



CORRELAÇÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA COM A PRODUÇÃO E QUALIDADE NUTRICIONAL DA FORRAGEM DA AVEIA PRETA

Gabriela Dacas¹, Joana Correa Sturza¹, Luiza Vandrielli Goulart Unamuzaga², Rafaela Caucci Minatel¹, Henrique da Costa Mendes Muniz³, Cleiton José Ramão⁴, Deise Dalazen Castagnara³

Introdução

Na produção agropecuária de ruminantes em pastagens, ajustes de carga animal e das suplementações ofertadas em função da oferta forrageira status nutricional da pastagem são fundamentais para elevados índices produtivos. No entanto, são práticas dependentes de processos laboriosos e demorados frequentemente negligenciadas nas fazendas gerando um gargalo operacional (Alckmin et al., 2021).

Paralelamente, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) tem sido amplamente utilizado nos últimos anos para análise nutricional de lavouras de grãos, juntamente com o índice de clorofila (Coelho et al., 2019). Assim como, também demonstrou resultados positivos na estimativa da produção de biomassa da aveia (Coelho et al. 2018; 2019; Urquizo et al. 2024) e trigo (Trentin et al. 2021).

Essas correlações são possíveis porque o NDVI utiliza dados de reflectância nas faixas do vermelho e infravermelho, variando em uma escala de -1 a 1. Valores mais altos de NDVI indicam maiores diferenças entre a reflectância do infravermelho e do vermelho, o que reflete uma maior quantidade de clorofila e massa seca, resultando em um maior potencial produtivo da planta (Rissini et al., 2015). Esse fenômeno ocorre porque o aumento da concentração de clorofila está associado ao incremento da área foliar (biomassa) e da atividade fotossintética (Serrano et al., 2000), permitindo a correlação entre índices espectrais e o acúmulo de biomassa das culturas (Liu, 2011). O *GreenSeeker* é um sensor remoto ativo utilizado para estimar o NDVI, emitindo luz em duas bandas de comprimento de onda. A refletância da luz captada pelo sensor é usada para calcular o índice vegetativo (Martin et al., 2012).

No campo da aplicação prática, técnicas de mensuração de biomassa e parâmetros nutricionais baseadas em sensores podem oferecer uma avaliação não destrutiva, quase simultânea e altamente eficiente (Gebremedhin et al., 2019), contribuindo de maneira significativa com uma pecuária mais precisa, produtiva e sustentável.

Desta forma, a hipótese do trabalho é que o NDVI poderia ser utilizada para estimar a produção de biomassa de forragem, bem como seu valor nutricional. Assim, objetivou-se estabelecer as correlações entre os índices de NDVI da aveia preta com parâmetros produtivos e nutricionais da cultura, em projeto piloto visando futura elaboração de equações de predição.

Material e métodos

Para o desenvolvimento do estudo utilizou-se um banco de dados com 1280 observações coletadas sob condições experimentais durante dois anos de estudos de campo. Os ensaios foram conduzidos na estação experimental do Instituto Riograndense do Arroz, unidade de Uruguaiana, durante o inverno dos anos de 2020 e 2021.

Os ensaios experimentais foram implantados sob o delineamento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais estiveram as culturas antecessoras à semeadura da aveia (soja e arroz) e nas subparcelas as doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 50, 100, 150 kg ha⁻¹).

¹ Discentes de Medicina Veterinária, UNIPAMPA. E-mail: gabrieladacas.aluno@unipampa.edu.br

² Med. Vet. Pós Graduação em Ciência Animal, UNIPAMPA. E-mail: luizaunamuzaga.aluno@unipampa.edu.br

³ Docentes na Medicina Veterinária, UNIPAMPA. E-mail: deisekastagnara@unipampa.edu.br

⁴ Pesquisador do Instituto Riograndense do Arroz, IRGA, Uruguaiana. E-mail: cramao@gmail.com

Ainda, as coletas de dados foram realizadas em dois ciclos de crescimento forrageiro em cada ano, quando a pastagem encontrava-se com crescimento vegetativo aos 65 e 100 dias após a semeadura.

Adotou-se essas fontes de variação para o estudo visando contemplar fatores ambientais que pudesse interferir nos índices de NDVI, obtendo-se desta forma, dados de grande amplitude, garantindo maior confiabilidade aos resultados.

A área experimental está situada sob as coordenadas (29°50'44.6"S 57°05'11.6"W) sob altitude de 74 m, com clima Cfa 2 segundo Köppen, e solo classificado como Chernossolo Ebânico (Santos et al., 2025).

Nas semeaduras adotou-se espaçamento de 0,17 m entre linhas, densidade de sementes de 80 kg ha⁻¹ e aplicação na base de 200 kg ha⁻¹ do formulado 05-30-15 (N: P₂O₅: K₂O). As doses de N foram aplicadas em cobertura aos 25 dias após a emergência, utilizando ureia (46% de N), no estágio vegetativo correspondente ao terceiro trifólio (V₃).

As amostragens foram realizadas quando a pastagem atingiu a altura recomendada para o pastejo, que é de 30 cm (Quatrin et al., 2017). Para as leituras de refletância do dossel e determinação do Índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI, foram coletados pontos amostrais com sensor óptico ativo (GreenSeeker). O sensor foi posicionado a uma altura de 0,8 – 1,0 metro acima do dossel e efetuando-se uma leitura por unidade experimental às 9:30 da manhã. Imediatamente após as leituras de NDVI foi realizada amostragem de biomassa nas parcelas contemplando uma área amostral de 0,25 m². A biomassa coletada foi submetida à secagem (55°C até peso constante) para determinação da produção de matéria seca (PMS).

Após a secagem as amostras foram processadas, determinando-se os parâmetros nutricionais de concentração de nitrogênio (%N), proteína bruta (PB), fibras em detergente neutro e ácido (FDN e FDA), consumo de matéria seca em percentual do peso vivo (CMSPV), nutrientes digestíveis totais (NDT), digestibilidade da matéria seca (DIGMS) e valor relativo da forragem (VRF).

Os dados foram organizados em planilha Excel e procedeu-se as análises de correlações de Pearson adotando-se o programa SPSS (IBM) com significância de 5%.

Resultados e discussão

A análise de dados revelou correlações positivas entre os índices de NDVI e a PMS nas duas avaliações realizadas no primeiro e segundo cortes em 2020 (0,866** e 0,858**) e em 2021 (0,822** e 0,630**) (Tabela 1). Estes resultados concordam com os obtidos por Coelho et al. (2018; 2019) e Urquiza et al. (2024) que observaram alta acurácia entre o NDVI e a produção de biomassa da aveia. Como o NDVI utiliza dados de reflectância nas faixas do vermelho e infravermelho, variando em uma escala de -1 a 1, valores mais altos de NDVI indicam maiores diferenças entre a reflectância do infravermelho e do vermelho. Na prática, isso significa um dossel de plantas com maior quantidade de clorofila e massa seca, resultando em um maior potencial produtivo da planta (Rissini et al., 2015). Na leitura das reflectâncias o NDVI indiretamente detecta a concentração de clorofila das plantas (Coelho et al., 2019), e esse parâmetro está diretamente associado ao incremento da área foliar (biomassa) e da atividade fotossintética (Serrano et al., 2000), permitindo a correlação entre índices espectrais e o acúmulo de biomassa (Liu, 2011).

Ao serem correlacionados com os teores de N e de PB na biomassa produzida pela aveia preta, os índices de NDVI apresentaram correlações positivas e significativas em todas as avaliações de 2020 (0,695** e 0,780**) e 2021 (0,773** e 0,616**). As correlações obtidas são corroboradas por outros estudos realizados em outras culturas, como no estudo de Rya et al. (2011) que identificaram correlações significativas entre NDVI e teores de N no arroz, e Shendryk et al. (2020), que observaram elevados coeficientes de determinação NDVI e N foliar na cana-de-açúcar. Como o método Kjeldal usado para determinação do N e PB em tecidos

foliares corrige a concentração de N por 6,25 para obtenção da PB, se o NDVI pode ser usado para estimar o N em tecidos vegetais também pode ser usado para estimar a PB em forragens.

Nas correlações do NDVI com os constituintes fibrosos das plantas forrageiras (FDN e FDA) também foram observados resultados positivos e significativos (Tabela 1). Todas as correlações obtidas foram superiores a 0,549** e significativas a 1% de probabilidade, no FDA 2º corte de 2020 e FDN 1º corte de 2021 foram superiores a 0,843**. As altas e significativas correlações reforçam o potencial de uso do NDVI também como estimador dos constituintes fibrosos da forragem ofertada em pastagens de aveia preta. Como o NDVI faz leituras da reflectância do dossel forrageiro, alterações nesse dossel impactam nas leituras de NDVI. Mas, tão importante quanto, são as alterações que o dossel forrageiro implica na composição botânica e nutricional da forragem presente neste dossel.

Gebremedhin et al. (2019) por exemplo, detectaram correlação positiva entre NDVI e altura das plantas em pastagens de azevém. Já as correlações entre altura de plantas forrageiras e valor nutricional são conhecidas na literatura. Sabe-se que o aumento da estatura das plantas acarreta aumento de número de folhas e do peso total da planta ou perfilho. O aumento da altura resulta em aumento da proporção de colmos na forragem em detrimento às folhas. Para sustentar essas alterações morfológicas, a planta deposita mais parede celular, inclusive lignina. O aumento da participação de colmos e a maior deposição de parede celular, que envolve todas as células vegetais (Bossoni et al., 2025), resulta em uma forragem com maiores teores de FDN e FDA pois estes são os principais parâmetros usados para estudo da parede celular em alimentos para ruminantes.

Já as correlações negativas observadas em todas as avaliações entre o NDVI e o CMSPV, NDT, DIGMS e VRF justificam-se pelas correlações negativas que esses parâmetros possuem com os constituintes fibrosos (FDN e FDA) e que já são extensivamente reportados na literatura sobre nutrição de ruminantes. O CMSPV revela a capacidade de ingestão voluntária de MS (Oliveira et al., 2017) de um determinado alimento, e quando este possui elevados teores de FDN ocorrerá o efeito de enchimento (Mertens et al., 1996), limitando o consumo e o desempenho animal. Assim, sua mensuração é uma ferramenta fundamental no manejo de dietas de ruminantes.

O NDT é um dos índices nutricionais mais relevantes em alimentos para ruminantes (Neumann et al., 2024), pois revela seu potencial de fornecimento de energia por meio do aproveitamento dos nutrientes. Por meio do NDT podemos prever se um alimento poderá ou não atender a necessidade energética de uma determinada categoria animal.

A DIGMS indica qual o percentual de um alimento que poderá ser digerido ao longo do trato digestório, constituindo um dos principais indicadores do valor nutricional das forragens (De Macêdo Carvalho et al., 2021). Possui relação direta com o consumo voluntário, uma vez que maiores taxas de digestão da fibra reduzem o tempo de permanência do alimento no rúmen, atenuando o efeito de enchimento e estimulando o consumo (Cardoso et al., 2014; Oliveira et al., 2017). Estima-se que o consumo máximo de matéria seca seja alcançado em dietas com digestibilidade entre 66% e 68% (Cardoso et al., 2014).

A estimativa do VRF é relevante para manejos nutricionais de animais em condições de pastejo porque trata-se de um indicador de qualidade em função da proporção de carboidratos estruturais (FDN) e não estruturais. Valores próximos ou superiores a 100% refletem maior conteúdo de carboidratos não fibrosos, rapidamente fermentáveis no rúmen (Brandstetter et al., 2019), enquanto valores abaixo de 80% indicam predominância de carboidratos fibrosos, de digestão lenta, ou até indigestíveis, como a lignina (Gayer et al., 2019).

Conclusões

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) possui elevadas e significativas correlações com a produção de matéria seca,

concentração de nitrogênio na biomassa, proteína bruta, fibra em detergente neutro e ácido, consumo de matéria seca, nutrientes digestíveis totais, digestibilidade e valor relativo da forragem. Os resultados sugerem sua potencialidade como estimador de parâmetros produtivos e nutricionais da aveia preta.

Referências

ALCKMIN, G.T. et al. Comparing methods to estimate perennial ryegrass biomass: canopy height and spectral vegetation indices. **Precision Agriculture**, v. 22, p. 205–225, 2021.

BOSSONI, G.E.B. et al. Assessing the cell wall nitrogen use efficiency – Can the differences between cell wall architectures contribute to the nitrogen economy of plants? **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 229, n. 12, 110548, 2025.

BRANDSTETTER, E. V. et al. Protein and carbohydrate fractionation of Jiggs Bermudagrass in different seasons and under intermittent grazing by Holstein cows. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 41, n. 1, p. 1–7, 2019

CARDOSO E.S. et al. Reguladores de consumo de bovinos em pastagem: recentes avanços. **Revista eletrônica Nutritime**. v. 11, n. 5, p. 3672-3682. 2014

COELHO, A.P. et al. Chlorophyll meters as form irrigation management and nitrogen fertilization in oats. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 12, 2542, 2018.

COELHO, A. P. et al. Estimation of irrigated oats yield using spectral indices. **Agricultural Water Management**, v. 223, n. 5, p. 105700, 2019.

DE MACÊDO CARVALHO, C. B. et al. Métodos de análise da composição química e valor nutricional de alimentos para ruminantes. **Research, Society and Development**, v.10, n.10, p. 1-10, 2021.

GAYER, T. O. et al. Different dry matters content used for the conservation of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) in anaerobic environment. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 6, p. 369–378, 2019

GEBREMEDHIN, A. et al. Development and Validation of a Model to Combine NDVI and Plant Height for High-Throughput Phenotyping of Herbage Yield in a Perennial Ryegrass Breeding Program. **Remote Sensing**, v.11, n.21, 2494, 2019.

LIU, K., et al. Corn (*Zea mays* L.) plant characteristics and grain yield response to N fertilization programs in no-tillage system. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**. 6, 279–286, 2011.

MARTIN, D. E. et al. Laboratory evaluation of the GreenSeeker™ hand-held optical sensor to variations in orientation and height above canopy. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, vol. 5, no. 1, p. 43–47, 2012.

MERTENS, D. R. Formulating dairy rations: using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: **Information conference with dairy and forage industries**. Madison: US Dairy Forage and Research Center, 1996.

NEUMANN, M. et al. Nutritional Value Evaluation of Corn Silage from Different Mesoregions of Southern Brazil. **Agriculture**, v. 14, n. 7, p.1055, 2024.

OLIVEIRA, B. C. et al. Mecanismos reguladores de consumo em bovinos de corte. **Nutritime revista eletrônica**, v.14, n.4, p. 6066-6075, 2017.

QUATRIN, M. P. et al. Produtividade de genótipos de trigo duplo propósito submetidos ao pastejo com vacas em lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n. 6, p. 1615-1623, 2017

RISSINI, A. L. et al Índice de Vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1703-1713, 2015.

RYA , C. et al Integrating remote sensing and GIS for prediction of rice proteins contents. **Precision Agriculture** v. 12, p. 378-394, 2011.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 396 p.

SERRANO, L. et al Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, Madison, v.40, n.3, p.723-731, 2000.

TRENTIN, C. et al Biomass production and wheat grain yield and its relationship with NDVI as a function of nitrogen availability. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.16, n.4, e34, 2021. DOI:10.5039/agraria.v16i4a34

URQUIZO et al. Estimation of Forage Biomass in Oat (Avena sativa) Using Agronomic Variables through UAV Multispectral Imaging. **Remote Sensing**, 16, 3720. 2024.

Tabela 1. Correlações de Pearson entre os índices de NDVI e parâmetros produtivos e nutricionais da aveia preta, sob doses crescentes de nitrogênio e cultivada após soja ou arroz em terras baixas, Uruguaiana, nos anos de 2020 e 2021 em dois cortes (C1 e C2)

Parâmetros analisados	Avaliações de NDVI realizadas			
	2020 – 1°C	2020 – 2°C	2021 – 1°C	2021 – 2°C
PMS (kg ha ⁻¹)	0,866**	0,858**	0,822**	0,630**
N (%)	0,695**	0,780**	0,773**	0,616**
PB (g kg ⁻¹)	0,695**	0,780**	0,773**	0,616**
FDN (g kg ⁻¹)	0,549**	0,593**	0,843**	0,579**
FDA (g kg ⁻¹)	0,607**	0,870**	0,728**	0,661**
CMSPV (%PV)	-0,556**	-0,611**	-0,836**	-0,593**
NDT (g kg ⁻¹)	-0,607**	-0,870**	-0,728**	-0,661**
DIGMS (g kg ⁻¹)	-0,607**	-0,870**	-0,728**	-0,661**
VRF (%)	-0,653**	-0,774**	-0,845**	-0,693**

*, **: significativos a 5 e 1%. PMS: produção de matéria seca; N: nitrogênio; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; CMPSV: consumo de matéria seca em percentual do peso vivo; NDT: nutrientes digestíveis totais; DIGMS: digestibilidade da matéria seca; VRF: valor relativo da forragem; 1°C: primeiro corte; 2°C: segundo corte.