parte aérea e raiz em função da aplicação de super simples em mudas de maracujá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, 2015, Natal. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p.1-4.

DEUS, I. D.; ALVES, M. O.; BARBIERI, R. S. Uso de geotecnologias e avaliações convencionais para determinação de fitomassa de forragens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20, 2023, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Galoa Proceedings, 2023. p.146-149.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar.** Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. 19p. (Embrapa Amazônia Oriental).

FLYNN, E. S.; DOUGHERTY, C. T.; WENDROTH, O. Assessment of pasture biomass with the normalized difference vegetation index from active ground-based sensors. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 1, p. 114-121, 2008.

GARCÍA, A. C. **Estudo de diferentes parâmetros biofísicos de *Panicum Maximum* cv. Mombaça e *Urochloa Brizantha* cv. Marandú por radiometria direta e com o novo satélite Sentinel-2.** Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2019. 118p.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdã, v. 58, n. 3, p. 289-298, 1996.

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURIS, S. G. **Applied statistics for the behavioral sciences.** Ed. 5. Massachusetts: Houghton Mifflin College Division. 2003. 756p.

HOFFMANN, R. M.; GEBLES, L.; FURTADO, A. M. Correlação entre a umidade do solo e condutividade elétrica em um latossolo bruno da região de Vacaria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 44, 2015, São Pedro. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2015. 4p.

HOTT, M. C.; CARVALHO, L. M. T.; SANTOS, P. A.; ARANTES, T. B.; RESENDE, J. C.; FONSECA, L. A. M. Análise de perfis temporais de índices de vegetação NDVI em regiões de pastagens na Zona da Mata em Minas Gerais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DO LEITE, 7, 2013, Porto Velho. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2013. p.1-3

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.25, n.3, p.295-309, 1988.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. **Oxford University Press**, New York, 1989. p.561.

KIRIMI, Fridah. Remote sensing based assessment of land cover and soil moisture in the Kilombero floodplain in Tanzania. 2018. Dissertação (Doutorado em Remote sensing) – Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, 2018. p.251.

KRAVCHENKO, A. N.; ROBERTSON, G. P.; SNAP, S. S.; SMUCKER, A. J. M. Predicting the spatial variation of the soil organic carbon pool at a regional scale. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, n. 3, p.906-914, 2006.

KURBANOV, R.; ZAKHAROVA, N. I. Application of Vegetation Indexes to Assess the Condition of Crops. **Agricultural Machinery and Technologies**, v. 14, n.4, p.4-11, 2020.

LARA, O. Q.; BONI, D.; PICHEK, D. B.; MATT, M. P.; SOUZA, C. A.; FERREIRA, E. Esterco de ave como alternativa à adubação convencional de *Brachiaria brizantha* no estado de Rondônia. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v.64, n.248, p.355-363, 2015.

LOURENÇO, A. O. S. S. Caracterização e modelação da variabilidade espacial da produtividade e da composição botânica de uma pastagem melhorada de sequeiro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) - Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 2018. 120p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v.58, n.8, p.1246-1266, 1963.

NAKAI, É. S. **Quantificação da biomassa e estoque de carbono em diferentes coberturas vegetais por meio de sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2016. 153p.

NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; MELO, J. C.; SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.9, p.995-1004, 2013.

PARREIRA, J. C. L.; SILVA, T. R. L.; BESSA NETO, J. V.; GIONGO, P. R. Índices de vegetação obtidos por meio de imagens de VANTs em pastagem. In: CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS – UEG, 8, 2022, Santa Helena de Goiás. **Anais...** Santa Helena de Goiás: Universidade Estadual de Goiás – Campus Sudoeste, 2022. 12p.

PINGUELLO, A. J. C.; TAMEIRÃO, E. R.; GONZAGA, L. W. F.; MONGELLI, M. S.; FARIA, P. H. A.; FERRANTE, M.; FERNÁNDEZ, F. E. Uso de índice de vegetação da diferença normalizada na estimativa de produção de forragem. **PUBVET**, Maringá, v.14, n.3, p.1-7, 2020.

RAVAGLIA, A. G.; SILVA, L. C.; SANTOS, S. A.; SHIMABUKURO, Y. E.; PELLEGRIN, L. A.; SORIANO, B. M.; SILVA, G. A. Uso de um Modelo Linear de Mistura Espectral e Índice de Vegetação na Avaliação de Pastagens em Degradação no Pantanal. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 5, 2010, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2015. p.1-5.

ROBERTSON, G.P. **GS+ Geostatistics for Environmental Science User Manual**. Gamma Design Software. Version 3.1. Plainwell, MI, 1998.

ROUSE, J. W.; HAAS, H.R.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE -1 SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SALMAN, A. K. D., SOARES, J. P. G., CANESIN, R. C. **Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2006. 6p. (Circular Técnica, 84).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v.38, n.3, p.699-705, 2014.

SILVA NETO, S. P. da; SANTOS, A. C. dos; 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**, Pouso Alegre, v.8, n.2, p.119-130, 2016.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; CRUZ, R. S. Dependência espacial em levantamentos de estoques de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizhanta* cv. Marandu. **Acta Amazonica**, Manaus, v.42, n.4, p.547-556, 2012.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; SILVA, J. E. C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-Marandu. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, supplement 1, p.41-53, 2012.

SOUZA, M. R. Q. **Estimativa de biomassa de trigo usando imagens de alta resolução espacial a partir de veículo aéreo não tripulado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia, Porto Alegre. 2018. 108p.

SOUZA, S. M.; PARANHOS FILHO, A. C. **Índices de vegetação aplicados à identificação de tipos de cultura**. São Paulo: Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, 2021. 31p.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in agronomy.**, v.38, p.45-93, 1985.

TREVISAN, R. G.; EITELWEIN, M. T.; COLAÇO, A. F.; GARZELLA, T. C.; MOLIN, J. P. Imagens de satélite da vegetação nativa no mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10, 2015, Ponta Grossa. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2015. 10p.

VIEIRA, S. R.; GARCIA, M. A. G.; GONZÁLEZ, A. P.; SIQUEIRA, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 181–190, 2010.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

ZANZARINI, F. V.; PISSARA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.6, p.608-614, 2013.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980, p. 319-344.