

**UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
MESTRADO EM ZOOTECNIA**

**USO DA ESPECTROSCOPIA NIR PARA MONITORAMENTO NUTRICIONAL DE
OVINOS EM PASTAGENS DE CAPIM-MOMBAÇA**

IGOR CASSIANO SARAIVA SILVA

**SOBRAL
2020**

Igor Cassiano Saraiva Silva

**USO DA ESPECTROSCOPIA NIR PARA MONITORAMENTO NUTRICIONAL DE
OVINOS EM PASTAGENS DE CAPIM-MOMBAÇA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia da Universidade Estadual Vale do Acaraú
como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Zootecnia.

Orientador: Dr. Marco Aurélio Delmondes Bomfim
Coorientador: Dr^a. Sueli Freitas dos Santos

SOBRAL
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Estadual Vale do Acaraú

Sistema de Bibliotecas

Silva, Igor Cassiano Saraiva

Uso da espectroscopia NIR para o monitoramento nutricional de ovinos em pastagens de capim-mombaça [recurso eletrônico] / Igor Cassiano Saraiva Silva. -- Sobral, 2020.

1 CD-ROM: il. ; 4 ³/₄ pol.

CD-ROM contendo o arquivo no formato pdf do trabalho acadêmico com 68 folhas.

Orientação: Prof. Ph.D. Marco Aurélio Delmondes Bomfim.

Co-Orientação: Prof.^a Ph.D. Sueli Freitas dos Santos.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Vale do Acaraú / Centro de Ciências Agrárias e Biológicas

1. Panicum maximum. 2. espectroscopia. 3. modelos multivariados. 4. pequenos ruminantes. I. Título.

Igor Cassiano Saraiva Silva

USO DA ESPECTROSCOPIA NIR PARA MONITORAMENTO NUTRICIONAL DE OVINOS EM PASTAGENS DE CAPIM-MOMBAÇA

Esta Dissertação foi julgada adequada como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Zootecnia” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Vale do Acaraú

Sobral, 28 de julho de 2020.

Banca Examinadora:


Prof.ª Dr.ª Cláudia Goulart de Abreu
Coordenadora do Curso


Dr. Marco Aurélio Delmondes Bomfim
Orientador
EMBRAPA Caprinos e Ovinos


Dr.ª Sueli Freitas dos Santos
Coorientadora
EMBRAPA Caprinos e Ovinos


Prof.ª Dr.ª Jocilaine Garcia
Examinadora externa
Universidade Estadual do Mato Grosso



Dr.ª Ana Clara Rodrigues Cavalcante
Examinadora externa
EMBRAPA Caprinos e Ovinos


Dr. Rafael Gonçalves Tonucci
Examinador externo EMBRAPA
Caprinos e Ovinos

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ESTAÇÃO DO ANO SOBRE O PERFIL DE ESPECTROS NIR DAS FEZES DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM DE CAPIM-MOMBAÇA

- Figura 1. Gráfico de precipitação (mm) e radiação (KJ/m²) da região do Vale do Guaporé durante o período experimental.32
- Figura 2. Avaliação do impacto dos meses (a) e das variações de composição bromatológica, morfológica e mudanças climáticas (b), para caracterização das estações.33
- Figura 2. Dendograma de agrupamento hierárquico, para caracterização das estações chuvosa (Cluster 1) e seca (Cluster 2), a partir das variáveis indicadas em PCA.34
- Figura 3. Perfil espectral das amostras de fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, antes (a) e após (b) aplicação do pré-tratamento MSC.35
- Figura 4. Análise dos componentes principais dos espectros de fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, de acordo com as estações do ano (Seca – ●; Chuva – ■).36
- Figura 5. Intervalo de confiança de Hotelling (T²) dos espectros de fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, de acordo com as estações do ano (Seca – ●; Chuva – ■).37

CAPÍTULO 2 - USO DA ESPECTROSCOPIA NIR PARA PREVISÃO DO TEOR DE PROTEÍNA BRUTA E DIGESTIBILIDADE IN VITRO DA MATÉRIA SECA DA DIETA DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM DE CAPIM-MOMBAÇA

- Figura 1. Modelos de calibração (a) e validação cruzada (b) de PB, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.....64
- Figura 2. Modelos de calibração (a) e validação cruzada (b) de PB, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.....65
- Figura 3. Regiões de absorção e coeficientes de regressão PLS das variáveis mais importantes do modelo de PB, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça. Região 1 = 1410, 1422 nm; região 2 = 1676, 1678, 1680, 1690, 1702, 1732, 1734 nm; região 3 = 1902, 1904, 1906, 1962 nm; região 4 = 2254, 2264, 2266, 2268, 2296, 2310, 2316, 2318, 2320, 2322, 2350, 2354, 2398, 2404, 2414, 2418, 2442, 2478, 2494 nm.66
- Figura 4. Regiões de absorção e coeficientes de regressão PLS das variáveis mais importantes do modelo de DIVMS, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça. Região 1 = 1480, 1482 nm; região 2 = 1696, 1698, 1700, 1746 nm; região 3 = 2054, 2056, 2166, 2230, 2232, 2264, 2266, 2268, 2306, 2350, 2354, 2412, 2416 e 2418 nm.67

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ESTAÇÃO DO ANO SOBRE O PERFIL DE ESPECTROS NIR DAS FEZES DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM DE CAPIM-MOMBAÇA

Tabela 1. Estatística descritiva da composição bromatológica e morfológica do capim-mombaça de acordo com as estações.....	30
Tabela 2. Classificação de similaridade entre amostra das estações seca e chuvosa, por meio do SIMCA.	31

CAPÍTULO 2 - USO DA ESPECTROSCOPIA NIR PARA PREVISÃO DO TEOR DE PROTEÍNA BRUTA E DIGESTIBILIDADE IN VITRO DA MATÉRIA SECA DA DIETA DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM DE CAPIM-MOMBAÇA

Tabela 1. Estatísticas da regressão PLS para modelos de calibração e da validação cruzada, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.....	60
Tabela 2. Estatísticas da regressão PLS para modelos de previsão, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.....	61
Tabela 3. Participação percentual e total de comprimentos de onda por bandas no desenvolvimento do modelo de PB, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-Mombaça.	62
Tabela 4. Participação percentual e total de comprimentos de onda por bandas no desenvolvimento do modelo de DIVMS, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-Mombaça.....	63

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	8
GENERAL ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Geral	11
2.2 Específicos	11
CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ESTAÇÃO DO ANO SOBRE O PERFIL DE ESPECTROS NIR DAS FEZES DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM DE CAPIM-MOMBAÇA	12
Resumo	13
Introdução	14
Material e métodos	16
Resultados	21
Discussão	23
Conclusão	25
Referências	26
CAPÍTULO 2 - USO DA ESPECTROSCOPIA NIR PARA PREVISÃO DO TEOR DE PROTEÍNA BRUTA E DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> DA MATÉRIA SECA DA DIETA DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM DE CAPIM-MOMBAÇA	38
Resumo	39
Introdução	40
Material e métodos	41
Resultados	46
Discussão	48
Conclusão	53
Referências	53
ANEXOS	68

RESUMO GERAL

O uso do NIR fecal para o monitoramento da condição nutricional do rebanho traz agilidade nas informações e garante a viabilidade da produção. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o uso da espectroscopia NIR das fezes, para previsão do teor de proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da dieta de ovinos mantidos em pastagens de capim-mombaça. Amostras de fezes e pasto foram coletadas no Vale do Guaporé, Estado de Mato Grosso. Foram selecionados 10 ovinos Santa Inês adultos, de rebanhos adaptados à região e ao pastejo de *Panicum maximum*, cv. Mombaça. As amostras de pasto foram analisadas quanto aos teores de MS, PB, MO, MM, DIVMS e DIVMO. Amostras fecais foram coletadas da ampola retal, submetidas a pré-secagem à $\pm 55^{\circ}\text{C}$, moídas, e secas novamente à $\pm 55^{\circ}\text{C}$, por três horas. Foram coletados espectros de 360 amostras fecais, com uso do instrumento NIR Foss® 5000, na faixa de 1100 a 2500 nm, a intervalos de 2 nm. Também foram coletadas informações sobre as estações do ano (seca e chuvosa). Para desenvolvimento dos modelos software Unscrambler® X, versão 10.2, usando o teor de PB e a DIVMS, além do valor de reflectância nos diferentes comprimentos de onda como variáveis independentes. Os espectros fecais foram pré-tratados com *Multiplicative Scatter Correction* (MSC), posteriormente, passaram pela *Principal Component Analysis* (PCA) e tiveram similaridade testada pela *Soft Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA). Os espectros foram pré-tratados com Derivadas do *Savitzky-Golay* (SG), *Standard Normal Variation* (SNV) e sua associação. Os modelos foram desenvolvidos a técnica de regressão *Partial Least Squares* (PLS). De acordo com a análise exploratória, o pré-tratamento com a MSC, não indicou o agrupamento dos espectros segundo as estações do ano. Após aplicação da PCA, amostras fecais do período chuvoso incorporaram maior variação ao banco de dados. Além disso, a avaliação de classe SIMCA, identificou similaridade de 86 e 70% entre amostras do período seco e chuvoso. Por fim, a partir da análise de Hotelling (T^2) pôde-se considerar a modelagem de um único banco de dados por não haver separação ou agrupamento amostral. O modelo de PB, apresentou modelo de calibração com $R^2 = 0,88$ e RMSEC = 0,80, validação cruzada com $R^2 = 0,84$ e RMSECV = 0,96. Já o modelo da DIVMS, apresentou em seus parâmetros de calibração com $R^2 = 0,75$ e RMSEC = 4,02, validação cruzada com $R^2 = 0,69$ e RMSECV = 4,54. Os RMSEP para PB e DIVMS foram de 1,09 e 5,46, respectivamente, porém, em termos relativos, foram equivalentes a apenas 10,22% para PB e 10,97% para DIVMS. O modelo de PB foi desenvolvido com 182 variáveis consideradas importantes, enquanto o da DIVMS utilizou apenas 45. A tecnologia de NIRS fecal pode ser utilizada com acurácia para determinar o teor de PB e a DIVMS da dieta de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.

Palavras-chave: *Panicum maximum*, espectroscopia, modelos multivariados, pequenos ruminantes.

GENERAL ABSTRACT

The use of fecal NIR to monitor the nutritional condition of the herd brings agility in the information and guarantees the viability of the production. In this sense, the objective was to evaluate the use of fecal NIR spectroscopy to predict the crude protein (CP) content and in vitro dry matter digestibility (IVDDM) of the diet of sheep collected from pastures of mombaça grass. Stool and pasture samples were collected in the Guaporé Valley, State of Mato Grosso. Ten adult Santa Inês sheep were selected, from herds adapted to the region and pasture of *Panicum maximum*, cv. Mombaça. The setting was analyzed for the levels of MS, PB, MO, MM, IVDDM and IVDOM. Fecal samples were collected from the rectal ampoule, subjected to pre-drying at $\pm 55^{\circ}\text{C}$, ground, and dried again at $\pm 55^{\circ}\text{C}$, for three hours. Fecal spectra of 360 were collected using the NIR Foss © 5000 instrument, in the range from 1100 to 2500 nm, at 2 nm intervals. Information about the seasons (dry and rainy) was also collected. To develop from the software models Unscrambler® X, version 10.2, using the content of PB and a DIVMS, in addition to the reflectance value at the different wavelengths as independent variables. Faecal spectra were pre-treated with Multiplicative Dispersion Correction (MSC), subsequently passed through Principal Component Analysis (PCA) and had similarity tested by the Independent Soft Model of Class Analogy (SIMCA). The spectra were pre-treated with Savitzky-Golay derivatives (SG), Standard Normal Variation (SNV) and their association. The models were developed using the Partial Least Squares (PLS) regression technique. According to the exploratory analysis, the pre-treatment with the MSC did not indicate the grouping of the spectra according to the seasons. After the application of the PCA, the feces of the rainy season incorporated greater variation in the database. In addition, a SIMCA class assessment identified a similarity of 86 and 70% between the dry and rainy periods. Finally, from the analysis of Hotelling (T^2), it was possible to consider a modeling of a single database because there is no separation or sampling grouping. The CP model, presented the calibration model with $R^2 = 0.88$ and RMSEC = 0.80, cross-validation with $R^2 = 0.84$ and RMSECV = 0.96. The DIVMS model, on the other hand, presented in its calibration parameters with $R^2 = 0.75$ and RMSEC = 4.02, cross-validation with $R^2 = 0.69$ and RMSECV = 4.54. The RMSEP for CP and IVDDM were 1.09 and 5.46, respectively, however, in relative terms, they were equivalent to only 10.22% for PB and 10.97% for IVDDM. The CP model was developed with 182 variables considered important, while the IVDDM model uses only 45. The fecal NIRS technology can be used with accuracy to determine the CP content and IVDDM of the diet of sheep in the pasture of grass - mombaça.

Keywords: *Panicum maximum*, spectroscopy, multivariate models, small ruminants.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Entre as forrageiras tropicais, o capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) é uma das forrageiras mais utilizadas nos sistemas de produção de ruminantes a pasto. E como em outras espécies, as variações climáticas ao longo do ano, influenciam diretamente no seu valor nutritivo.

Um dos principais desafios para a produção de ovinos a pasto, é a estacionalidade de produção e a flutuação na qualidade das pastagens. O crescente consumo de seus produtos, tem fomentado a identificação dos nutrientes limitantes das pastagens, nas diferentes épocas do ano, com intuito de elaborar estratégias de alimentação, que mantenham a boa produtividade desses animais. No entanto, o estabelecimento de um plano nutricional eficiente depende, principalmente, do conhecimento sobre a qualidade da forragem disponível, para o atendimento das suas exigências, que implicam na redução de possíveis prejuízos relacionados à déficits nutricionais.

Várias técnicas de análises químicas, utilizadas para quantificar os atributos de qualidade dos alimentos e fornecer subsídios para a formulação de dietas, estão disponíveis na literatura. No entanto, as metodologias tradicionais utilizadas pelos laboratórios de nutrição animal, exigem maior tempo para realização completa das análises. Outros limitantes estão relacionados aos custos da análise, que dificultam o acesso, principalmente dos médios e pequenos produtores e, a geração de resíduos químicos de alta toxicidade.

Porém, a manutenção da viabilidade econômica dos sistemas de produção, depende da maior rapidez na tomada de decisões relacionadas ao manejo nutricional dos animais, em função das alterações na qualidade do pasto com o passar do tempo. Portanto, a adoção de tecnologias que busquem estimar a qualidade da dieta em menor tempo, podem tornam o produtor mais competitivo.

Diante deste cenário, a espectroscopia da reflectância do infravermelho próximo (NIRS) pode ser usada para estimar qualidade da dieta sob condições de pastejo a partir da análise das fezes. Pois seu desenvolvimento, foi baseado na teoria de que as fezes refletem as características biológicas e químicas dos alimentos ingeridos, bem como o status fisiológico do animal (Decruyenaere et al., 2009). Além de ser uma tecnologia sustentável, em função da rapidez, confiabilidade, baixo custo e livre de reagentes químicos nocivos ao meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o uso da tecnologia da espectroscopia NIR para monitoramento nutricional de ovinos em pastagens de capim-mombaça.

2.2 Específicos

- Avaliar o efeito da estação do ano sobre o perfil de espectros NIR das fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.
- Prever o teor de proteína bruta e digestibilidade *in vitro* da matéria seca da dieta de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, por meio de espectroscopia de NIR das fezes.

**CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ESTAÇÃO DO ANO SOBRE O
PERFIL DE ESPECTROS NIR DAS FEZES DE OVINOS MANTIDOS EM
PASTAGEM DE CAPIM-MOMBAÇA**

Resumo

O estudo avaliou os efeitos das estações do ano sobre o perfil de espectros de NIR das fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, visando o desenvolvimento de modelos de NIRS fecal. Foram selecionados 10 ovinos Santa Inês, com oito meses de idade e $24,25 \pm 3,84$ kg. Coletou-se 360 pares de amostras de pastejo simulado e fezes. Após secagem, foram determinados os teores de matéria seca (MS), mineral (MM) e orgânica (MO), proteína bruta (PB), digestibilidade da in vitro da matéria seca (DIVMS) e orgânica (DIVMO) do pasto. As amostras de fezes foram secas e tiveram seus espectros coletados com auxílio do NIR FOSS[®] 5000. As estações foram determinadas por meio de Análise de Componentes Principais (PCA) e Hierarquização de Clusters (HC). A análise exploratória dos espectros fecais foi realizada através da Correção de Dispersão Multiplicativa (MSC), PCA, Modelagem Suave Independente de Analogias entre Classes (SIMCA) e intervalo de confiança de Hotelling, com auxílio do software Unscrambler[®] X. A PCA e a HC mostraram que, os meses de janeiro e julho determinaram as características das estações chuvosa e seca, respectivamente. A observação do perfil espectral após a aplicação da MSC não indicou separação entre as estações do ano. A distribuição dos espectros fecais após PCA, notou-se que as duas primeiras componentes principais (PC), capturaram 88% da variação total dos dados, com maior contribuição dos espectros do período chuvoso. A análise da SIMCA demonstrou que os espectros fecais das estações seca e chuvosa tiveram similaridade 70 e 86%, respectivamente. A análise de Hotelling demonstrou, assim como as análises precedentes, que não houve separação ou agrupamento amostral. As estações do ano influenciam o perfil espectral das fezes ovinas, porém,

a similaridade entre as estações indicou o desenvolvimento do modelo FNIRS considerando a variação anual do conjunto de dados.

Palavras-chave

Espectroscopia, análise multivariada, pequenos ruminantes, *Panicum maximum*.

Introdução

Os rebanhos ovinos têm seguido um constante crescimento em vista do atendimento às exigências do mercado. Porém, em sistemas exclusivamente a pasto, as estações seca e chuvosa, influenciam a disponibilidade e a qualidade da forragem, assim como a o abate sazonal desses animais. Em condições de pastejo, o desempenho animal depende diretamente do consumo diário de forragem e da qualidade do material ingerido, de modo que o pasto deve atender as necessidades do animal tanto do ponto de vista quantitativo, quanto qualitativo (Sbrissia et al., 2017).

Portanto, é recomendável considerar as condições ambientais de luminosidade, umidade e temperatura, no uso da pastagem como a principal fonte de alimento dos ruminantes, pois o conhecimento do seu valor nutritivo durante o ano, contribui para a identificação de fatores que podem modificar o consumo de nutrientes pelos animais (Vargas Junior et al., 2012).

Em sistemas de produção de ovinos, a adoção de práticas de manejo e alimentação adequadas, possibilitam melhor desempenho dos animais e por consequência, melhor retorno econômico (Cardoso et al., 2006), pelo melhor uso do recurso forrageiro e suas implicações na variabilidade do suprimento de nutrientes

ao animal ao longo de sua permanência na propriedade. Portanto, é fundamental o conhecimento da dieta consumida pelos animais para que se possa adequá-la de acordo com a sua exigência.

Nesse contexto, as amostras fecais podem ser utilizadas para o monitoramento da eficiência com que os animais estão utilizando os nutrientes, em função da quantidade de informações relevantes sobre a ingestão e os processos de digestão (Jancewicz et al., 2017). A técnica de espectroscopia de refletância de infravermelho próximo fecal (FNIRS) surgiu como uma proposta de ferramenta de diagnóstico nutricional em sistemas pastoris, pois pode identificar a seletividade de pastejo de animais, bem como as variações espaciais e temporais dos atributos da pastagem (Landau et al., 2005; Landau et al., 2015; Lyons & Stuth, 1992). Além disso, os modelos FNIRS, vem sendo aplicados com sucesso para determinar a composição e a magnitude de variação na composição do alimento ao longo das estações do ano (Tran et al., 2010).

O desenvolvimento de modelos multivariados robustos pressupõe que o banco de dados tenha variabilidade suficiente para contemplar toda a extensão inerente à variável que esteja sendo modelada, mas que toda a variação esteja compreendida em uma mesma nuvem de dados, ou seja, não formem grupos que ensejem o desenvolvimento de mais de um modelo.

Por um lado, as modificações de composição quantitativas e qualitativas do pasto ao longo do ano, em razão das variáveis climáticas, adicionam uma importante fonte de variação que pode tornar os modelos mais robustos. Por outro, mudanças muito acentuadas ou agrupamentos amostrais, podem exigir a separação do banco de dados. Portanto, necessitando que esses espectros sejam avaliados usando

técnicas de reconhecimento de padrões, para que seja indicada a melhor forma de desenvolvimento dos modelos.

Portanto, objetivou-se avaliar o efeito das estações do ano sobre o perfil de espectros de NIR das fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, visando o desenvolvimento de modelos de NIRS fecal.

Material e métodos

Local e coleta de amostras

Para avaliação do efeito da estação do ano, foram coletados os espectros de amostras de fezes (variáveis independentes) e da composição em proteína bruta e digestibilidade *in vitro* do pastejo simulado (variável dependente) de ovinos em pastagens de capim-mombaça (*Panicum maximum*, cv. Mombaça).

As amostras de fezes e pastejo simulado foram coletadas em uma área da Universidade do Estado do Mato Grosso (UNEMAT) campus Pontes e Lacerda, na microrregião do Vale do Guaporé, Estado de Mato Grosso, que está localizado a uma altitude de 274 metros, latitude sul de -15°32'40,38" e longitude oeste de 59°23'39,91. Apresenta clima tropical quente e úmido, com temperatura média de 25 °C e precipitação anual em torno de 1500 mm. (Mato Grosso, 2000).

Período experimental, animais e análises bromatológica

O período de coleta teve duração de 12 meses e compreendeu os meses de julho de 2014 a junho de 2015. Foram selecionados 10 ovinos Santa Inês, de rebanhos adaptados à região, com média de oito meses de idade, pesando $24,25 \pm 3,84$ kg de peso vivo.

Os animais foram mantidos em uma área de um hectare de pastagem de capim-mombaça (*Panicum maximum*, cv. Mombaça), dividida em seis piquetes. No período chuvoso, o pastejo foi realizado em sistema de lotação rotativa, com sete dias de ocupação em cada piquete e 35 dias de descanso. No período seco, os ovinos patejaram a área de forma contínua e receberam suplementação equivalente a 0,5% do peso corporal. O suplemento foi composto por 70% de farelo de milho e 30% farelo de soja.

As porções da dieta selecionadas por cada ovino, foram coletadas por meio de pastejo simulado (Jonhson, 1978) durante três dias consecutivos de cada mês, totalizando 360 amostras.

As amostras de pastejo simulado foram pré-secas em estufa de ventilação forçada, a 55°C, até atingirem peso constante. Em seguida, foram armazenadas em saco de papel, identificadas e enviadas ao Laboratório de Nutrição Animal (LANA), da Embrapa Caprinos e Ovinos, em Sobral – CE.

As amostras de pastejo simulado foram pré-secas em estufa de ventilação forçada, a 55 °C, até atingirem peso constante. Em seguida, foram armazenadas em saco de papel, identificadas e enviadas ao Laboratório de Nutrição Animal (LANA), da Embrapa Caprinos e Ovinos, em Sobral – CE, onde foram moídas a 1mm em moinho tipo Willey, para determinação do teor de matéria seca (MS), conforme descrito em AOAC (1990).

O teor de nitrogênio total (N) foi determinado em sistema de combustão, com auxílio do analisador Leco[®], modelo CN628 (Leco Corporation, St. Joseph, MI, EUA). Para conversão dos valores de N para proteína bruta (PB) foi utilizado o fator 6,25 (AOAC, 1990), tendo seus valores corrigidos para base de MS.

Para análise da digestibilidade verdadeira *in vitro* da matéria seca (DIVMS), as amostras de pastejo simulado foram armazenadas em sacos de filtro de fibra, com porosidade de 25 microns, modelo F57 (ANKOM Technology[®], Macedon, NY, EUA) e incubadas em líquido ruminal, utilizando incubadora automática modelo MA443 (Marconi Equipamentos para Laboratórios Ltda., Piracicaba, SP, Brasil). O líquido ruminal utilizado para a avaliação foi coletado de animais alimentados com silagem de capim-mombaça, tendo acesso a suplementação com sal mineral e água *ad libitum*. Após 48 horas de incubação, os sacos contendo os resíduos da digestão foram lavados em água corrente e, em seguida, tratadas em solução de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) (Tilley & Terry, 1963, adaptador por Van Soest, 1994), por 40 minutos a 110 °C em autoclave, conforme Senger et al. (2008). A correção para estimativas da digestibilidade verdadeira para aparente da MS foi feita subtraindo um valor relativo à fração metabólica para ovinos, de 11,9 unidades percentuais, de acordo com Van Soest (1994).

Coleta de fezes e espectros fecais

A coleta de fezes seguiu o mesmo desenho experimental que a de pastejo simulado, resultando, para cada coleta, em um par de amostras pastejo simulado/fezes. No entanto, cada amostra fecal foi obtida 24 horas após a coleta de pastejo simulado do mesmo animal, seguindo protocolo definido em função do tempo de trânsito da dieta (Bueno et al., 2007), para que as fezes correspondessem ao resíduo de digestão do pastejo simulado, totalizando 360 amostras.

As amostras foram pré-secas em estufa de ventilação forçada, a 55°C, até atingir peso constante e moídas em moinho de facas tipo Willey, com peneiras de 1mm. Em seguida, foram armazenadas em sacos plásticos, identificadas e enviadas

ao Laboratório de espectroscopia no infravermelho próximo (LABNIR), da Embrapa Caprinos e Ovinos, em Sobral – CE.

O laboratório tem sua temperatura mantida em 24 °C, e umidade relativa do ar entre 55 e 65%, a fim de evitar possíveis interferências na coleta dos espectros. Antes da coleta dos espectros, as amostras foram novamente alocadas em estufa de ventilação forçada a ± 55 °C, por três horas, para estabilização do teor de umidade (Lyons & Stuth, 1992). Após sua remoção, foram acondicionadas em dessecador por 30 minutos, até atingirem temperatura ambiente.

Para coleta dos espectros fecais, fez-se uso do instrumento NIR FOSS[®] 5000 (FOSS, Hillerød, Denmark), que opera na faixa de 1100 a 2500 nm, com resolução de 2 nm. As amostras de fezes moídas, foram alocadas em células de quartzo. Os espectros gerados foram arquivados em computador acoplado ao NIR, para uso na geração dos modelos de predição. No total foram coletados os espectros das 360 amostras de fezes ovinas.

Caracterização das estações seca e chuvosa

Para avaliação do efeito da estação, foi necessário caracterizá-las no intervalo do estudo, levando em conta que pode haver variações significativas entre anos e dentro do mesmo ano com relação às variáveis climáticas que determinam as principais mudanças na composição do pasto.

Para determinação do intervalo em meses referentes à estação seca e à chuvosa, foram levadas em consideração as médias mensais dos dados meteorológicos (precipitação, temperatura, umidade, ponto de orvalho, vento e radiação), bem como da composição bromatológica (MS, PB, MM, MO, DIVMS e

DIVMO) e da composição morfológica (percentuais de folha, de colmo e de material morto).

Os dados foram submetidos a uma técnica de reconhecimento de padrões não supervisionada - Análise de Componentes Principais (PCA), permitindo identificar as variáveis que mais contribuíam para a separação dos meses (Figura 2a e 2b). Em seguida, para definição das estações, os dados foram submetidos à análise de clusters, considerando as variáveis mais relevantes, selecionadas na PCA, estabelecendo dois clusters como critério (Figura 3).

Análises do efeito da estação do ano sobre os espectros fecais

Para avaliar o impacto da estação (seca e chuvosa) sobre os espectros, foi utilizada uma abordagem de análise exploratória. Para tanto, as amostras foram inicialmente compostas por animal e por mês, tanto para os espectros, quanto para as análises de referências, totalizando 120 amostras.

Após a coleta dos espectros fecais, foi aplicado um pré-tratamento matemático, conhecido como Correção de Dispersão Multiplicativa (MSC) para correção de espalhamento típico de amostras sólidas pulverizadas (Ben-Gera & Norris, 1968).

Inicialmente, foi utilizada a técnica multivariada de Análise de Componentes Principais (PCA), para estudar a distribuição das amostras em relação às estações do ano (seco e chuvoso), a fim de detectar possíveis agrupamentos espectrais e suas distâncias.

Em seguida, a observação de padrões pela técnica PCA foi complementada com um método de avaliação de padrões supervisionado, a Modelagem Suave Independente de Analogias entre Classes (SIMCA). Essa técnica classifica cada

amostra, a partir da sua distância em relação ao centro dos modelos PCA (época seca ou chuvosa), quanto ao grau de similaridade, indicando se as amostras individuais pertencem ou não a cada um dos dois modelos (estações).

Por fim, a elipse T^2 de Hotelling foi usada na projeção de scores PCA de todo o banco de dados (estações seca e chuvosa), com limite crítico de 5%, para identificar amostras ou grupo de amostras que apresentam distância significativa em relação ao centro do modelo de todas os espectros coletados, bem como observar a existência de *outliers*, que são fatores importantes no processo decisório sobre o desenvolvimento de modelos (Lyra et al., 2010). Essa estatística indicará, em última análise, se todas as amostras podem ser consideradas como um único banco de dados, caso estejam dentro dos limites da elipse T^2 de Hotelling.

As análises foram realizadas com auxílio do software Unscrambler® X, versão 10.2 (Camo Analytics AS®, Norway)

Resultados

Caracterização das estações seca e chuvosa

Na definição das estações do ano realizada por meio de PCA, os dados meteorológicos e de composição bromatológica e morfológica do pasto, influenciaram na disposição oposta dos meses de janeiro e julho, ao longo da PCA (Figura 2a). Da mesma forma, ocorreu em relação as variáveis ambientais de precipitação (mm) e radiação (KJ/m^2) (Figura 2b).

De posse das variáveis indicadas pela PCA, a definição das estações do ano foi realizada por meio de agrupamento hierárquica, onde o clusters 1 correspondeu a estação chuvosa, que compreendeu os meses de agosto a janeiro, e o cluster 2 se referiu a estação seca, abrangendo o período entre fevereiro e julho (Figura 3).

Análise exploratória

Para correção do efeito da dispersão da luz sobre o espalhamento dos espectros fecais, foi aplicada a técnica do MSC. A análise do perfil espectral após MSC, demonstrou efetividade em reduzir o efeito dispersivo, o que aumenta a relação sinal:ruído e permite uma identificação de possíveis agrupamentos. A observação do perfil espectral após a aplicação da técnica não indicou separação entre as estações do ano. Além disso, em algumas bandas de leitura NIRS, notou-se a sobreposição de espectros, o que é um primeiro indicativo de similaridade quanto a constituintes químicos presentes nas fezes (Figura 4a e 4b).

Na distribuição espacial dos espectros fecais dos ovinos utilizando a técnica de Análise de Componentes Principais (PCA), notou-se que as duas primeiras componentes principais (PC), capturaram 88% da variação total dos dados (PC-1 = 66%, PC-2 = 22%). As amostras fecais do período chuvoso incorporaram maior variação ao banco de dados, observado pela maior dispersão ao longo da PC-1. Além disso, foi observada uma sobreposição considerável entre os conjuntos amostrais das duas estações, concordando, em termos gerais, com a observação do perfil espectral (Figura 4a e 4b).

A avaliação de classes usando SIMCA, demonstrou que, quando as amostras da estação seca e chuvosa foram testadas individualmente, contra o seu próprio modelo, as similaridades foram de 98 e 100%, respectivamente, o que já era esperado. Entretanto, quando se comparou as amostras individuais de fezes da estação seca contra o banco de dados da estação chuvosa, a similaridade foi de 86%, enquanto que, 70% das amostras fecais dos animais na estação chuvosa foram consideradas similares àsquelas da estação seca (Tabela 2).

Por fim, na análise de Hotelling (T^2) foram detectadas apenas seis amostras fora do intervalo de confiança (95%), que podem ser consideradas *outliers* e candidatas a serem excluídas do banco de dados. A modelagem de um único banco de dados pela Análise de Componentes Principais, demonstrou, assim como as análises precedentes que as alterações químicas da dieta ao longo das estações do ano foram captadas pelas análises fecais e que, apesar de possuírem variação química, não houve separação ou agrupamento amostral.

Discussão

Caracterização das estações seca e chuvosa

As variáveis ambientais, principalmente radiação e precipitação, têm grande impacto no modelo, apreendendo 99% da variação dos dados. As informações referentes a composição bromatológica e morfológica ao longo do período experimental, demonstraram uma variação mais distribuída entre as variáveis, sendo que a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), o percentual de folha e de material morto, foram aquelas que mais contribuíram para variação total do modelo.

A definição das estações, por meio da hierarquização utilizando as variáveis que apreenderam a maior parte da variação, está de acordo com dados meteorológicos mostrados na figura 1, de forma que os impactos para os modelos de NIR fecal, estão relacionados à composição da planta, que é diretamente afetada pelas mudanças climáticas.

Análise exploratória

O uso do pré-tratamento com MSC simplifica o modelo, melhora a linearidade do conjunto espectral, com redução das diferenças e destaque das áreas

que são responsáveis pelas diferenças entre amostras (Sabin et al., 2004). O perfil espectral com sobreposições, indica similaridade na composição química do conjunto amostral. Por outro lado, o distanciamento em algumas bandas do perfil espectral sugere variações de ordem química (Figura 4b).

Em um primeiro plano, analisando os dados da tabela 1, nota-se que as concentrações dos nutrientes não foram diferentes entre as duas estações, o que explica em parte a similaridade espectral em várias bandas. Mas há de se considerar também, as mudanças estruturais em resposta às interferências dos fatores climáticos sobre a fisiologia da planta, que explicam as bandas de dissimilaridade observadas no espectro NIR. Soma-se a isso os maiores desvios padrão para os teores de MS, PB, MM e MO, durante a época chuvosa, que também alteram as absorvâncias em regiões específicas do espectro NIR e incluem mais variação aos espectros das amostras.

Essas diferenças no perfil espectral, entre amostras coletadas no período seco e chuvoso, foram melhor exploradas na PCA (Figura 5), indicando claramente que a importância de considerar a composição química e estrutural em adição à simples composição em nutrientes. Essas mudanças na constituição química das fezes dos ovinos, foram correlacionadas às variáveis ambientais, e consequentes mudanças na composição bromatológica e morfológica do pasto.

Considerando os *loadings* da PCA, observa-se que a radiação (KJ/m^2) foi responsável por 99% da variação total no PC1, enquanto que a precipitação, na segunda componente principal (PC2), também foi responsável por praticamente toda a variação do banco de dados (99% da variação). Essas mudanças são de ordem morfofisiológicas e química como, alterações perfil de proteína bruta (PB) (Paulino et al., 2001) além de modificações nos coeficientes de digestibilidade do alimento.

No que diz respeito a alta similaridade entre os espectros fecais das estações seca e chuvosa (70 e 86%) (Tabela 2), a análise SIMCA confirma que há base química semelhante (proteínas, fibras, lipídios) porém, também confirma a observação da PCA, de que a composição química tem diferenças detectáveis pela tecnologia NIR.

O final da estação chuvosa e início da seca, induz a planta ao processo de interrupção do crescimento vegetal. Conseqüentemente, há uma redução da disponibilidade da massa de forragem em função do pastejo. Detmann et al. (2010) relatam que nessas condições o animal passa a selecionar conteúdos de menor qualidade, como colmos e folhas mortas. Portanto, o NIRS é capaz de agrupar amostras que se assemelham quanto ao perfil químico, mediante a absorbância de suas ligações (Alomar et al., 2003).

Contudo, a distribuição espacial dos espectros fecais ao longo do intervalo de confiança de Hotelling (Figura 6), demonstra o comportamento coerente com o observado nas análises exploratórias realizadas. Ou seja, há uma variabilidade espectral detectável e relacionada às estações do ano, que provavelmente estão relacionadas à morfofisiologia da planta, mas com uma alta similaridade espectral, o que, de modo geral, são características importantes para o desenvolvimento de modelos FNIRS robustos.

Conclusão

Apesar de haver influência da estação do ano sobre o perfil de espectros de NIR das fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, que adiciona importante variabilidade ao conjunto amostral, há ainda considerável similaridade

amostral, indicando a possibilidade de desenvolvimento de modelos NIR mais robustos, considerando toda a variação anual do conjunto de dados.

Referências

- Alomar, D., Gallo, C., Castañeda, M., & Fuchslocher, R. (2003). Chemical and discriminant analysis of bovine meat by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Meat Science*, 63(4), 441–450. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00101-8)
- Association Of Official Analytical Chemists – AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15.ed. Arlington, Virginia. 1117p.
- Ben-Gera, I., & Norris, K. H. (1968). Direct Spectrophotometric Determination of Fat and Moisture in Meat Products. *Journal of Food Science*, 33(1), 64–67. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb00885.x>
- Bueno, I. C. S., Vitti, D. M. S. S., Abdalla, A. L., & Louvandini, H. (2007). Consumo voluntário, digestibilidade aparente e cinética digestiva de três forrageiras em ovinos. *Ciência Animal Brasileira*, 8(4), 713–722. <http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/viewArticle/2692>
- Cardoso, A. R., Carvalho, S., Galvani, D. B., Pires, C. C., Gasperin, B. G., & Garcia, R. P. A. (2006). Comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de fibra em detergente neutro. *Ciência Rural*, 36(2), 604–609. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782006000200038>

Decruyenaere, V, Lecomte, P., Demarquilly, C., Aufrere, J., Dardenne, P., Stilmant, D., & Buldgen, A. (2009). Evaluation of green forage intake and digestibility in ruminants using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Developing a global calibration. *Animal Feed Science and Technology*, 148(2–4), 138–156. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.03.007>

Detmann, E.; Paulino, M.F.; Valadares Filho, S.C (2010). Otimização do uso de recursos forrageiros basais. In: Simpósio de Produção de Gado de Corte, 7, 2010. Anais... Viçosa. p.191-240.

Jancewicz, L. J., Penner, G. B., Swift, M. L., Waldner, C. L., Gibb, D. J., & McAllister, T. A. (2017). Predictability of growth performance in feedlot cattle using fecal near-infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Animal Science*, 97(4), 701–720. <https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0243>

Johnson, A.D. Sample preparation and chemical analysis of vegetation. In: Manejete, L.T. (Ed.). *Measurement of grassland vegetation and animal production*. Aberystwyth: Commonwealth Agricultural Bureau, 1978. p.96-102.

Lyons, R. K., & Stuth, J. W. (1992). Fecal NIRS Equations for Predicting Diet Quality of Free-Ranging Cattle. *Journal of Range Management*, 45(3), 238. <https://doi.org/10.2307/4002970>

- Lyra, W. da S., Silva, E. C. da, Mario, Araújo, C. U. de, & Fragoso, W. D. (2010). Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. *33(7)*, 1594–1597.
- Mato Grosso. (2000). Relatório técnico consolidado de clima para o estado de Mato Grosso. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral, *2(2)*, 1–83.
- Paulino, M.F.; Detmann, E.; Zervoudakis, J.T (2001). Suplementos múltiplos para recria e engorda de bovinos em pastagens. In: Simpósio de Produção de Gado de Corte, *2*, 2001. Anais... Viçosa. p.187-233, 2001.
- Sabin, J. G., Ferrão, M. F., & Furtado, J. C. (2004). Análise multivariada aplicada na identificação de fármacos antidepressivos. Parte II: Análise por componentes principais (PCA) e o método de classificação SIMCA. *Revista Brasileira de Ciências Farmaceuticas/Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *40(3)*, 387–396. <https://doi.org/10.1590/s1516-93322004000300015>
- Sbrissia, A. F., Duchini, P. G., & Echeverria, J. R. (2017). Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, *25(1)*, 47–60.
- Senger, C. C. D., Kozloski, G. V., Bonnacarrère Sanchez, L. M., Mesquita, F. R., Alves, T. P., & Castagnino, D. S. (2008). Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. *Animal Feed Science and*

Technology, 146(1–2), 169–174.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.12.008>

Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. (1963). a Two-Stage Technique for the in Vitro Digestion of Forage Crops. *Grass and Forage Science*, 18(2), 104–111.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>

Tran, H., Salgado, P., Tillard, E., Dardenne, P., Nguyen, X. T., & Lecomte, P. (2010). “Global” and “local” predictions of dairy diet nutritional quality using near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4961–4975.
<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1893>

Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell university press. New York, 476 p.

Vargas Junior, F. M., Socorro, M. M., Setti, J. C., G.S., G. S., Vieira, C. F., Vieira, J. A. A., & Vieira, C. F. (2012). Disponibilidade e valor nutritivo de gramíneas tropicais sob pastejo com ovinos. *Archivos de Zootecnia*, 62(238), 295.
<https://doi.org/10.21071/az.v62i238.673>

Tabelas

Tabela 1. Estatística descritiva da composição bromatológica e morfológica do capim-mombaça de acordo com as estações.

Item	Estação			
	Seca (n = 57)		Chuva (n = 57)	
	Média (%)	DP	Média (%)	DP
Composição bromatológica				
MS	25,77	3,17	26,92	2,91
PB	10,65	1,25	11,00	2,97
MM	11,30	1,22	12,99	2,38
MO	88,70	1,22	87,01	2,38
DIVMS	53,90	8,25	55,64	8,07
DIVMO	64,24	8,16	66,27	8,43
Composição morfológica				
Folha	28,18	1,74	29,35	2,84
Colmo	10,47	0,98	15,09	1,34
Material morto	61,36	1,14	55,56	4,14

(MS) = Matéria seca; (PB) = Proteína bruta; (MO) = Matéria orgânica; (MM) = Matéria Mineral; (DIVMS) = Digestibilidade in vitro da matéria seca; (DIVMO) = Digestibilidade in vitro da matéria orgânica; (DP) = Desvio padrão

Tabela 2. Classificação de similaridade entre amostra das estações seca e chuvosa, por meio da SIMCA.

Modelo	Seca		Chuva	
	S/T	Similaridade (%)	S/T	Similaridade (%)
Seca	57/56	98	57/49	86
Chuva	57/40	70	57/57	100

(S/T) = Amostras similares/Total de amostras

Figuras

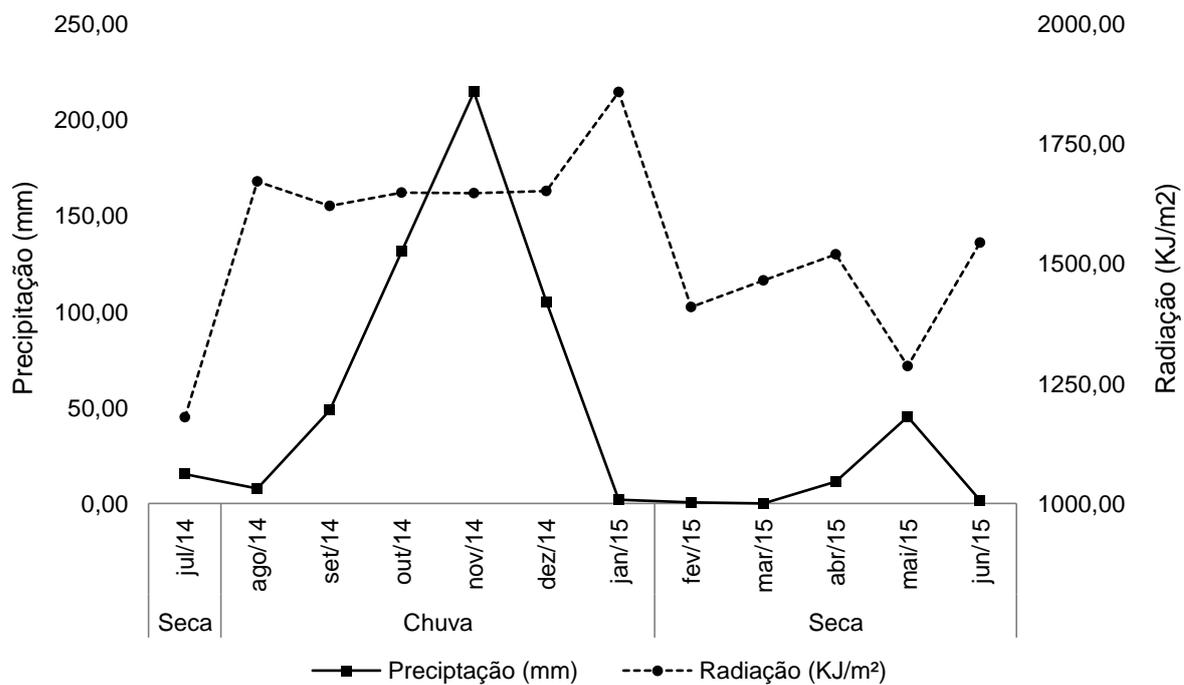
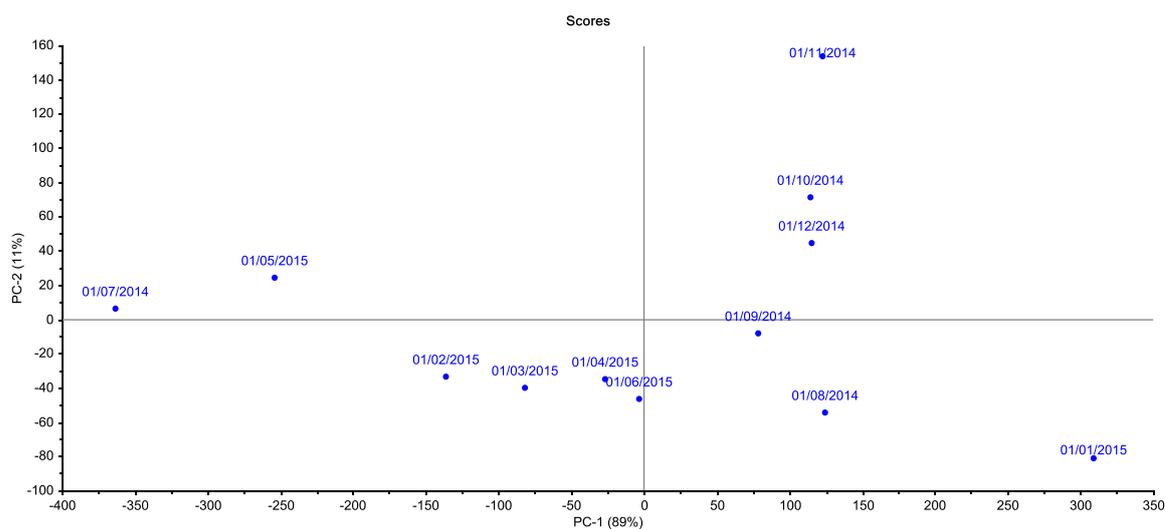


Figura 1. Gráfico de precipitação (mm) e radiação (KJ/m²) da região do Vale do Guaporé durante o período experimental.

a)



b)

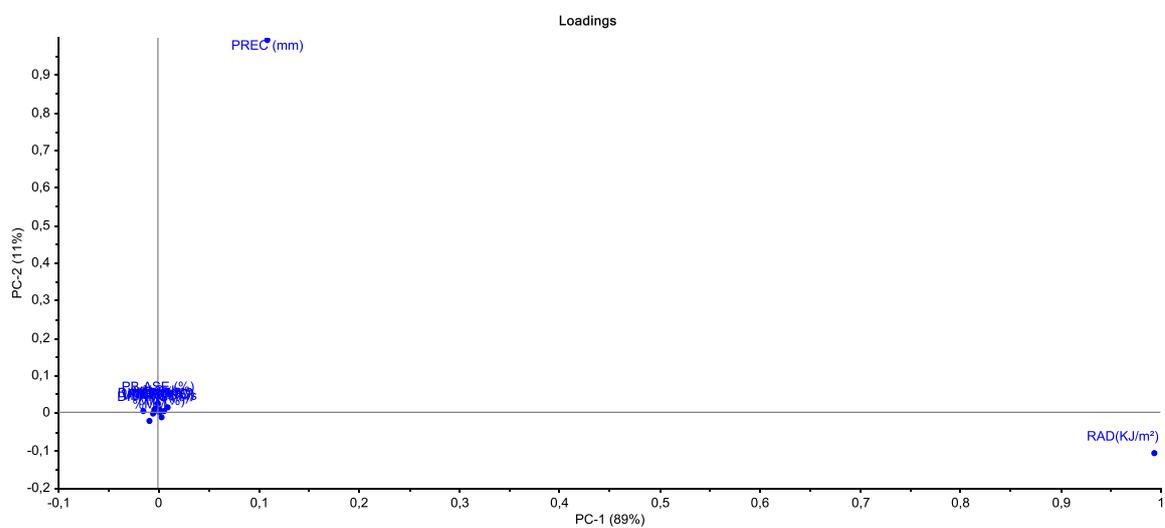


Figura 2. Avaliação do impacto dos meses (a) e das variações de composição bromatológica, morfológica e mudanças climáticas (b), para caracterização das estações.

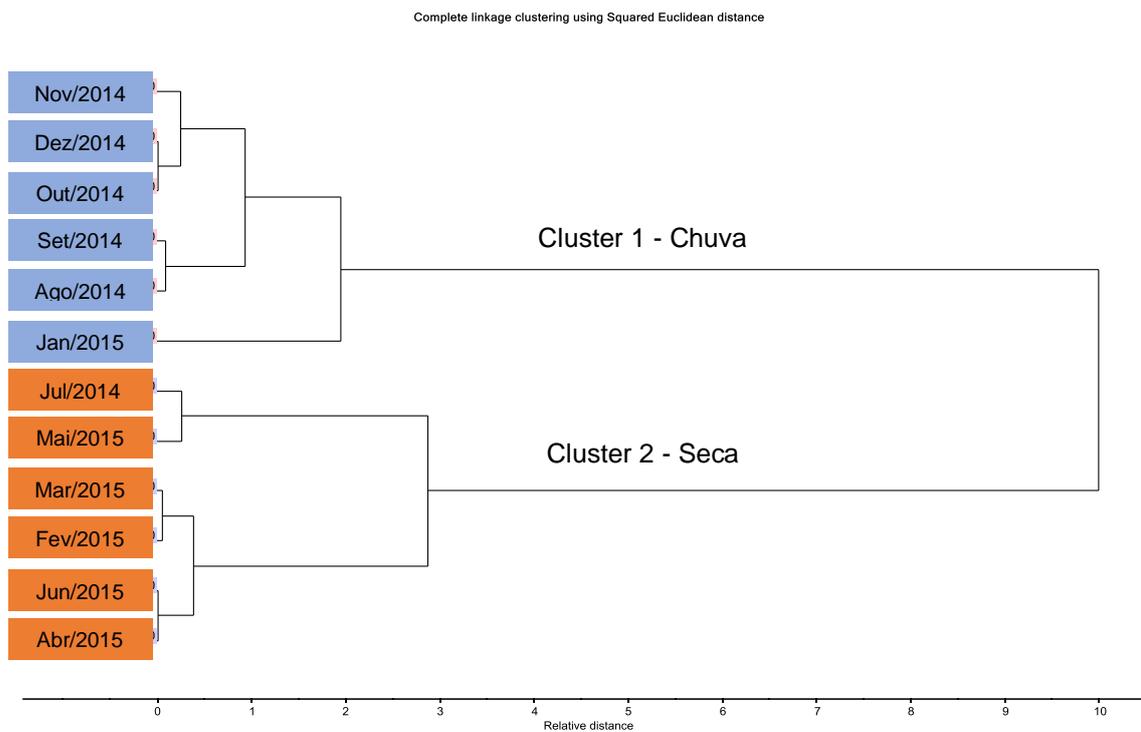


Figura 1. Dendrograma de agrupamento hierárquico, para caracterização das estações chuvosa (Cluster 1) e seca (Cluster 2), a partir das variáveis indicadas em PCA.

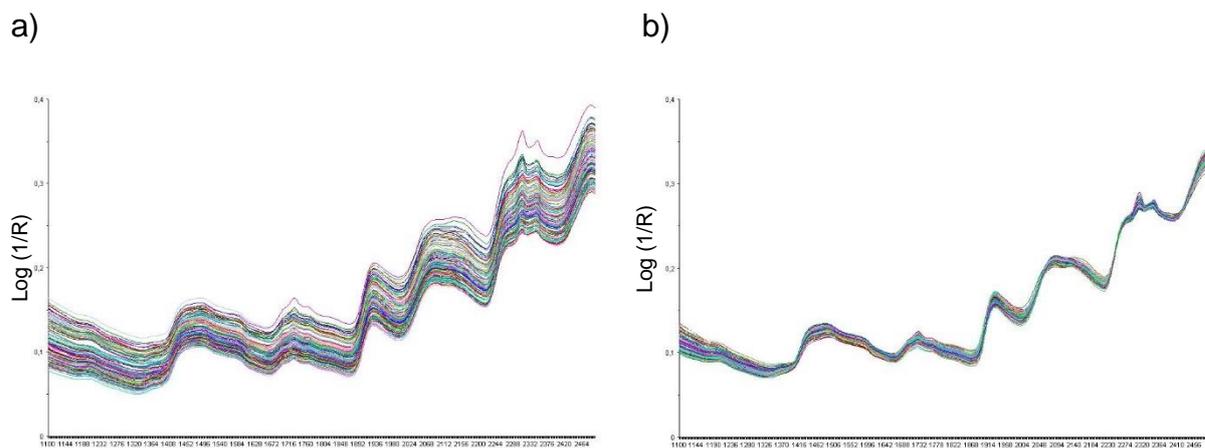


Figura 2. Perfil espectral das amostras de fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, antes (a) e após (b) aplicação do pré-tratamento MSC.

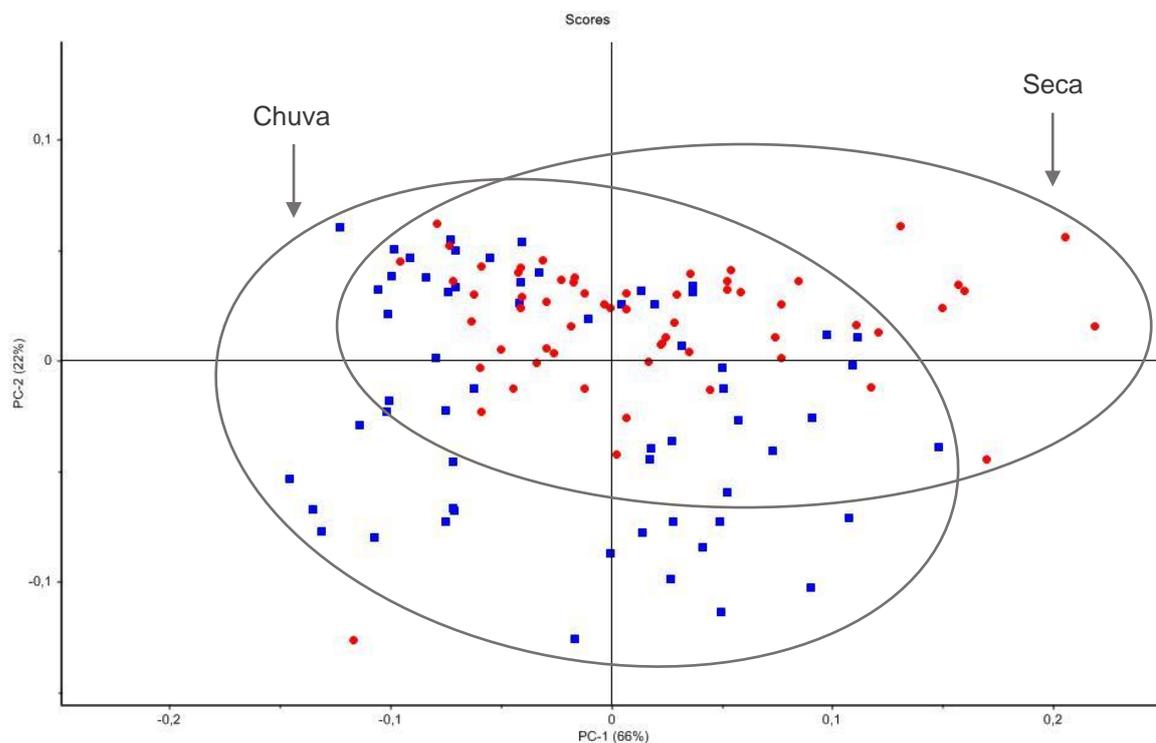


Figura 3. Análise dos componentes principais dos espectros de fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, de acordo com as estações do ano (Seca – ●; Chuva – ■).

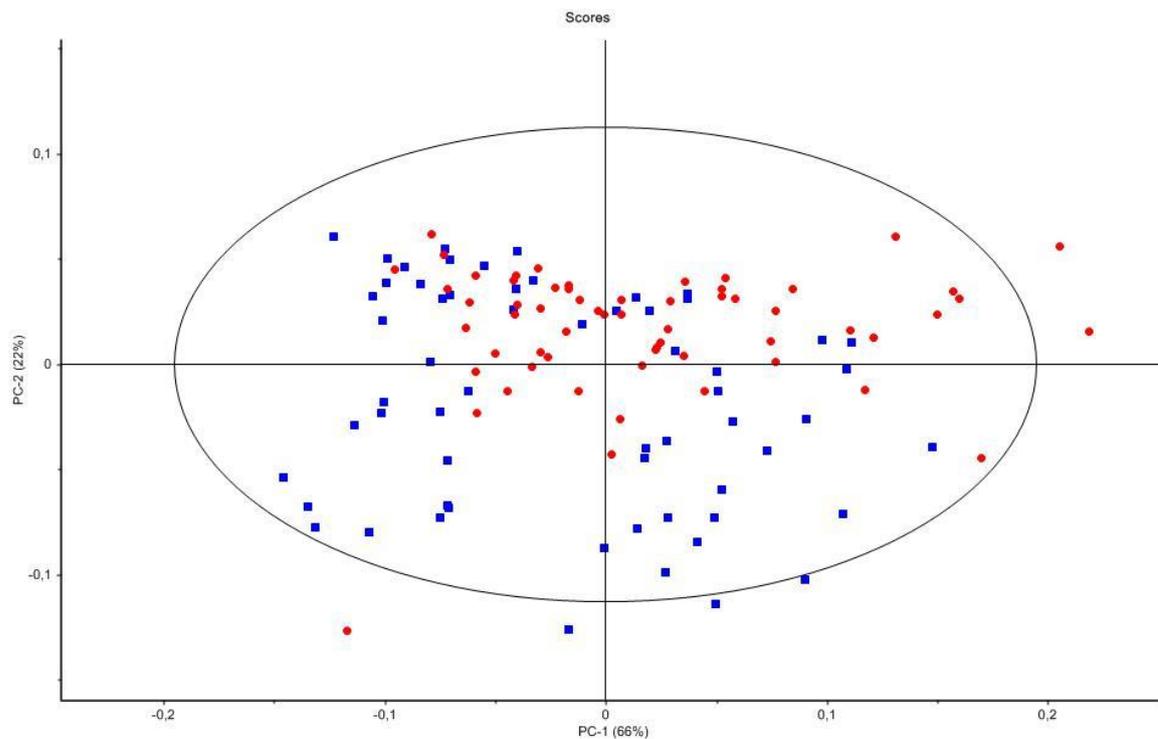


Figura 4. Intervalo de confiança de Hotelling (T2) dos espectros de fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, de acordo com as estações do ano (Seca – ●; Chuva – ■).

**CAPÍTULO 2 - USO DA ESPECTROSCOPIA NIR PARA PREVISÃO DO TEOR DE
PROTEÍNA BRUTA E DIGESTIBILIDADE *IN VITRO* DA MATÉRIA SECA DA
DIETA DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM DE CAPIM-MOMBAÇA**

Resumo

O estudo avaliou os efeitos das estações do ano sobre o perfil de espectros de NIR das fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça, visando o desenvolvimento de modelos de NIRS fecal. Foram selecionados 10 ovinos Santa Inês, com oito meses de idade e $24,25 \pm 3,84$ kg. Coletou-se 360 pares de amostras de pastejo simulado e fezes. Após secagem, foram determinados os teores de proteína bruta (PB) e digestibilidade da in vitro da matéria seca (DIVMS) do pasto. As amostras de fezes foram secas e tiveram seus espectros coletados com auxílio do NIR FOSS[®] 5000. Posteriormente, o banco de dados foi dividido em 75% para construção dos modelos de calibração e 25% para validação externa. Os modelos de calibração foram desenvolvidos utilizando a técnica multivariada de regressão dos Mínimos Quadrados Parciais (PLS), a partir da submissão dos espectros aos pré-tratamentos matemáticos das Derivadas *Savitzky-Golay* (SG) e sua associação com a Transformação pela Variação Normal Padrão (SG + SNV). O modelo de PB, apresentou modelo de calibração com $R^2 = 0,88$ e RMSEC = 0,80, validação cruzada com $R^2 = 0,84$ e RMSECV = 0,96. Já o modelo da DIVMS, apresentou em seus parâmetros de calibração com $R^2 = 0,75$ e RMSEC = 4,02, validação cruzada com $R^2 = 0,69$ e RMSECV = 4,54. Os RMSEP para PB e DIVMS foram de 1,09 e 5,46, respectivamente, porém, em termos relativos, foram equivalentes a apenas 10,22% para PB e 10,97% para DIVMS. O modelo de PB foi desenvolvido com 182 variáveis consideradas importantes, enquanto o da DIVMS utilizou apenas 45. Por fim, os comprimentos de maior impacto para os dois modelos, foram encontrados nas regiões de 1400, 1600 e 2200 – 2400 nm. A tecnologia de NIRS fecal pode ser utilizada com acurácia para determinar o teor de PB e a DIVMS, da dieta de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.

Palavras-chave

Espectroscopia, pequenos ruminantes, qualidade da dieta, estimativa, *Panicum maximum*.

Introdução

A demanda por alimentos deve aumentar significativamente nos próximos anos com o crescimento da população mundial, aliada ao maior poder aquisitivo, especialmente em países em desenvolvimento fazendo com que os sistemas de produção sejam cada vez mais eficientes. Essa tendência do mercado global estará também associada a uma crescente cobrança por sistemas de produção mais sustentáveis.

Esses desafios são ainda mais críticos para sistemas exclusivamente a pasto, devido à sua complexidade. Nesse contexto, um dos fatores centrais para se garantir eficiência é a estimativa do consumo e o do valor nutricional da forragem ingerida em sistemas de produção em pastejo, que em última análise são insumos para a correta nutrição dos rebanhos, que têm marcante impacto na eficiência e sustentabilidade (Decruyenaere et al., 2012).

Para isso, é preciso considerar a dinâmica da flutuação na composição bromatológica, que pode afetar o atendimento às exigências nutricionais, impactando no consumo de nutrientes e no potencial de aporte de energia disponível para o animal (Jinks et al., 2010). Assim, inovações tecnológicas que forneçam informações a respeito da qualidade dos alimentos consumidos pelos ruminantes de forma rápida e dinâmica é premissa essencial para que se possa monitorar o estado

nutricional do rebanho e promover as intervenções necessárias para aumentar a eficiência (Núñez-Sánchez et al., 2016).

A tecnologia da espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo das fezes (NIRS fecal) tem sido usada para prever a composição química da dieta de ruminantes em pastagens (Landau et al., 2005), uma vez que as fezes são de fácil obtenção e tem alta correlação com vários atributos da dieta consumida (Núñez-Sánchez et al., 2016).

Sua avaliação é considerada acurada para estimar o conteúdo de proteína bruta (Landau et al., 2015), a digestibilidade dos alimentos (Decruyenaere et al., 2009), para o monitoramento de outros atributos da dieta, além de aspectos da fisiologia do animal (Dixon & Coates, 2009). Embora a aplicação da tecnologia do NIRS fecal já seja amplamente documentada, não há trabalhos demonstrando sua aplicabilidade para monitorar a dieta consumida por ovinos em pastagens tropicais cultivadas.

Portanto, objetivou-se avaliar a aplicabilidade da tecnologia da espectroscopia NIR das fezes, em adição à técnica de modelagem multivariada, para previsão do teor de proteína bruta e da digestibilidade *in vitro* da matéria seca da dieta de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.

Material e métodos

Local da coleta de amostras

As amostras de fezes e de pastejo simulado foram coletadas em uma área da Universidade do Estado do Mato Grosso (UNEMAT) campus Pontes e Lacerda, na microrregião do Vale do Guaporé, Estado de Mato Grosso, que está localizada a uma altitude de 274 metros, latitude sul de -15°32'40,38" e longitude oeste de

59°23'39,91. Apresenta clima tropical quente e úmido, com temperatura média de 25 °C e precipitação anual em torno de 1500 mm. (Mato Grosso, 2000).

Período experimental, animais e análises bromatológica

O período de coleta teve duração de 12 meses e compreendeu os meses de julho de 2014 a junho de 2015. Foram selecionados 10 ovinos Santa Inês, de rebanhos adaptados à região, com média de oito meses de idade e $24,25 \pm 3,84$ kg de peso vivo.

Os animais foram mantidos em uma área de um hectare de pastagem de capim-mombaça (*Panicum maximum*, cv. Mombaça), dividida em seis piquetes. No período chuvoso, o pastejo foi realizado em lotação rotativa, com sete dias de ocupação e 35 dias de descanso em cada piquete. No período seco, os ovinos patejaram a área de forma contínua e receberam suplementação equivalente a 0,5% do peso corporal. O suplemento foi composto por 70% de farelo de milho e 30% farelo de soja.

A dieta selecionada por cada ovino, foi estimada por meio da técnica de pastejo simulado (Jonhson, 1978), realizada durante três dias consecutivos em cada mês, durante todo o período experimental, totalizando 360 amostras.

As amostras de pastejo simulado foram pré-secas em estufa de ventilação forçada, a 55 °C, até atingirem peso constante. Em seguida, foram armazenadas em saco de papel, identificadas e enviadas ao Laboratório de Nutrição Animal (LANA), da Embrapa Caprinos e Ovinos, em Sobral – CE, onde foram moídas a 1mm em moinho tipo Willey, para determinação do teor de matéria seca (MS), conforme descrito em AOAC (1990).

O teor de nitrogênio total (N) foi determinado em sistema de combustão, com auxílio do analisador Leco[®], modelo CN628 (Leco Corporation, St. Joseph, MI, EUA). Para conversão dos valores de N para proteína bruta (PB) foi utilizado o fator 6,25 (AOAC, 1990), tendo seus valores corrigidos para base de MS.

Para análise da digestibilidade verdadeira *in vitro* da matéria seca (DIVMS), as amostras de pastejo simulado foram alocadas em sacos de filtro, com porosidade de 25 microns, modelo F57 (ANKOM Technology[®], Macedon, NY, EUA) e incubadas em líquido ruminal, utilizando incubadora automática modelo MA443 (Marconi Equipamentos para Laboratórios Ltda., Piracicaba, SP, Brasil). O líquido ruminal utilizado para a avaliação foi coletado de animais alimentados com silagem de capim-mombaça, tendo acesso a suplementação com sal mineral e água *ad libitum*. Após 48 horas de incubação, os sacos contendo os resíduos da digestão foram lavados em água corrente e, em seguida, tratadas em solução de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) (Tilley & Terry, 1963, adaptador por Van Soest, 1994), por 40 minutos a 110 °C em autoclave, conforme Senger et al. (2008). A correção para estimativas da digestibilidade verdadeira para aparente da MS foi feita subtraindo um valor relativo à fração metabólica para ovinos, de 11,9 unidades percentuais, de acordo com Van Soest (1994).

Coleta de fezes e espectros fecais

A coleta de fezes seguiu o mesmo desenho experimental que a de pastejo simulado, resultando, para cada coleta, em um par de amostras pastejo simulado/fezes. No entanto, cada amostra fecal foi obtida 24 horas após a coleta de pastejo simulado do mesmo animal, seguindo protocolo definido em função do

tempo de trânsito da dieta (Bueno et al., 2007), para que as fezes correspondessem ao resíduo de digestão do pastejo simulado, totalizando 360 amostras.

As amostras fecais foram pré-secas em estufa de ventilação forçada, a 55 °C, até atingir peso constante e moídas em moinho de facas tipo Willey com peneiras de 1mm. Em seguida, foram armazenadas em sacos plásticos, identificadas e enviadas ao Laboratório de espectroscopia no infravermelho próximo (LABNIR), da Embrapa Caprinos e Ovinos, em Sobral – CE.

O laboratório tem sua temperatura mantida em 24 °C, e umidade relativa do ar entre 55 e 65%, a fim de evitar possíveis interferências na coleta dos espectros. Antes da coleta dos espectros, as amostras foram novamente alocadas em estufa de ventilação forçada a 55 °C, por três horas, para estabilização do teor de umidade (Lyons & Stuth, 1992). Após sua remoção, foram acondicionadas em dessecador por 30 minutos, até atingirem temperatura ambiente.

Para coleta dos espectros fecais, fez-se uso do instrumento NIR FOSS[®] 5000 (FOSS, Hillerød, Denmark), que opera na faixa de 1100 a 2500 nm, com coletas a intervalos de 2 nm. As amostras de fezes moídas, foram alocadas em células de quartzo. Os espectros gerados foram arquivados em computador acoplado ao NIR, para uso na geração dos modelos de predição.

Análises quimiométricas

Para o desenvolvimento dos modelos NIRS, tomou-se as médias dos espectros das amostras fecais, bem como dos teores de PB e da DIVMS das amostras de pastejo simulado, referentes a cada animal, em cada mês, totalizando 120 pares de amostras fezes/pastejo simulado.

Para seleção de um subconjunto amostral a ser utilizado como banco de validação, foi utilizada uma ferramenta de seleção de amostras do software *The Unscrambler*®, versão 10.2 (Camo Analytics AS®, Norway). A ferramenta “*Evenly Distributed Samples*” seleciona amostras com maior distância espectral no conjunto de dados. O número de amostras a serem selecionadas para compor o banco de validação foi determinada em 25%, sendo que os outros 75% foram utilizados para o desenvolvimento do modelo.

Os modelos de calibração foram desenvolvidos utilizando a técnica multivariada de regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS), onde as duas matrizes são correlacionadas: os espectros (matriz X) e as análises referência de PB e DIVMS (matriz Y). Para todos os modelos desenvolvidos, foi acionada a função de detecção de *outliers*, forçando o dispositivo a dar um resultado nulo se não fosse capaz de combinar o espectro de uma nova amostra com os espectros da coleta de dados de calibração.

O número de fatores PLS foi determinado por meio de validação cruzada, com o procedimento do Teste de Incerteza, fazendo como que o software indique as variáveis mais importantes em cada modelo. Os espectros originais foram submetidos diferentes pré-tratamentos matemáticos, visando aumentar a relação sinal/ruído: 1 – Transformação pela 1ª e 2ª Derivadas *Savitzky-Golay*, até a 4º janela de suavização (SG); 2 – Transformação pela Variação Normal Padrão + Transformação pela 1ª e 2ª Derivadas *Savitzky-Golay*, até a 4º janela de suavização (SG + SNV).

A otimização do modelo, foi realizada selecionando-se os comprimentos de ondas mais importantes, tomando como base as indicações feitas pelo Teste de Incerteza. Em seguida, os modelos foram recalculados e tiveram sua performance

avaliada pelos seguintes parâmetros: Número de componentes principais (CP); coeficiente de determinação (R^2) da calibração, da validação e da previsão; raiz do erro quadrático médio da calibração (RMSEC), da validação (RMSECV) e da previsão (RMSEP) e o Viés. Também foram considerados como critério de desempenho, o erro relativo da previsão ($RRMSEP = ([RMSEP/VP]) * 100$) e a relação calibração/validação ($C/CV = R^2_{Cal}/R^2_{Val}$), cujo valor desejável é um, indicando similaridade de ajuste entre calibração e validação.

As análises foram realizadas auxílio do software Unscrambler® X, versão 10.2 (Camo Analytics AS®, Norway). O teor de proteína bruta (PB) e da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foram utilizados como variáveis dependentes e o valor de absorvância nos diferentes comprimentos de onda das fezes moídas, como variáveis independentes.

Ainda para validação, as médias dos valores de PB e DIVMS, previstos pelo modelo e observados na análise laboratorial, foram comparados por meio de análise de variância (teste F), com auxílio do *software* estatístico SPSS, versão 22 (IBM Corporation, New York, EUA).

Resultados

Desempenho dos modelos de calibração

O modelo de PB com melhor performance, foi aquele submetido ao pré-tratamento com a 2ª derivada de *Savitzky-Golay* com duas janelas de suavização (SG 22). O modelo apresentou em seus parâmetros: CP = 5, $R^2 = 0,88$; RMSEC = 0,80 e Viés = $7,15 \times 10^{-7}$; a validação cruzada com $R^2 = 0,84$; RMSECV = 0,96 e Viés = 0,008, além da RCV = 1,05 (Tabela 1, Figura 1).

A previsão do teor de PB no conjunto subamostral de validação apresentou o seguinte desempenho: $R^2 = 0,64$; $RMSEP = 1,09$ e $Viés = -0,015$ (Tabela 2). A comparação das médias das amostras de validação entre os valores observados e os previstos pelo modelo não demonstrou diferença estatística ($P = 0,972$).

Quanto ao modelo para DIMVS, o melhor desempenho foi apresentado quando se utilizou como pré-tratamentos a Variação Normal Padrão + 2ª derivada *Savitzky-Golay* e com duas janelas de suavização (SNV + SG 22), apresentando os seguintes parâmetros de calibração: $CP = 4$, $R^2 = 0,75$; $RMSEC = 4,02$ e $Viés = 3,59 \times 10^{-7}$ e de validação cruzada com $R^2 = 0,69$; $RMSECV = 4,54$ e $Viés = -0,025$, com $RCV = 1,09$ (Tabela 1, Figura 2).

Da mesma forma que para o conjunto subamostral de validação da proteína bruta, não houve diferença estatística para os valores preditos e observados de DIVMS ($P = 0,686$). As variáveis de avaliação de performance, apresentaram os seguintes resultados: $R^2 = 0,32$; $RMSEP = 5,46$ e $Viés = 0,209$ (Tabela 2).

Ao analisar as tabelas 1, 2 e 3, verificou-se que, o modelo de PB apresentou melhor desempenho quando comparado ao da DIVMS, em função do maior R^2 para calibração, validação e predição e menores valores de $RMSEC$, $RMSECV$ e $RMSEP$.

Variáveis importantes no desenvolvimento dos modelos

Após otimização, 182 comprimentos de onda foram selecionados para a construção do modelo de PB com melhor desempenho (SG 22) (Tabela 3). No que diz respeito ao modelo DIVMS, aquele com melhor performance (SNV + SG 22) utilizou 45 variáveis importantes (Tabela 4). Além disso, os comprimentos de onda com maior relevância para ambos os modelos, em função dos maiores coeficientes

de regressão, foram encontrados nas bandas de 1400, 1600, 1700, 1900 e 2200 – 2400 nm, ao longo do espectro NIR (Figura 3 e 4).

Discussão

Desempenho dos modelos de calibração

Os modelos de PB e DIVMS deste trabalho apresentaram-se acurados tanto na calibração, quanto na validação cruzada e na previsão. Nessa última, não se observou diferenças significativas entre a composição do pastejo simulado determinado em laboratório (referência) e o valor previsto pelos modelos a partir da análise fecal.

A acurácia na calibração e validação de modelos de NIR fecal reportadas na literatura para estimar o conteúdo de PB é bastante variável. Fanchone et al. (2007), obtiveram com animais mantidos em gaiolas metabólicas, recebendo forragem cortada a uma altura de 5 cm, valores de RMSEC e RMSECV de 0,33, e 0,61, respectivamente. A estratégia adotada por Andueza et al. (2011) ao construírem um banco de dados global, composto por amostras de animais alimentados com gramíneas e leguminosas, se mostrou eficiente para reduzir o RMSEC de 6,69 para 6,00 e o RMSECV de 8,53 para 6,74. Em modelo desenvolvido por Mahipala et al. (2010), o uso de dados de 40 dietas experimentais, formuladas com cinco forrageiras, resultou em RMSEC de 3,97 e RMSECV de 4,91. Em relato de Tran et al., (2010), o modelo global desenvolvidos com dados de duas regiões, melhorou o desempenho da calibração, reduzindo o RMSEC de 1,30 para 0,96.

No que diz respeito a calibração para DIVMS, a observação dos critérios recomendados para o desenvolvimento de modelos mais robustos, é importante para melhorar sua capacidade preditiva. Mahipala et al. (2010), relataram que a

grande variação entre animais, devido o maior número de experimentos realizados, foram os fatores que mais contribuíram para os altos RMSEC (21,6) e RMSECV (24,3).

De modo geral, modelos com maior número amostral tendem a apresentar melhor eficiência, no entanto, a redução do conjunto amostral pelo uso das médias, pode melhorar ainda mais a acurácia dos modelos, devido a eliminação na variação da resposta do animal e dias de coleta. Em relato de Tran et al., (2010), o desempenho da calibração da digestibilidade da matéria seca (DMS), utilizando banco de dados global ($n = 1322$), obteve RMSEC de 2,49, e quando se utilizou a média dos dados ($n = 222$), o RMSEC reduziu para 2,37.

Por outro lado, limitações na variabilidade amostral, pode resultar em modelos com pouca aplicabilidade. Boval et al. (2004) justificaram que, a baixa estatística de calibração da DMO (RMSEC = 2,10 e RMSECV = 2,20) foi resultado de um banco de dados composto somente por duas espécies gramíneas, que crescem em um curto período de tempo.

Considerando os trabalhos citados anteriormente, fica claro que o desenho experimental é importante para reduzir o erro das estimativas. As estratégias adotadas neste estudo, no que diz respeito ao aumento do número de amostras, que diversificou da composição química da dieta (pastejo simulado), ou mesmo o uso do conjunto dados médios, confirmaram ser essa estratégia eficiente para obtenção de resultados mais acurados.

Nota-se também que, trabalhos com animais fistulados ou ambientes controlados, podem reduzir a variação da composição química de amostras fecais, a partir da menor seletividade da dieta, portanto, espera-se melhor desempenho de seus modelos. No entanto, se o propósito dos modelos desenvolvidos a partir das

condições experimentais supracitadas, for estimar a qualidade nutricional da dieta de animais em pastejo, o excesso de controle do alimento fornecido, pode implicar em menor variabilidade amostral da qualidade do pasto, podendo comprometer a capacidade preditiva.

No que se refere aos modelos de NIRS fecal para previsão do conteúdo de PB e o atributo funcional da digestibilidade, o seu desenvolvimento foi baseado na teoria de que as fezes refletem as características biológicas e químicas dos alimentos ingeridos, bem como o status fisiológico do animal (Decruyenaere et al., 2009). A maior confiabilidade do modelo de NIRS fecal para prever a qualidade da dieta de animais em pastejo, pode ser alcançada a partir de uma metodologia de amostragem precisa, capaz de contemplar toda variação na composição química do pasto.

Igualmente aos achados deste estudo, o modelo desenvolvido por Gindri et al., (2019) para estimar o conteúdo de PB da dieta ovinos em pastejo, foi preciso tanto com amostras de pastejo simulado ($R^2 = 0,73$ e $RMSEP = 7,2$), quanto com amostras de extrusa ($R^2 = 0,84$ e $RMSEP = 8,6$). Além disso, as diferenças no conteúdo de PB entre os dois métodos de amostragem, foi de apenas 0,04%, equivalentes a 2,91%. Em metodologia alternativa de simulação do pastejo, os modelos desenvolvidos por Glasser et al. (2008), se mostraram eficientes na previsão de PB ($RMSECV = 0,87$) e DIVMS ($RMSECV = 4,27$) da dieta de caprinos. Esses ressaltam a eficiência do pastejo simulado na manutenção da acurácia dos modelos de NIRS fecal.

Além da acurácia das estimativas, a avaliação da adequação do uso de modelos NIR também deve considerar o tempo gasto, a mão-de-obra e seu adequado treinamento para coleta de amostras de pastejo simulado, o tempo de

adaptação do comportamento animal à presença dos simuladores do pastejo. Em trabalho realizado por Euclides et al. (1992), as variações entre diferentes simuladores de pastejo, resultou num erro relativos de 4,60% na matéria seca verde de *Brachiaria humidicola*.

O desempenho do laboratório também deve ser avaliado quanto a análise de das amostras para determinação de proteína, seja pelo método de Kjeldahl ou pela combustão de Dumas. Em trabalho de Sader et al. (2004), foi calculado um erro relativo de 1,09%, na determinação do teor PB pelo método de Dumas, em alimentos para ruminantes. Segundo Souza et al. (2016), a precisão do método Kjeldahl, é considerada satisfatória quando a diferença entre as repetições for menor que 0,73% de PB. Em termos relativos, esse valor corresponderia a 6,85% do erro da PB de referência.

Além disso, também é preciso considerar a manutenção de animais fistulados, equipamentos, reagentes para fermentação e tratamento posterior das amostras para determinação da digestibilidade *in vitro*, com necessidade em todas as etapas de balanças e estufas de secagem. Na determinação da DIVMS, Tilley & Terry, (1963) encontraram um erro padrão da média de 0,66% para amostras duplicadas, que representou um erro relativo de 0,88%, na digestibilidade de gramíneas.

Por fim, com base nos erros relativos acumulados, pelas análises de referências e pastejo simulado, visto em literatura, os modelos desenvolvidos para prever o conteúdo de PB e a DIVMS da dieta de ovinos, se mostraram acurados. A estimativa do teor de PB, a partir de amostras fecais independentes, teve erro relativo de 10,22%. Esse valor para a DIVMS, foi de 10,97%, demonstrando coerência no erro, quando comparadas as duas variáveis.

Portanto, o desenho experimental permitiu acomodar as principais fontes de variação e obter modelos com boa acurácia, principalmente no que diz respeito à simulação do pastejo e análises laboratoriais de referência.

Variáveis importantes no desenvolvimento dos modelos

As variáveis importantes para se estimar o conteúdo de PB em plantas forrageiras usando espectros NIR foram reportadas por Shenk et al. (2008). Maiores coeficientes de regressão nas bandas 1422, 1680, 1702, 1733 e 2349 nm, estão relacionados absorvância de energia das ligações O—H e N—H de proteínas. Nota-se que, nesse trabalho, as bandas de 1600 e 1700 nm apresentaram destacada contribuição para o modelo, bem como as de 1732, 1734 e 2350 nm. Todas essas evidências indicam que os modelos desenvolvidos nesse trabalho captaram adequadamente as informações relativas ao conteúdo de proteína das amostras (Figura 1).

Em termos analíticos, a estimativa da DIVMS está correlacionada ao conteúdo de celulose, hemicelulose e lignina (Velásquez et al., 2010). E por estes serem compostos basicamente de carbono, hidrogênio e oxigênio, é possível relacionar um maior número de bandas. O comprimento de onda de 1700 nm deste trabalho, foi utilizado por Shenk et al. (2008), na tentativa de prever a lignina e fibra de gramíneas. O alto coeficiente de regressão no comprimento de onda de 2350 nm deste estudo, foi descrito por Andueza et al. (2016) como indicativo de diferenças no conteúdo de carboidratos estruturais de silagens e feno. Além disso, a região com maior intensidade de absorção, estava compreendida entre as bandas de 2220 – 2498 nm. As mesmas variáveis foram descritas por Wang et al. (2015), como decorrentes combinações de C—H e C—C, presentes nesse constituinte. (Figura 4).

Embora a fração fibrosa esteja intimamente relacionada ao potencial de digestão, a digestibilidade efetiva, também é influenciada por vários outros fatores, como o teor de proteína, a relação proteína:carboidrato, dentre outros. Assim, é de se esperar que essa informação esteja mais amplamente distribuída ao longo do espectro, o que foi também demonstrado no presente trabalho, indicando que o modelo da DIVMS está considerando uma maior complexidade, quando se compara ao de PB.

Conclusão

A tecnologia de NIRS fecal pode ser utilizada com acurácia para determinar o teor de PB e a DIVMS da dieta de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.

Referências

- Andueza, D., Picard, F., Martin-Rosset, W., & Aufrère, J. (2016). Near-Infrared Spectroscopy Calibrations Performed on Oven-Dried Green Forages for the Prediction of Chemical Composition and Nutritive Value of Preserved Forage for Ruminants. *Applied Spectroscopy*, 70(8), 1321–1327. <https://doi.org/10.1177/0003702816654056>
- Andueza, D., Picard, F., Jestin, M., Andrieu, J., & Baumont, R. (2011). NIRS prediction of the feed value of temperate forages: Efficacy of four calibration strategies. *Animal*, 5(7), 1002–1013. <https://doi.org/10.1017/S1751731110002697>

Association Of Official Analytical Chemists – AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. 15.ed. Arlington, Virginia. 1117p.

Boval, M., Coates, D. B., Lecomte, P., Decruyenaere, V., & Archimède, H. (2004). Faecal near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess chemical composition, in vivo digestibility and intake of tropical grass by Creole cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 114(1–4), 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.12.009>

Bueno, I. C. S., Vitti, D. M. S. S., Abdalla, A. L., & Louvandini, H. (2007). Consumo voluntário, digestibilidade aparente e cinética digestiva de três forrageiras em ovinos. *Ciência Animal Brasileira*, 8(4), 713–722. <http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/viewArticle/2692>

Decruyenaere, V., Froidmont, E., Bartiaux-Thill, N., Buldgen, A., & Stilmant, D. (2012). Faecal near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) compared with other techniques for estimating the in vivo digestibility and dry matter intake of lactating grazing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 173(3–4), 220–234. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.02.005>

Decruyenaere, V, Lecomte, P., Demarquilly, C., Aufrere, J., Dardenne, P., Stilmant, D., & Buldgen, A. (2009). Evaluation of green forage intake and digestibility in ruminants using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Developing a global calibration. *Animal Feed Science and Technology*, 148(2–4), 138–156. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.03.007>

- Decruyenaere, Virginie, Buldgen, A., & Stilmant, D. (2009). Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: A review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 13(4), 559–573.
- Dixon, R., & Coates, D. (2009). Review: Near infrared spectroscopy of faeces to evaluate the nutrition and physiology of herbivores. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 17(1), 1–31. <https://doi.org/10.1255/jnirs.822>
- Euclides, V. P. B., Macedo, M. C. M., & Oliveira, M. P. (1992). Avaliação de diferentes métodos de amostragem [para se estimar o valor nutritivo de forragens] sob pastejo. *Rev. Soc. Bras. Zoot.*, 21(4), 691–702.
- Fanchone, A., Boval, M., Lecomte, P., & Archimède, H. (2007). Faecal indices based on near infrared spectroscopy to assess intake, in vivo digestibility and chemical composition of the herbage ingested by sheep (crude protein, fibres and lignin content). *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 15(2), 107–113. <https://doi.org/10.1255/jnirs.720>
- Gindri, M., Zilio, E. M. C., Guterres, A. S., Gindri, R. G., Campos, F. S., Bomfim, M. A. D., Galvani, D. B., & Kozloski, G. V. (2019). Comparison of methods to estimate crude protein and digestible organic matter content of diets ingested by free-ranging sheep. *Small Ruminant Research*, 178(June), 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.06.023>

- Glasser, T., Landau, S., Ungar, E. D., Perevolotsky, A., Dvash, L., Muklada, H., Kababya, D., & Walker, J. W. (2008). A fecal near-infrared reflectance spectroscopy-aided methodology to determine goat dietary composition in a Mediterranean shrubland. *Journal of Animal Science*, *86*(6), 1345–1356. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-817>
- Jinks, A. D., Oltjen, J. W., Robinson, P. H., & Calvert, C. C. (2010). Fecal pats help to predict nutrient intake by cattle during summer on California's annual rangelands. *California Agriculture*, *64*(2), 101–105. <https://doi.org/10.3733/ca.v069n01p14>
- Johnson, A.D. Sample preparation and chemical analysis of vegetation. In: Manejte, L.T. (Ed.). *Measurement of grassland vegetation and animal production*. Aberystwyth: Commonwealth Agricultural Bureau, 1978. p.96-102.
- Landau, S., Glasser, T., Muklada, H., Dvash, L., Perevolotsky, A., Ungar, E. D., & Walker, J. W. (2005). Fecal NIRS prediction of dietary protein percentage and in vitro dry matter digestibility in diets ingested by goats in Mediterranean scrubland. *Small Ruminant Research*, *59*(2–3), 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.009>
- Landau, S. Y., Dvash, L., Roudman, M., Muklada, H., Barkai, D., Yehuda, Y., & Ungar, E. D. (2015). Faecal near-IR spectroscopy to determine the nutritional value of diets consumed by beef cattle in east Mediterranean rangelands. *Animal*, *10*(2), 192–202. <https://doi.org/10.1017/S175173111500169X>

- Lyons, R. K., & Stuth, J. W. (1992). Fecal NIRS Equations for Predicting Diet Quality of Free-Ranging Cattle. *Journal of Range Management*, 45(3), 238. <https://doi.org/10.2307/4002970>
- Mahipala, M. B. P. K., Krebs, G. L., McCafferty, P., Naumovski, T., Dods, K., & Stephens, R. (2010). Predicting the quality of browse-containing diets fed to sheep using faecal near-infrared reflectance spectroscopy. *Animal Production Science*, 50(10), 925–930. <https://doi.org/10.1071/AN09141>
- Mato Grosso. (2000). Relatório técnico consolidado de clima para o estado de Mato Grosso. *Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral*, 2(2), 1–83.
- Núñez-Sánchez, N., Carrion, D., Peña Blanco, F., Domenech García, V., Garzón Sigler, A., & Martínez-Marín, A. L. (2016). Evaluation of botanical and chemical composition of sheep diet by using faecal near infrared spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.09.010>
- Sader, A. P. O., Oiveira, S. G., & Berchielli, T. T. (2004). Application of Kjeldahl and Dumas Combustion Methods for Nitrogen Analysis. *Archives of Veterinary Science*, 9(2), 73–79. <https://doi.org/10.5380/avs.v9i2.4068>
- Shenk, J.S.; Workman, J.J.; Westerhaus, M.O. (2008). Application of NIR

spectroscopy to agricultural products”, In: Burns, D.A.; Ciurczak, E.W. *Handbook of near-infrared analysis*. 3.ed. cap.17, London: New York, p. 347-386.

Souza, G.B., Sobrinho, M.R., Boza, Y., & Silva, A.L.M ...[et al.]. Validação de métodos para análise de alimentos: enfoque em análise centesimal. 1. ed. – REMESP. São Paulo, 2016.

Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. (1963). a Two-Stage Technique for the in Vitro Digestion of Forage Crops. *Grass and Forage Science*, 18(2), 104–111.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>

Tran, H., Salgado, P., Tillard, E., Dardenne, P., Nguyen, X. T., & Lecomte, P. (2010). “Global” and “local” predictions of dairy diet nutritional quality using near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4961–4975.
<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1893>

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Cornell university press. New York, 476 p.

Velásquez, P. A. T., Berchielli, T. T., Reis, R. A., Rivera, A. R., Dian, P. H. M., & Teixeira, I. A. M. de A. (2010). Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade in vitro de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 39(6), 1206–1213.

Wang, T., Ibrahim, A., Potts, A. R., & Hoag, S. W. (2015). Application of Multivariate

Strategies to the Classification of Pharmaceutical Excipient Manufacturers Based on Near-Infrared (NIR) Spectra. *Acta Radiologica*, 56(12), 1257–1270.
<https://doi.org/10.1366/15-07859>

Tabelas

Tabela 1. Estatísticas da regressão PLS para modelos de calibração e da validação cruzada, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.

Modelo	Nutriente	CP	Calibração			Validação cruzada			C/CV
			R ²	RMSEC	Viés	R ²	RMSECV	Viés	
SG 22	PB	5	0,88	0,80	7,15 x 10 ⁻⁷	0,84	0,96	0,008	1,05
SG + SNV 22	DIVMS	4	0,75	4,02	3,59 x 10 ⁻⁷	0,69	4,54	-0,025	1,09

(CP) = Componentes principais; (R²) = Coeficiente de determinação da equação; (RMSEC) = Erro quadrático médio da raiz da calibração; (RMSECV) = Erro quadrático médio da raiz da validação; (C/CV) = Relação calibração/validação; (SG 22) = 2ª Derivadas *Savitzky-Golay* com 2ª janela de suavização; (SNV + SG 22) = Variação Normal Padrão + 2ª Derivadas *Savitzky-Golay* com 2ª janela de suavização; (PB) = Proteína Bruta; (DIVMS) = Digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Tabela 2. Estatísticas da regressão PLS para modelos de previsão, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.

Modelo	Nutriente	Predição				VP (%)	VR (%)	P valor
		R ²	RMSEP	RRMSEP (%)	Viés			
SG 22	PB	0,64	1,09	10,22	-0,015	10,66	10,68	0,972
SG + SNV 22	DIVMS	0,32	5,46	10,97	0,209	49,76	50,26	0,686

(R²) = Coeficiente de determinação da equação; (RMSEP) = Erro quadrático médio da raiz da previsão; (RRMSEP) = Erro relativo da previsão; (VP) = Valor predito; (VR) = Valor de referência; (SG 22) = 2ª Derivadas Savitzky-Golay com 2ª janela de suavização; (SNV + SG 22) = Variação Normal Padrão + 2ª Derivadas Savitzky-Golay com 2ª janela de suavização; (PB) = Proteína Bruta; (DIVMS) = Digestibilidade in vitro da matéria seca.

Tabela 3. Participação percentual e total de comprimentos de onda por bandas no desenvolvimento do modelo de PB, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-Mombaça.

Banda	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
n	8	6	11	15	15	26	18	15	15	19	7	8	10	9
%	4	3	6	8	8	14	10	8	8	10	4	4	5	5

(n) = número de comprimentos de onda; (%) = percentual de participação no modelo

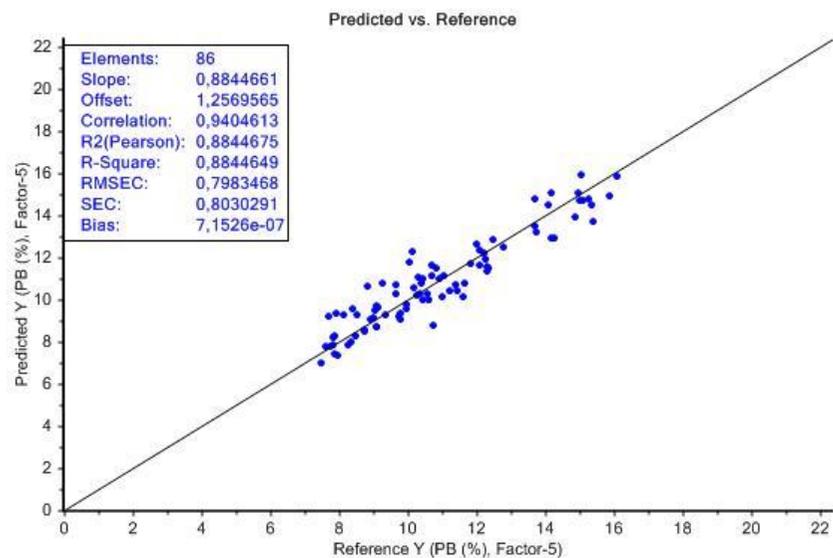
Tabela 4. Participação percentual e total de comprimentos de onda por bandas no desenvolvimento do modelo de DIVMS, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-Mombaça.

Banda	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
n	2	0	0	8	2	2	9	2	0	4	1	5	6	4
%	4	0	0	18	4	4	20	4	0	9	2	11	13	9

(n) = número de comprimentos de onda; (%) = percentual de participação no modelo

Figuras

a)



b)

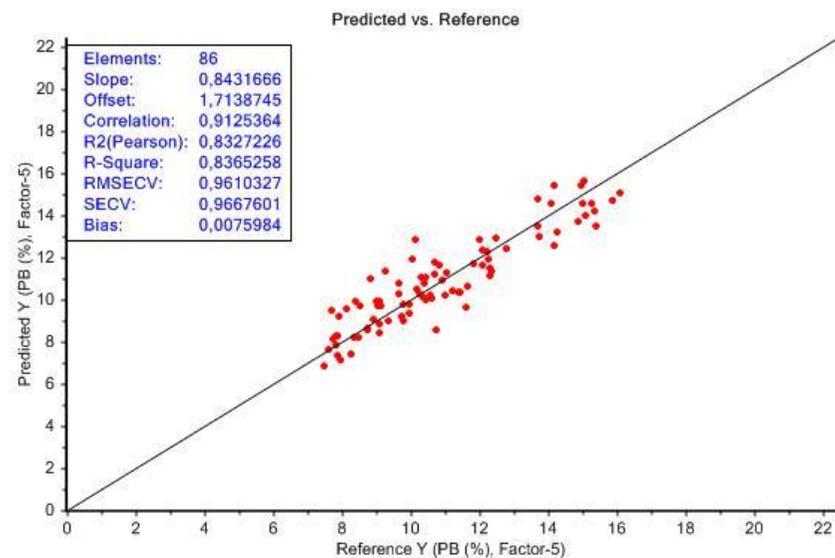


Figura 1. Modelos de calibração (a) e validação cruzada (b) de PB, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.

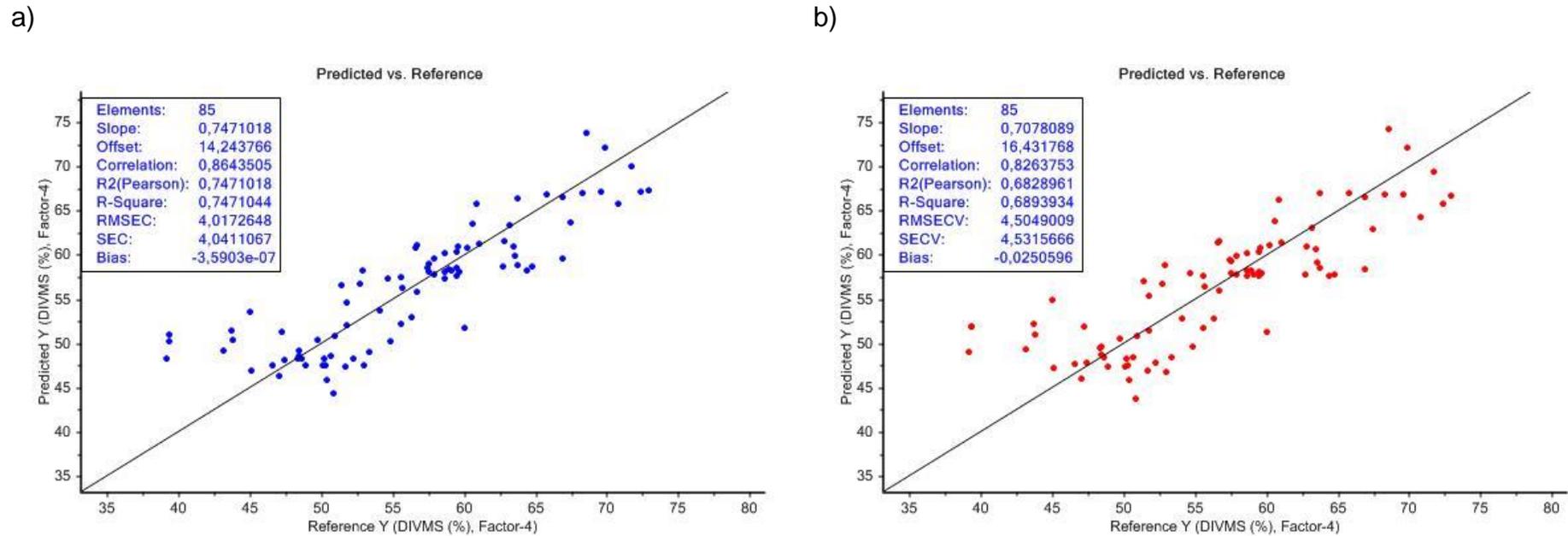


Figura 2. Modelos de calibração (a) e validação cruzada (b) de DIVMS, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça.

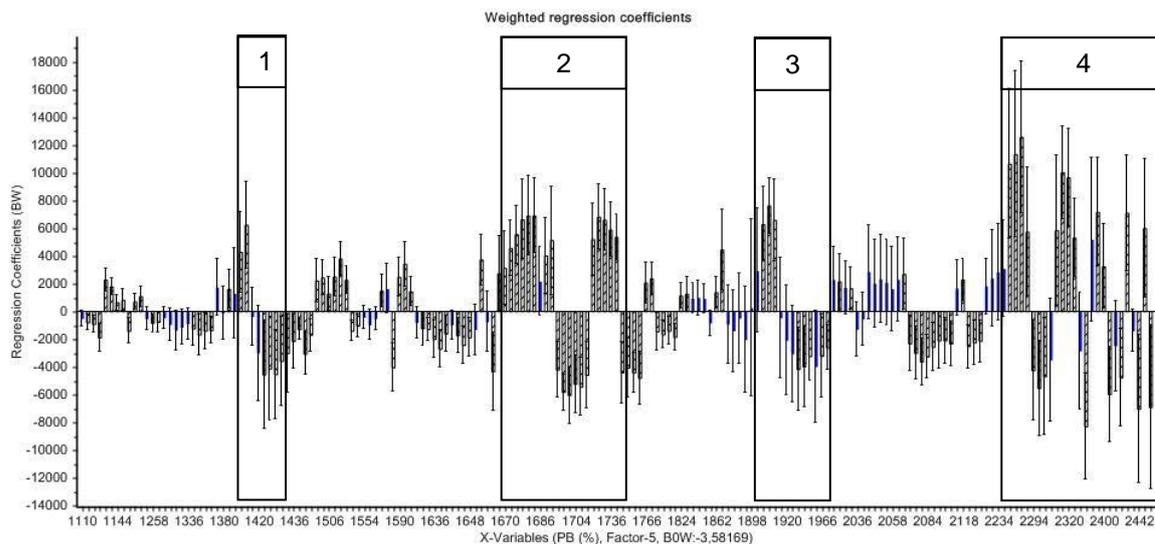


Figura 3. Regiões de absorção e coeficientes de regressão PLS das variáveis mais importantes do modelo de PB, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça. Região 1 = 1410, 1422 nm; região 2 = 1676, 1678, 1680, 1690, 1702, 1732, 1734 nm; região 3 = 1902, 1904, 1906, 1962 nm; região 4 = 2254, 2264, 2266, 2268, 2296, 2310, 2316, 2318, 2320, 2322, 2350, 2354, 2398, 2404, 2414, 2418, 2442, 2478, 2494 nm.

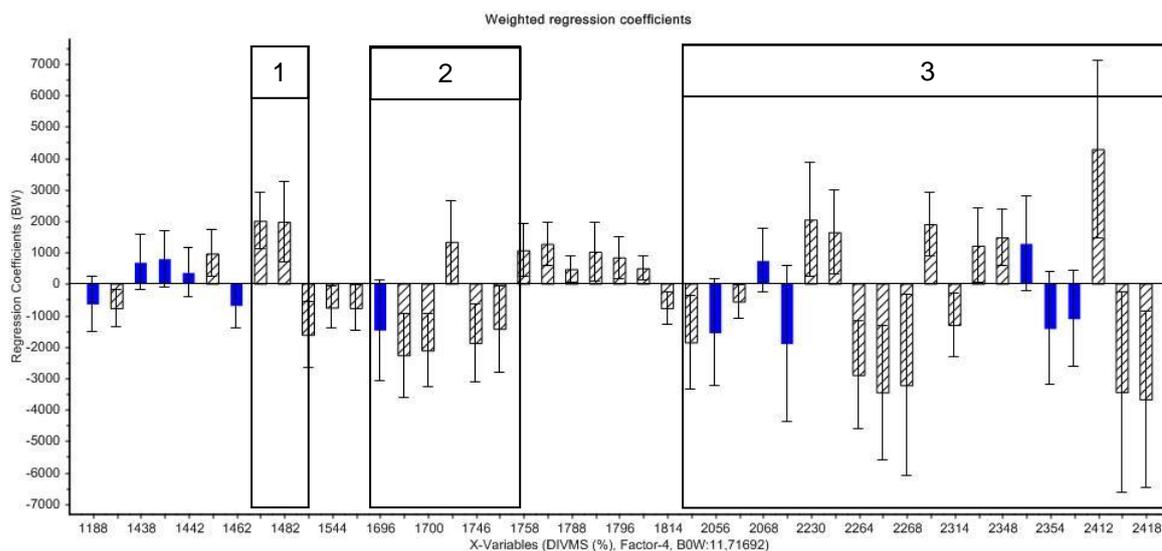
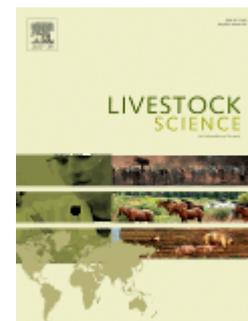


Figura 4. Regiões de absorção e coeficientes de regressão PLS das variáveis mais importantes do modelo de DIVMS, utilizando espectroscopia NIR em fezes de ovinos mantidos em pastagem de capim-mombaça. Região 1 = 1480, 1482 nm; região 2 = 1696, 1698, 1700, 1746 nm; região 3 = 2054, 2056, 2166, 2230, 2232, 2264, 2266, 2268, 2306, 2350, 2354, 2412, 2416 e 2418 nm.

ANEXOS

ANEXO A - Normas para formatação da Ciência Pecuária



Espaçamento

Duplo com margens de 2 a 2,5 cm em todo o documento, fonte de 12 pt, preferencialmente Times News Roman ou Arial. Ative a numeração contínua de linhas em todo o manuscrito para que os números de linha apareçam na margem esquerda.

Resumo

Até 400 palavras.

Palavras-chave

Máximo 6 palavras-chave.

Tabelas e figuras

As tabelas podem ser colocadas em páginas separadas no final do texto.

Formatação de referência

Não há requisitos rigorosos na formatação de referência no envio. As referências podem estar em qualquer estilo ou formato, desde que o estilo seja consistente. Quando aplicável, nome (s) do (s) autor (es), título do periódico / título

do livro, título do capítulo / artigo, ano de publicação, número do volume / capítulo do livro e número do artigo ou paginação. O uso do DOI é altamente encorajado. Por favor, use um recuo deslocado (segunda e subsequentes linhas recuadas).