

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**USO DO NIRS COMO FERRAMENTA DE  
DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE OVINOS  
MANTIDOS EM PASTAGEM NATURAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Marcelo Gindri**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2016**

**USO DO NIRS COMO FERRAMENTA DE  
DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE OVINOS MANTIDOS EM  
PASTAGEM NATURAL**

**Marcelo Gindri**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em  
Produção Animal/Nutrição de Ruminantes, da Universidade Federal de Santa  
Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Zootecnia**

**Orientador: Gilberto Vilmar Kozloski**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2016**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Gindri, Marcelo  
USO DO NIRS COMO FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM NATURAL / Marcelo Gindri.- 2016.  
77 p.; 30cm

Orientador: Gilberto Kozloski  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, RS, 2016

1. Dieta 2. Fezes 3. Ovinos 4. Infravermelho 5. Bioma Pampa I. Kozloski, Gilberto II. Título.

---

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Marcelo Gindri. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: marcelo\_gindri@yahoo.com.br

---

**Universidade Federal de Santa Maria**  
**Centro de Ciências Rurais**  
**Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**USO DO NIRS COMO FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO  
NUTRICIONAL DE OVINOS MANTIDOS EM PASTAGEM NATURAL**

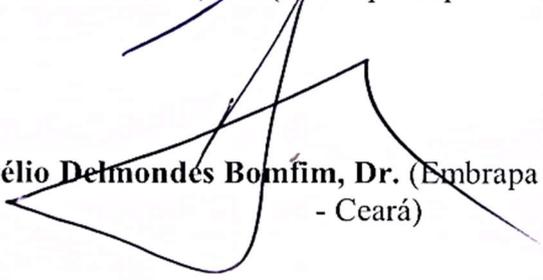
elaborada por  
**Marcelo Gindri**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Zootecnia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Gilberto Vilmar Kozloski, Dr. (UFSM) (Presidente/Orientador)**

  
**Diego Barcelos Galvani, Dr. (Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral - Ceará)**

  
**Marco Aurélio Delmondes Bomfim, Dr. (Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral  
- Ceará)**

Santa Maria, 25 de Fevereiro de 2016.

## AGRADECIMENTOS

Agradecer é um ato de reconhecer a ajuda do outro sem esperar recompensa. Sou muito grato por todas as coisas que me aconteceram e por todos os que passaram por mim durante os dois anos do mestrado, foi um dos períodos de maior crescimento pessoal que tive. Todos os gestos de apoio desde a idealização do projeto até a conclusão da parte escrita deste trabalho foram muito importantes e nunca mais serão esquecidos.

Começo agradecendo a Deus, que apesar de muitos não acreditarem, são nas horas de aperto que algo muito maior do que nós, pessoas, se apresenta e nos dá força para mantermos a cabeça erguida e o foco no objetivo. Obrigado meu Deus por estar sempre me amparando e me guiando.

Minha família foi e sempre será meu refúgio e a minha escola da vida, meus pais muito obrigado por todas as lições e experiências, também agradeço ao meu irmão Matheus pela compreensão quando dizia por telefone que não poderia estar presente no seu dia a dia, devido ao exagero de compromissos com a academia, desde a graduação até o dia de hoje. Matheus tu não tem ideia do quanto isso me faz repensar o dia de amanhã. Família amo vocês.

Aos meus avós, que apesar de não entenderem muito o que se passa na vida acadêmica sempre estiveram na expectativa e celebrando minhas conquistas.

Meus primos e também amigos Lucélia, Ricardo, Livia e Rafael, que sempre estiveram dispostos a me ajudar quando precisei mesmo sem solicitar.

Meus tios e familiares que sempre me alertaram quanto ao foco excessivo no trabalho, que muitas vezes pode acabar sendo prejudicial a própria vida acadêmica, hoje consigo entender os conselhos de vocês.

As amigas Thais, Bruna e Gabriela que ganhei ao longo da vida de estudante fora da cidade natal, e que sempre estiveram disponíveis para celebrar minhas conquistas e escutar minhas reclamações.

Aos colegas das disciplinas, Andressa, professora Ana Gabriela, Paula, Mateus, que sempre me motivavam e escutavam as angústias.

A excelente equipe de colegas, estagiários e funcionários que tive no Labrumen, essenciais para a condução dos experimentos. Muito obrigado Elissandra, Andressa, Ricardo, Flaiane, Guilherme, Mariana, Thais, Simone, Claudio, Alsiane, Mari Paulista, Roberta, Clóvis, Gisele e Vitor.

Aos estagiários e colegas pós-graduandos envolvidos no projeto NutriOvi, que conheci no workshop do projeto e durante minha estada no centro nacional de pesquisa em Caprinos e Ovinos (EMBRAPA Caprinos e Ovinos) em Sobral no Ceará. Muito obrigado Yanna, Hellen, Erlane, Val, Yara, Bruna, Michel e Carla, e também a dona Lidu e ao Marcio laboratoristas da unidade.

Aos moradores do ap 201 em Sobral que sem me conhecer me receberam na sua casa como se nos conhecêssemos a muito tempo, e mesmo instalado na sala do apartamento de vocês, me fizeram sentir em casa pela simplicidade, amizade e companheirismo. Muito obrigado Renato, Marta, Eleni, Lidiana, Verônica e Priscila.

Ao meu orientador professor Gilberto Vilmar Kozloski por ter me confiado este desafio que foi desenvolver este e outro projeto durante o mestrado, e também pelos ensinamentos, uma pessoa para se ter como exemplo profissional. Parabéns.

A Universidade Federal de Santa Maria, pela estrutura e recursos despendidos para a condução do projeto, em especial ao seu Emir, motorista do departamento de Zootecnia que não mediu esforços quando precisei levar as amostras para Sobral no Ceará, muito obrigado.

Aos meus coorientadores professor Fernando Quadros, e os pesquisadores Marco Bomfim e Diego Galvani, pelas sugestões e ensinamentos durante todas as etapas do projeto, execução do ensaio e escrita da dissertação.

No nome dos pesquisadores Marco Bomfim e Diego Galvani, agradeço ao centro de pesquisas em Caprinos e Ovinos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pelos esforços não medidos para que pudesse ter cumprido com todas as etapas do projeto.

**A todos o meu Muito Obrigado!**

**Sonhos não determinam o lugar onde você vai chegar, mas produzem a força necessária para o retirar do lugar em que você está.**

**Augusto Cury**

## RESUMO

### USO DO NIRS COMO FERRAMENTA DE DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE ANIMAIS MANTIDOS EM PASTAGEM NATURAL

AUTOR: Marcelo Gindri  
ORIENTADOR: Gilberto Vilmar Kozloski

A predição do consumo voluntário de alimento e o teor de matéria orgânica digestível e proteína bruta da dieta de ovinos em sistemas extensivos compostos por pastagens naturais heterogêneas é um desafio para pesquisadores e técnicos. O objetivo do estudo foi desenvolver modelos para prever o consumo de matéria orgânica (CMO), matéria orgânica digestível (MOD) e proteína bruta (PB) da dieta de ovinos em pastejo sobre a pastagem natural do bioma Pampa no Rio Grande do Sul com o uso da espectroscopia da refletância no infravermelho próximo das fezes (NIRS fecal). Foi conduzido um ensaio com seis ovinos em uma área de pastagem natural em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Durante cinco dias, por treze meses consecutivos (2014/2015), foram coletadas as fezes dos animais com o uso de bolsas, e amostras de forragem individuais por animal, através do pastejo simulado e através da coleta de extrusas realizada no início da maior refeição diária dos animais, e no término da maior refeição. As refeições eram identificadas através da avaliação de comportamento por 24hs prévia as coletas. As amostras de dieta e fezes foram secas (55°C), moídas (1 mm), e determinado os teores de matéria seca, matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N). Nas amostras de dieta também foi determinado o teor de MO digestível (MOD) através da digestibilidade verdadeira *in situ* por 48hs multiplicado pelo teor de MO. Nas amostras fecais foram coletados os espectros de absorvância na faixa do infravermelho próximo. O CMO foi estimado por meio da excreção fecal diária de N (EFN), utilizando o modelo  $CMO, g MO/animal/dia = 1,1 + 101,2 \times EFN$ , ( $r^2=0,83$ ) proposto por KOZLOSKI (dados não publicados) para ovinos recebendo a mesma dieta dos animais deste estudo. A MOD foi obtida pela equação,  $MOD, \% MS = (1 - ((excreção fecal diária de MO)/CMO)) \times MO$  médio das amostras de simulação. Os valores de referência da composição da dieta dos animais e o consumo foram relacionados com os espectros fecais através de modelos de regressão múltipla (dieta/fezes) utilizando o método dos mínimos quadrados parciais. Do total de amostras de cada variável modelada, 25% foram destinadas somente para validação externa dos modelos. O desempenho dos modelos NIRS fecal foi dependente da acurácia dos métodos de referência. O melhor modelo foi o da variável MOD quando estimada pelo N fecal, seguida pelas variáveis oriundas das amostras de extrusa, independente do horário de coleta, e posteriormente pelas amostras de simulação de pastejo média por animal e diárias. O modelo CMO apresentou excelente resultado frente a dificuldade que é prever esta variável, pelo grande número de fatores envolvidos além da química da dieta. A tecnologia do NIRS fecal pode ser utilizada como ferramenta para a predição do CMO, PB e MOD da dieta de ovinos em pastagem natural do bioma Pampa no Rio Grande do Sul.

**Palavras-chave:** Dieta. Fezes. Infravermelho. Ovinos. Pampa.

## ABSTRACT

### NIRS AS A TOOL FOR DIAGNOSTIC NUTRITION OF ANIMALS GRAZING RANGELAND

AUTHOR: Marcelo Gindri  
ADVISOR: Gilberto Vilmar Kozloski

The prediction of voluntary feed intake and digestibility of heterogeneous forages in rangeland is a challenge for researchers and technicians. The objective of this study was to develop models to predict the organic matter intake (OMI), organic matter digestibility (OMD) and crude protein (CP) of sheep diet grazing rangeland Pampa biome in southern Brazil through the faeces using the near infrared reflectance spectroscopy (fecal NIRS). Six sheep were used in a natural pasture area in Santa Maria, southern Brazil. The last five days of each month (from June of 2014 to June of 2014), individual feces from animal bags, and individual forage samples were collected per animal through hard plucking and extrusas, collected at the beginning of the biggest daily meal of animals, and at the end of the biggest meal. The meals were identified through behavioral assessment for 24 hours prior to collections. The diet samples and feces were dried (55 °C), ground (1 mm), and determined the contents of dry matter, organic matter (OM), total nitrogen (N). In the diet samples was also determined content of digestible organic matter (DOM) through real-in situ digestibility by 48 hours multiplied by the OM content. In fecal samples were collected absorbance spectra in the near infrared range. The OMI was estimated by daily fecal excretion of N (DFEN), using the model,  $OMI, g OM/animal/day = 1.1 \times 101.2 + DFEN$ , ( $r^2 = 0.83$ ), proposed by KOZLOSKI (unpublished) to sheep fed the same diet of the animals in this study. The OMD was obtained by equation,  $OMD, \% DM = (1 - ((daily\ fecal\ excretion\ of\ OM) / OMI) \times OM\ medium\ of\ simulation\ samples)$ . The reference values of the diet composition and OMI were individually related to fecal spectra through the partial least squares regression method. For developing the models, 80% of the total sample was used, and the remainder was used for external validation. The performance of fecal NIRS models was dependent on the accuracy of the reference methods. The best model was the OMD variable when estimated by fecal N, followed by variables from the samples extrusa independent of hour of collection, and then the sample average hard plucking and daily per animal. The OMI model presents excellent results, but the difficulty in predicting this variable, the large number of environmental factors besides diet chemistry. The technology of fecal NIRS can be used as a tool for predicting the OMI, CP and OMD of sheep diet on natural pasture Pampa biome in southern Brazil.

**Keywords:** Diet. Feces. Infrared. Sheep. Pampa.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados bromatológicos de diversos estudos realizados sobre a pastagem nativa do bioma Pampa no Rio Grande do Sul, em função do tipo de solo, região e da estação climática .....	20
Tabela 2 – Desempenho médio da tecnologia NIRS fecal na predição de parâmetros nutricionais da dieta de ruminantes .....	31
Tabela 3 – Massa de forragem e forragem verde, carga animal e oferta de forragem estimados mensalmente ao longo do ensaio para os 0,64 ha de área útil para o pastejo dos ovinos .....	36
Tabela 4 – Composição florística da área onde foi realizado o ensaio, agrupada por família, para as duas épocas de avaliação, os valores são expressos em relação a massa de forragem (%) presente na área no dia da avaliação.....	37
Tabela 5 – Peso corporal em jejum e escore de condição corporal dos ovinos ao longo do ensaio .....	39
Tabela 6 – O melhor pré-tratamento empregado sobre os dados espectrais para cada parâmetro modelado .....	48
Tabela 7 – Teor de MO digestível (MOD), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidas a partir da médias dos cinco dias de coletas das amostras de simulação de pastejo.....	49
Tabela 8 – Teor de MO digestível (MOD), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidos a partir da média das amostras de extrusas obtidas em dois horários de coletas ao início do a maior refeição diária (AP) e ao término da maior refeição diária (PP).....	52
Tabela 9 – Teor de N fecal (N) e matéria orgânica digestível (MOD) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidas a partir da excreção fecal diária de N .....	55
Tabela 10 – Consumo de matéria orgânica (CMO) dos ovinos ao longo do ensaio predito através da excreção fecal diária de MO e da DISMO das amostras de simulação de pastejo (CMOS) ou das extrusas (CMOE), ou ainda pelo modelo a partir da excreção fecal diária de N (CMON).....	57
Tabela 11 – Resultados estatísticos do desempenho dos modelos de predição desenvolvidos a partir da espectroscopia NIR .....	63

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Estrutura básica de um espectrofotômetro infravermelho dispersivo ..... 23
- Figura 2 - Modos de vibração molecular. As bolas vermelhas e azuis representam os átomos e as linhas representam as ligações, os sinais x e ● indicam movimentos para dentro e para fora do plano do desenho, respectivamente..... 25
- Figura 3 – Regiões dos picos de absorbância para as moléculas químicas dentro da região do infravermelho proximal ..... 26
- Figura 4 – Na figura estão representadas as etapas de modelagem realizadas pelo método PLS-1. Na figura A e B são representados o PCA que dá origem aos vetores  $t_1$  e  $t_2$  formados a partir das variáveis da matriz X, e na figura C a combinação entre os dois vetores formados e os dados da matriz Y gerando o modelo  $y = a + t_1b_1 + t_2b_2 + e$ ..... 28
- Figura 5 – Processo de irradiação da amostra com a luz infravermelha e a posterior refletância da luz não absorvida pela amostra, demonstrando o espalhamento de parte da luz refletida para sentido contrário ao do detector ..... 30
- Figura 6 – Foto de satélite da área onde foi realizado o ensaio, demonstrando a porção útil para o pastejo dos animais..... 34
- Figura 7 – Cronograma de coletas e medições dentro dos períodos experimentais. Começando pelo 1º dia indo na sequência até o 30º dia do período ..... 38
- Figura 8 – Amostras de fezes que apresentaram valores de H acima de 3 a partir da média e que foram consideradas *outliers* (em vermelho). A) banco de amostras diárias, e B) banco de amostras compostas ..... 45
- Figura 9 – Representação gráfica do teor de MO digestível (MOD), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidas a partir das amostras diárias de simulação de pastejo (a) e da média por animal dos cinco dias de coletas das amostras de simulação de pastejo (b) ..... 50
- Figura 10 – Relação linear entre os horários de coleta das amostras de extrusa, coletadas no início da maior refeição diária dos animais (AP), ou ao término da refeição (PP) utilizando as variáveis matéria orgânica digestível (a) e proteína bruta (b) das amostras como indicadores..... 51
- Figura 11 – Teor de MO digestível (MOD), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidos a partir da média por animal das amostras de extrusas obtidas em dois horários de coletas, ao início da maior refeição diária (AP) e ao término da maior refeição diária (PP).. 53
- Figura 12 – Relação linear entre as metodologias empregadas para coleta das amostras de forragens, através da metodologia da simulação de pastejo ou coleta de extrusas, utilizando as variáveis matéria orgânica digestível (a) e proteína bruta (b) das amostras como indicadores..... 54
- Figura 13 – Estimativa do teor de matéria orgânica digestível da dieta dos ovinos, através da relação entre a excreção fecal de MO e o consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal, e a concentração de N fecal ao longo do ensaio ..... 55

- Figura 14 – Relação linear entre as metodologias empregadas para estimativa do teor de matéria orgânica digestiva da dieta dos ovinos, estimada através da incubação *in situ* por 48hs das amostras de extrusa (MODE) (a) ou das amostras de simulação de pastejo (MODS) (b), comparadas com o método através da relação entre a excreção fecal de MO e o consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal (MODN fecal)..... 56
- Figura 15 – Relação linear entre as metodologias empregadas para estimativa do teor de matéria orgânica digestiva da dieta dos ovinos, estimada através da incubação *in situ* por 48hs das amostras de extrusa e através da relação entre a excreção fecal de MO e o consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal..... 58
- Figura 16 – Relação linear entre as metodologias empregadas para estimativa do consumo de matéria orgânica dos ovinos, estimada através da digestibilidade *in situ* das amostras de extrusa (CMOE) (a) ou das amostras de simulação de pastejo (CMOS) (b), e através do consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal (CMON) ..... 59
- Figura 17 – Análise exploratória de componentes principais utilizando as variáveis de qualidade (MOD, PB, FDN e FDA) das amostras de extrusas (a) simulação de pastejo (b), agrupadas em função da estação climática em que foram coletadas (Verde – primavera; Vermelho – outono; Azul escuro – inverno; Azul claro – verão)..... 60
- Figura 18 - Análise exploratória dos espectros das amostras de fezes diárias, com dois componentes principais, agrupadas em função da estação climática em que foram coletadas (Verde – verão; Vermelho – primavera; Azul escuro – inverno; Azul claro – outono)..... 61
- Figura 19 - Análise exploratória dos espectros das amostras de fezes compostas, com dois componentes principais, agrupadas em função da estação climática em que foram coletadas (Azul claro – verão; Verde – Primavera; Azul escuro – Inverno; Vermelho – Outono)..... 62
- Figura 20 – Representação esquemática do modelo de consumo proposto por SAUVANT et al. (1996) ..... 67

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 OVINOCULTURA NO RIO GRANDE DO SUL.....	17
2.2 PASTAGEM NATURAL DO RIO GRANDE DO SUL.....	18
2.3 VARIÁVEIS NUTRICIONAIS EM ESTUDO.....	19
2.4 ESPECTROFOTOMETRIA DE REFLETÂNCIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIRS).....	22
2.4.1 O equipamento.....	22
2.4.2 Princípio da técnica.....	24
2.5 QUIMIOMETRIA.....	27
2.5.1 Análise de componentes principais.....	27
2.5.2 Regressão por mínimos quadrados parciais.....	27
2.5.3 Tratamentos dos dados espectrais.....	29
2.6 USO DO NIRS FECAL NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES.....	29
3 HIPÓTESE.....	33
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1 LOCAL, ANIMAIS E ÉPOCA.....	34
4.2 PERÍODOS EXPERIMENTAIS.....	35
4.3 MEDIDAS E COLETAS DE AMOSTRAS AO LONGO DO ENSAIO DE CAMPO.....	35
4.3.1 Caracterização da pastagem.....	35
4.3.2 Dieta e fezes.....	37
4.3.3 Animais.....	39
4.4 ANÁLISES LABORATORIAIS QUÍMICAS E BIOLÓGICAS.....	39
4.5 ESTIMATIVAS DO CONSUMO VOLUNTÁRIO E DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DIGESTÍVEL VIA N FECAL.....	41
4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS PRELIMINARES.....	42
4.6.1 Análises nos dados de referência.....	42
4.6.2 Análise nos espectros.....	44
4.6.3 Análises gráficas de agrupamento - PCA.....	44
4.7 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS.....	45
4.7.1 Seleção dos modelos e remoção de outliers.....	46
4.7.2 Predição.....	48
5 RESULTADOS.....	49
5.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS PRELIMINARES.....	49
5.1.1 Análises nos dados de referência.....	49
5.1.2 Análise nos espectros fecais.....	61
5.2 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS.....	62
6 DISCUSSÃO.....	64
6.1 ANÁLISES PRELIMINARES.....	64
6.2 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS NIRS FECAL.....	66
7 CONCLUSÃO.....	68

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
ANEXOS .....	75

# 1 INTRODUÇÃO

A criação de ovinos no Rio Grande do Sul se destaca como importante atividade econômica e também agrega o peso da tradição cultural. Depois de um longo período de crise na cadeia produtiva, devido à desvalorização da lã, a ovinocultura ganhou um novo mercado, agora com um mercado para a carne, indicando um excelente potencial para se tornar em um produto substituto no mercado, fazendo os produtores vislumbrarem um novo mercado.

Os ovinos no Rio Grande do Sul sempre foram criados sobre a pastagem natural do Bioma Pampa, ambiente favorável para a criação bovina e ovina. O sistema de produção ovino baseado no campo nativo tem sido sinônimo de produção extensiva, caracterizado pela baixa produtividade e, conseqüentemente, baixa rentabilidade. O uso de tecnologias que possibilitem maior controle sobre a atividade ovina, principalmente aqueles relacionados à nutrição, já que esta é feita de forma empírica, podem reduzir os custos de produção dos produtores, por otimizar os recursos disponíveis, como o pasto, e fornecer de forma correta os nutrientes exigidos pelos animais.

O fornecimento de uma dieta balanceada para animais em pastejo é um desafio para os produtores e técnicos, já que há muita variação na composição das forragens, e principalmente no campo nativo gaúcho, que há um grande número de espécies forrageiras, além disso, os ovinos em pastejo compõem sua dieta de acordo com suas exigências nutricionais, exercendo a seletividade no pasto, o que torna ainda mais difícil a identificação do real consumo de nutrientes dos animais.

O desenvolvimento de uma técnica fácil, rápida e de baixo custo para identificação da dieta de ovinos em pastejo sobre campo nativo, seria uma saída para o fornecimento de uma dieta adequada para os animais, a fim de atender suas exigências nutricionais.

A espectroscopia no infravermelho proximal (NIR) vem sendo empregada há muitos anos e por vários países para monitoramento nutricional de animais em pastejo através da análise do espectro das fezes. Para isso, é necessário uma grande base de dados envolvendo amostras fecais, das quais os espectros são coletados, contra uma vasta matriz acurada de composição de dieta que serão utilizadas como valores de referência, que são determinados por meio de análises químicas e biológicas no laboratório. A partir do momento em que se obtém e valida esta metodologia, a análise fecal pode ser utilizada para determinar a qualidade da dieta, tornando mais simples e dinâmico o acompanhamento da qualidade da dieta dos animais em pastagens com uma técnica rápida de baixo custo, livre de químicos e não destrutiva.

Os objetivos deste estudo foram desenvolver, calibrar e validar modelos para prever o teor de proteína bruta, matéria orgânica digestível e consumo de matéria orgânica de ovinos sobre pastagem natural do bioma Pampa no Rio Grande do Sul através da espectroscopia da refletância no infravermelho próximo (NIRS) das fezes, além de avaliar a acurácia das metodologias empregadas para a obtenção dos valores de referência.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Ovinocultura no Rio Grande do Sul

A produção ovina no Rio Grande do Sul se destaca como importante atividade econômica e também agrega o peso da tradição cultural. Disseminada principalmente pela metade sul do estado, a ovinocultura ficou marcada por períodos de progressos e crises. A ovinocultura teve seu auge durante as décadas de 1950 e 1960 a partir dos altos preços da lã no mercado internacional e enfrentou uma grave crise na década de 1980 e 1990, pela redução no preço da lã devido aos grandes estoques australianos e à intensa entrada de tecidos sintéticos no mercado têxtil, o que levou muitos produtores a desistir da atividade, reduzindo significativamente o rebanho comercial e gerando a desestruturação de toda a cadeia produtiva (BOFILL, 1996; NOCCHI, 2001).

Entretanto, o aumento do poder aquisitivo da população e o incremento do abate de animais jovens trouxeram um novo mercado para a ovinocultura. A carne ovina começou a ser apreciada, levando a uma maior demanda de consumo, o que indicou um excelente potencial para se tornar um produto substituto no mercado (VIANA e SOUZA, 2007). Esse novo cenário possibilitou o início da reestruturação da ovinocultura no Rio Grande do Sul, com a transição do sistema produtivo laneiro para o sistema de produção de cordeiros para abate, tornando se, dessa forma, o produto carne a principal exploração econômica atualmente (VIANA e SILVEIRA, 2009).

O efetivo de ovinos contabilizado em 2014 pelo IBGE no Brasil foi de 17,61 milhões de unidades, sendo 22,9 % concentrado no Rio Grande do Sul. O município de Santana do Livramento (RS), Casa Nova (BA) e Alegrete (RS) apresentaram os maiores rebanhos de ovinos do país em 2014.

Apesar da retomada da atividade ovina no estado, muitos aspectos relacionados aos sistemas de produção ainda estão deficientes, limitando o desenvolvimento da cadeia produtiva, como apontado por VIANA et al. (2013). Práticas nutricionais ainda se encontram deficientes, pelo fato dos produtores utilizarem áreas marginais para a ovinocultura, e a atividade ser desenvolvida de forma extensiva sobre o campo natural, que faz-se necessário o uso de suplementação em algumas épocas do ano, que é feita de forma esporádica, e sem uma

formulação a fim de atender as demandas nutricionais dos animais. (VIANA e SILVEIRA, 2009).

## **2.2 Pastagem natural do Rio Grande do Sul**

O pastagem natural do Bioma Pampa no Rio Grande do Sul, ocupando aproximadamente 63% (IBGE 2004) da superfície do estado, faz parte da economia e da cultura do estado, pois foi sobre ela que se desenvolveu a criação de animais, fonte de renda para muitas famílias, e que deu origem ao Gaúcho. O bioma se caracteriza por uma esplêndida diversidade de espécies C4, de crescimento estival, e C3 de crescimento hibernal, compreendendo cerca de 523 espécies de gramíneas e 250 espécies de leguminosas (BOLDRINI, 2002), além de uma grande diversidade de pássaros, mamíferos e outras plantas. Segundo BURKART (1975), constitui uma das regiões do mundo mais ricas em gramíneas, com uma mistura de espécies microtêrmicas e megatêrmicas e predomínio destas últimas.

A grande diversidade biológica ocorrente no bioma Pampa se deve, em especial, a diversidade de solos procedentes da grande variabilidade geológica, da topografia, da distribuição da pluviosidade, da temperatura e da disponibilidade de água (BOLDRINI, 2009). A topografia associada à hidrografia, formada por rios e lagoas, constitui uma grande variedade de ambientes que sustentam uma grande diversidade biológica.

O bioma no estado é formada por áreas extensas de campos, com inclusões de manchas de florestas, principalmente nas margens de rios. Destacam-se os campos de barba-de-bode do Planalto, os campos de origem Basáltica sobre solos rasos e solos profundos da Campanha, os campos de areia, os campos da Depressão Central, os campos litorâneos, e a vegetação savanóide (arbóreo-arbustiva) da Serra do Sudeste, sobre solos rasos procedentes de granito (BOLDRINI, 2009).

Esta diversidade além de ser um patrimônio genético, é importante para produção animal, pois possibilita uma dieta variada aos ruminantes, o que confere características particulares ao produto animal nele obtido (NABINGER, 2009).

A estacionalidade na produção de forragem combinada com a grande diversidade de espécies forrageiras, dificulta identificar a ingestão de nutrientes pelos animais, o que torna desafiador um manejo nutricional adequado, podendo em muitos casos comprometer a sustentabilidade dos sistemas de produção com base forrageira a pastagem natural. Como

consequência, nos últimos anos cerca de 22% de área de pastagens naturais entre 1996 (10,5 milhões de hectares) a 2006 (8,2 milhões de hectares), foram destinadas para práticas agrícolas conforme o Censo Agropecuário 2006 (Instituto Brasileiro de Agricultura e estatística - IBGE, 2009), por ser considerado pelos produtores mais rentável do que a produção pecuária. Acredito, hoje, que esta área devastada tenha dobrado, não há dados atuais que comprovem, porém ao andar pelos pampas é notável a expansão das áreas de lavoura e florestas exóticas (Pinus e Eucalipto).

Frente a esses desafios, torna-se difícil a preservação deste patrimônio, que por muitos anos foi à base do sustento de um povo, porém, com ferramentas adequadas de manejo e de uso para produção animal, pode se tornar uma boa fonte de sustento, e até mesmo mais rentável do que outras culturas agrícolas, além de ser uma atividade de menor risco.

Como forma de exemplificar a variabilidade espacial e temporal na qualidade da pastagem nativa do bioma Pampa no Rio Grande do Sul, fiz um levantamento utilizando diferentes estudos realizados no estado que analisaram a composição bromatológica da pastagem (Tabela 1), os dados são também variáveis em função da forma como as amostras de forragem foram coletadas, porém dá pra se ter uma ideia das variações regionais e principalmente temporais, também achei interessante por não ter encontrado na literatura nenhum compilado de dados como este.

### **2.3 Variáveis nutricionais em estudo**

O desempenho dos animais depende principalmente do valor nutricional da sua dieta e da sua capacidade ingestiva. Para ruminantes, especialmente a pasto, o bom valor nutricional da sua dieta depende principalmente, do conteúdo de energia e proteína, que podem ser fermentados pela microbiota ruminal ou escapar e serem absorvidos nos demais compartimentos do trato digestivo. A fermentação ruminal e a digestão pós-ruminal dependem da concentração total de carboidratos e proteínas na dieta e de suas taxas de degradação e passagem, ambas relacionadas com o consumo voluntário dos ruminantes (KOZLOSKI, 2011).

Tabela 1 – Resultados bromatológicos de diversos estudos realizados sobre a pastagem nativa do bioma Pampa no Rio Grande do Sul, em função do tipo de solo, região e da estação climática

Publicação	Local do ensaio		Método de amostragem da forragem	Época do ano	PB (% MS)	DIVMS (% MS)	DIVMO (% MO)	FDN (% MS)	FDA (% MS)	LDA (% MS)	PIDA (% MS)
	Cidade	Solo									
LOBATO, 1998	Pelotas	Planossolo eutrófico	Dupla amostragem	Inverno	6,66	-	-	-	-	-	-
				Primavera	8,74	-	-	-	-	-	-
				Verão	8,97	-	-	-	-	-	-
				Outono	8,81	-	-	-	-	-	-
ROCHA, 2002	Dom Pedrito	-	-	Inverno	6,47	-	34,67	-	-	-	-
TONETTO, 2002	Santa Maria	Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico	Simulação de pastejo de cordeiros	Inverno e Primavera	13,27	41,68	-	-	-	-	-
SILVEIRA, 2005	Alegrete	Basalto superficial	-	Média de 2 anos	14,85	-	44,56	72,65	-	-	-
		Basalto profundo	-	Média de 2 anos	11,45	-	39,51	76,18	-	-	-
		Arenito	-	Média de 2 anos	11,78	-	33,46	80,78	-	-	-
GONÇALVES, 2007	São Gabriel	Argissolo vermelho Distrófico Arênico	Dupla amostragem	Outono	7,67	-	62,31	-	-	-	-
				Inverno	5,93	-	56,77	-	-	-	-

Tabela 1 – ... continuação

Publicação	Local do ensaio Cidade	Método de amostragem da forragem	Época do ano	PB (% MS)	DIVMS (% MS)	DIVMO (% MO)	FDN (% MS)	FDA (% MS)	LDA (% MS)	PIDA (% MS)	
GARAGORRY, 2008	Alegrete	Neossolo Litólico Eutrófico Típico, Chernossolo Ebânico Carbonático Vértico e Vertissolo Ebânico Órtico Típico	Dupla amostragem	Inverno	6,20	-	29,80	-	-	-	-
				Primavera-Verão	6,40	-	25,60	-	-	-	-
				Outono-Inverno	6,40	-	13,20	-	-	-	-
FARINATTI, 2009	Hulha Negra	Planossolo de textura média	Lamina foliar e colmo verde da dupla amostragem	Verão	9,31	-	55,28	73,14	-	-	-
SACCOL, 2015	Santa Maria	Planossolo Háptico eutrófico	Simulação de pastejo de cordeiros	Primavera a Inverno	9,50	-	50,00	78,5	-	-	-
JOCHIMS, 2012	Eldorado do Sul	Planossolo Háptico eutrófico	Dupla amostragem	Inverno	-	-	-	76,13	43,13	10,73	1,94
				Primavera	-	-	-	73,32	39,52	8,12	1,95
BARBIERI, 2013	Santa Maria	Planossolo Háptico eutrófico	Simulação de pastejo de novilhas	Primavera	9,30	-	63,70	-	-	-	-
				Verão	8,40	-	62,40	-	-	-	-
				Outono	8,80	-	67,00	-	-	-	-

- = não contém a informação na publicação; PB = proteína bruta; DIVMS = digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DIVMO = digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica; FDN = fibra insolúvel em detergente neutro; FDA = fibra insolúvel em detergente ácido; LDA = lignina em detergente ácido; PIDA = proteína bruta insolúvel em detergente ácido.

Tradicionalmente os teores de proteína e carboidratos, podem ser determinados através do fracionamento dos alimentos em laboratório, conforme proposto por HENNEBERG (1864) (Weende) e VAN SOEST (1967). A digestibilidade por sua vez, pode ser estimada através da composição química da forragem (WEISS et al, 1992), de ensaios *in vivo* (MERCHEN, 1988), *in situ* (MEHREZ e ORSKOV, 1977) ou *in vitro* (TILLEY e TERRY, 1963), ou através do uso de índices fecais, como concentração de proteína bruta (PB) ou nitrogênio (N) nas fezes ou excreção total de N ou PB (BOVAL, 2003; FERRI, 2003)

A estimativa do consumo de animais a pasto não é uma tarefa fácil, e tem sido objeto de estudo por muitos pesquisadores. A estimativa mais usual relaciona a estimativa de digestibilidade da forragem consumida pelos animais e a quantificação da excreção fecal, que pode ser feita com o uso de indicadores internos ou externos. Segundo KOZLOSKI et al. (2014), a variabilidade da estimativa da excreção fecal é a que menos impacta na estimativa do consumo, sendo a variabilidade da estimativa da digestibilidade a mais impactante. O desenvolvimento de uma metodologia precisa para estimar a digestibilidade das forragens consumidas pelos animais, seria o ideal para uma correta estimativa do consumo de animais em pastejo. Uma ferramenta que vem sendo utilizada para identificação da dieta de animais a pasto é a tecnologia NIRSfecal, que será discutida nos próximos itens desta revisão bibliográfica.

## **2.4 Espectrofotometria de refletância no infravermelho próximo (NIRS)**

### **2.4.1 O equipamento**

Os instrumentos espectroscópicos para uso da região do infravermelho contém geralmente cinco componentes (Figura 1): (1) uma fonte estável de energia radiante; (2) um seletor de comprimento de onda que isola uma região limitada do espectro para a medida; (3) um ou mais recipientes para a amostra; (4) um detector de radiação, o qual converte a energia radiante para um sinal elétrico mensurável; e (5) uma unidade de processamento e de leitura do sinal, geralmente composto por um circuito eletrônico e, nos instrumentos modernos, por um computador.

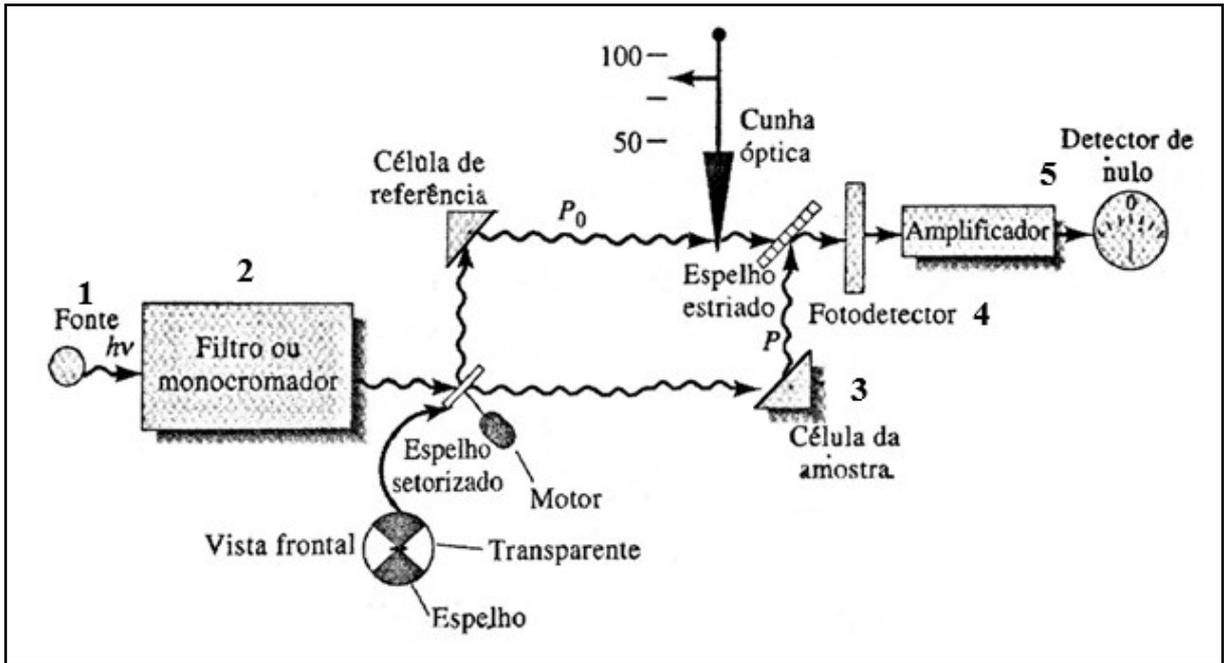


Figura 1 – Estrutura básica de um espectrofotômetro infravermelho dispersivo

Fonte: Adaptado de SKOOG et al. (2006).

Os materiais ópticos destes equipamentos como células, janelas, lentes e espelhos são feitos tipicamente de sais de haletos ou, em alguns casos, de materiais poliméricos, por não absorverem os comprimentos de onda utilizados na análise. A fonte da luz infravermelho próximo utilizada são constituídas por sólidos inertes aquecidos, que pode ser uma lâmpada de tungstênio ou halogênio. Existem dois sistemas de seletores de comprimentos de onda que podem ser utilizados nestes equipamentos, o mais comum é o monocromador que pode possuir uma rede de difração ou um prisma, ambos responsáveis por dispersar a radiação em seus comprimentos de onda desejáveis para a análise, o outro tipo é através de um interferômetro, responsável por produzir padrões de interferência que contém a informação espectral do infravermelho e que pode ser decodificado por uma técnica matemática denominada transformada de Fourier. O detector capaz de identificar comprimentos de onda na região do infravermelho são do tipo térmicos, estes apresentam uma superfície enegrecida que absorve radiação infravermelha, aumentando conseqüentemente sua temperatura, este aumento de temperatura é convertido em um sinal elétrico que é amplificado e medido. O processador de sinal é um dispositivo eletrônico que amplifica o sinal elétrico proveniente do detector, além de

efetuar operações matemáticas sobre o sinal, tais como diferenciação, integração ou conversão logarítmica.

#### 2.4.2 Princípio da técnica

O espectrômetro NIR (*Near Infrared Reflectance*) é um equipamento que efetua análises de amostras orgânicas através do princípio de emissão da radiação eletromagnética na faixa do infravermelho próximo (1100 a 2500 nanômetros (nm)), faixa capaz de identificar ligações covalentes de moléculas orgânicas. As radiações eletromagnéticas consistem em fótons que traçam um percurso a uma velocidade fixa. Nesse percurso os fótons exibem um movimento de onda, que é expresso como comprimento de onda (a distância percorrida por uma onda completa) (GASPAR, 2004).

A base física de absorção de luz é relacionada à natureza das ligações moleculares que, por sua vez, são definidas pelos vínculos entre os átomos dentro das moléculas. Entretanto, essas ligações não são conexões estáticas e sim vibram o tempo todo, provocando estiramento e compressão das moléculas (Figura 2), resultando em um movimento de onda dos átomos, com comprimento de onda específico dependente da quantidade de energia envolvida na ligação que é dependente dos elementos envolvidos (SKOOG et al, 2006), conforme apresentado na Figura 3.

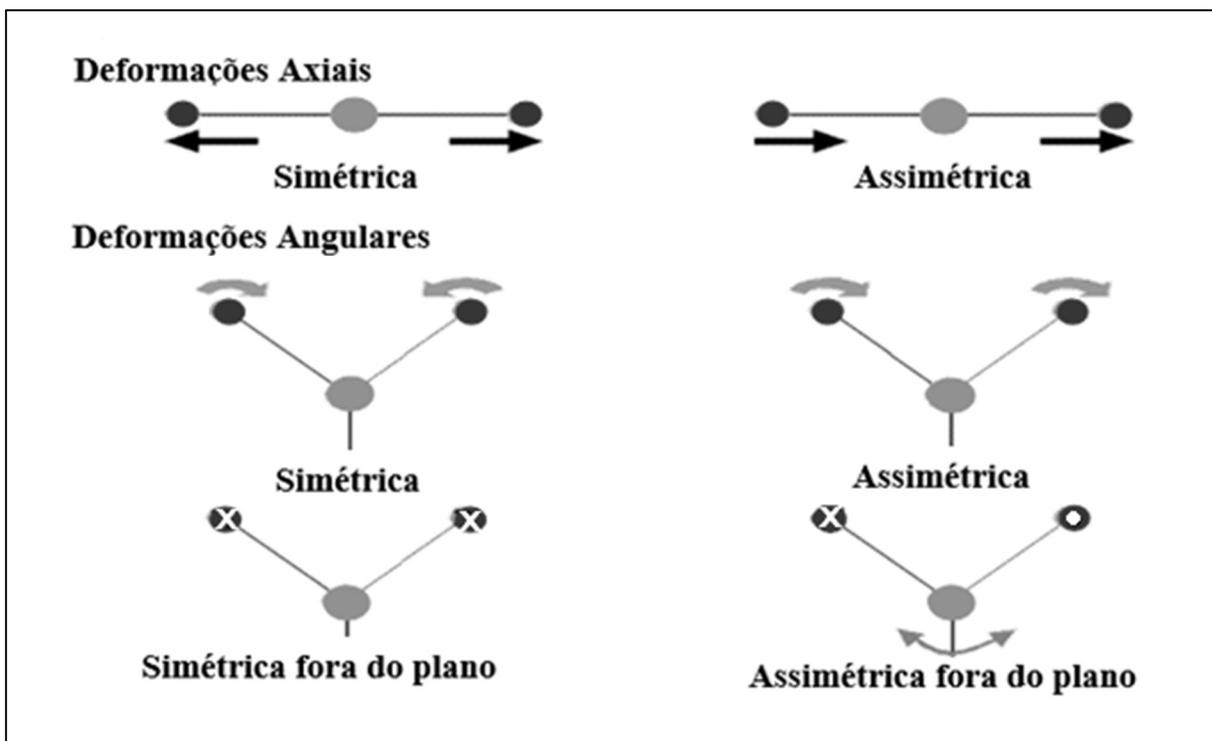


Figura 2 - Modos de vibração molecular. As bolas vermelhas e azuis representam os átomos e as linhas representam as ligações, os sinais x e • indicam movimentos para dentro e para fora do plano do desenho, respectivamente

Fonte: Adaptado de SKOOG et al. (2006).

O NIRS baseia-se na absorção de energia eletromagnética, emitida por uma fonte de luz com comprimentos de ondas situadas na região do infravermelho próximo, que ao penetrar na amostra podem ser absorvidos pelas ligações covalentes existentes entre os elementos presentes nas substâncias orgânicas, que vibram com mesmo comprimento de onda (SKOOG et al, 2006). Como a quantidade de radiação e os comprimentos de onda absorvidos são específicos para cada tipo de ligação química covalente entre os elementos que compõem a amostra, torna-se possível identificar e quantificar as moléculas orgânicas através do padrão espectral que é absorvido da luz incidente (VOGEL, 1992). Nos casos de amostras sólidas, parte da luz emitida pelo NIR penetrará na amostra e interagirá com as moléculas presentes na amostra, sendo absorvida, e a outra parte refletida até o detector. Logo a luz refletida será a luz que carrega as informações sobre o padrão espectral daquela amostra.

A interpretação do espectro de um composto orgânico misto é mais complicada do que a interpretação de compostos orgânicos puros. Isto porque os compostos orgânicos mistos

apresentam grande número de ligações moleculares que caracterizam diversos compostos orgânicos, mas que absorvem luz de um mesmo comprimento de onda (SILVERSTEIN e WEBSTER, 2000).

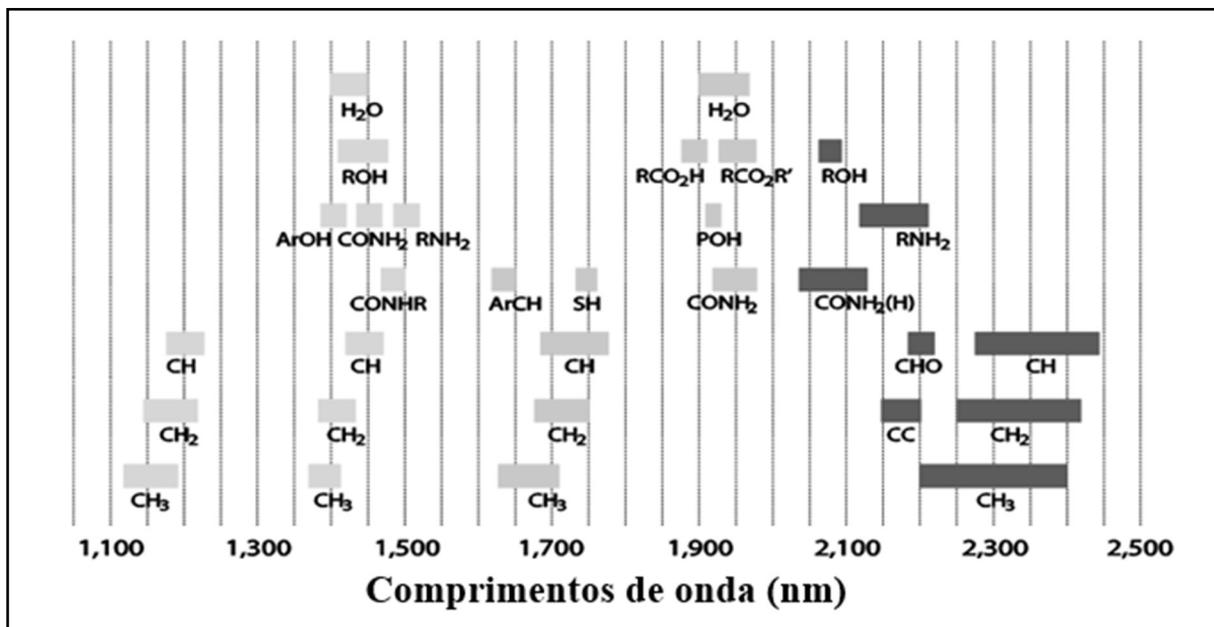


Figura 3 – Regiões dos picos de absorbância para as moléculas químicas dentro da região do infravermelho proximal

Fonte: Adaptado de METROHM (2013).

Com a falta de distinção das medidas dos picos do espectro fica difícil dizer a composição do alimento a partir de modelos matemáticos simples, que indicam quais os comprimentos de onda correspondentes a cada composto molecular. Como não existe um modelo matemático para descrever a reflexão em uma amostra contendo uma distribuição heterogênea de substâncias químicas, o NIRS requer calibração utilizando amostras de composição química conhecidas e determinadas por uma técnica química padrão acurada, que será comparada com os espectros obtidos por ele, os métodos matemáticos e estatísticos capazes de fazer estas calibrações são chamados de métodos quimiométricos ou Quimiometria.

## 2.5 Quimiometria

A quimiometria é uma área que se refere à aplicação de métodos estatísticos e matemáticos a problemas de origem química. Muita ênfase tem sido dada aos sistemas multivariados, nos quais se pode medir muitas variáveis simultaneamente, ao se analisar um amostra qualquer. Nesses sistemas, a conversão da resposta instrumental no dado químico de interesse, requer a utilização de técnicas de estatística multivariada, álgebra matricial e análise numérica, dentre as técnicas mais utilizadas estão a análise de componentes principais e a regressão por mínimos quadrados parciais.

### 2.5.1 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (*Principal Component Analysis (PCA)*), é a ferramenta mais utilizada para realizar compressão e análise exploratória de dados multidimensionais (SOUZA et al, 2012). A PCA é feita através da modelagem da estrutura de correlação entre as variáveis da matriz de dados, agrupando-as com o objetivo de obter a máxima variância total dos dados em um número pequeno de componentes principais (fatores), havendo uma redução da dimensionalidade das variáveis originais, construindo novas variáveis sintéticas independentes (BOUROCHE e SAPORTA, 1982), e eliminando variáveis originais que possuam pouca informação e que podem ser ruídos (VICINI, 2005).

### 2.5.2 Regressão por mínimos quadrados parciais

Para dados oriundos da espectroscopia NIR faz-se necessário o uso de métodos de regressão multivariada pelo grande número de variáveis envolvidas, hoje o mais empregado é a regressão por mínimos quadrados parciais (*Partial Least Square (PLS)*) (PASQUINI, 2003). O PLS é um dos mais empregados por considerar informações contidas tanto na matriz X quanto na Y.

O método PLS baseia-se em combinar linearmente através de um PCA os dados da matriz X (espectros) e os dados da matriz Y (valores de referência), formando vetores (fatores) decorrelacionados entre si, e capazes de explicar a variação dos dados de cada matriz. Depois de criados os vetores da matriz X e da matriz Y, estes são relacionados, de forma que haja a máxima covariância entre os dois conjuntos de dados, e a máxima explicação da variância dos dados de referência Y a partir das variáveis X (KOURTI e MACGREGOR, 1995; GELADI e KOWALSKI, 1986). A PCA só pode ser feita quando há duas ou mais variáveis, como no caso deste estudo foi desenvolvido um modelo para cada variável Y, então o PLS-1 gerou a matriz de fatores somente para os dados da matriz X ( $t_1$  e  $t_2$ ), que foi relacionada com a matriz de dados Y, gerando um modelo  $y = a + t_1b_1 + t_2b_2 + e$ , sendo a (intercepto),  $t_1$  ou  $t_2$  (níveis em cada variável independente),  $b_1$  ou  $b_2$  (coeficientes de regressão para cada variável independente), o e (erro da estimativa) as fontes de variação do modelo PLS-1. Na Figura 4 está representado o passo a passo da modelagem PLS-1.

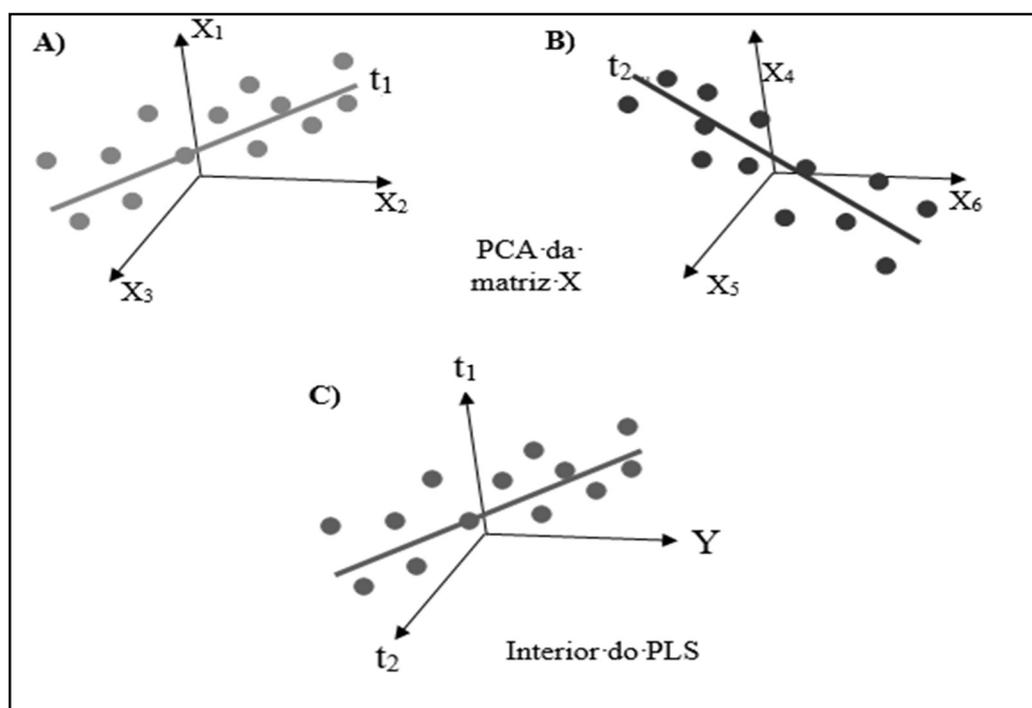


Figura 4 – Na figura estão representadas as etapas de modelagem realizadas pelo método PLS-1. Na figura A e B são representados o PCA que dá origem aos vetores  $t_1$  e  $t_2$  formados a partir das variáveis da matriz X, e na figura C a combinação entre os dois vetores formados e os dados matriz Y gerando o modelo  $y = a + t_1b_1 + t_2b_2 + e$

Fonte: Autor.

### 2.5.3 Tratamentos dos dados espectrais

Previamente ao desenvolvimento dos modelos, são necessários alguns tratamentos matemáticos nos espectros do banco de dados. Os tratamentos são aplicadas principalmente para superar os problemas associados aos espalhamento da luz quando mensurada por refletância difusa, fenômeno que ocorre principalmente nos espectros de amostras sólidas com partículas de tamanhos desuniformes. Após a amostra ser irradiada (I) com a luz, o que não for absorvido (A) será refletido (R) até o detector, gerando o resultado da análise, porém quando não temos uma superfície de absorbância uniforme parte da luz refletida pode ser espalhada para outra direção que não a do detector, gerando um resultado falso para a refletância da amostra em análise, este fenômeno pode ser melhor compreendido através da Figura 5.

Dentre as técnicas matemáticas mais empregadas sobre os espectros para correções de problemas natureza metodológica estão a primeira e a segunda derivada com número variável de pontos, com alisamento Savitsky-Golay, além da correção do espalhamento multiplicativo (*Multiplicative Scatter Correction* (MSC)) ou a transformação normal de variação (*Standard Normal Variate* (SNV)) com ou sem eliminação de tendência (*Detrend*) (PASQUINI, 2003), responsável por amenizar os problemas com o espalhamento da luz.

As derivadas são empregadas visando eliminar os desvios lineares de linha de base e problemas de sobreposição, mas trazem o inconveniente de diminuir a relação sinal/ruído, pois quanto mais alta for a relação sinal-ruído, menor é o efeito do ruído de fundo sobre a detecção ou medição do sinal. Esta desvantagem é compensada pelo uso simultâneo do alisamento Savitsky-Golay, que é aplicado para eliminação de ruídos espectrais (SOUZA et al, 2012).

## 2.6 Uso do NIRS fecal na nutrição de ruminantes

O uso da espectroscopia da refletância do infravermelho próximo (NIRS) vem sendo utilizado como suporte aos sistemas de produção agropecuários em diversos países e setores das cadeias produtivas agropecuárias visando a redução de custos, aumento de produção e melhoria da eficiência no uso dos nutrientes na nutrição animal.

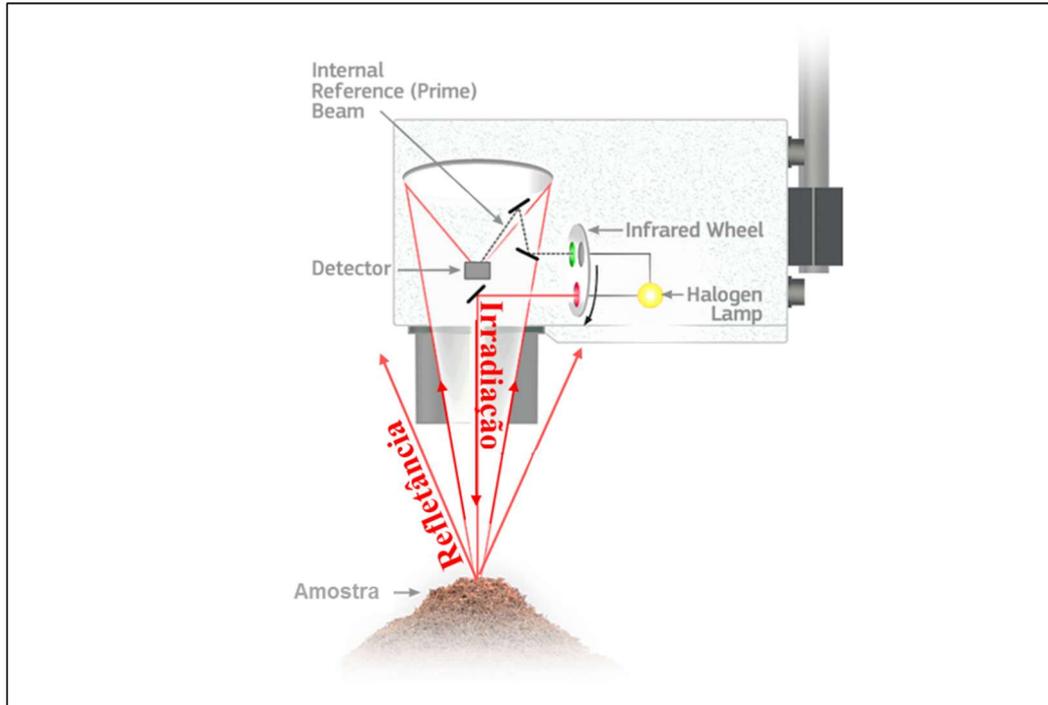


Figura 5 – Processo de irradiação da amostra com a luz infravermelha e a posterior refletância da luz não absorvida pela amostra, demonstrando o espalhamento de parte da luz refletida para sentido contrário ao do detector

Fonte: Autor

Tradicionalmente a tecnologia NIRS é utilizada na rotina de laboratórios de controle de qualidade que fazem análises de alimentos para humanos ou animais, para identificar a composição química dos ingredientes utilizados nas misturas. Os modelos são desenvolvidos relacionando de forma simples os espectros com a composição química da mesma amostra, tornando fácil a modelagem e com bons resultados.

Na nutrição de ruminantes BROOKS et al. (1984) foram pioneiros, na qual desenvolveram modelos fecais para Alces no Alasca, mas a ferramenta foi de fato implantada na nutrição de ruminantes de produção por LYONS e STUTH (1992), que utilizaram a tecnologia NIRS para estimar a qualidade da forragem ingerida por bovinos em pastejo nos Estados Unidos através de amostras fecais. Lyons e Stuth relacionaram materiais diferentes (dieta/fezes), mas bioquimicamente relacionados, justificando que as fezes dos herbívoros em pastagens continham ligações químicas resultantes dos resíduos não digeridos do alimento, da fermentação microbiana e produtos finais da digestão do animal, que poderiam fornecer

informações espectrais no NIR altamente correlacionadas com a proteína bruta da dieta e digestibilidade.

Seguindo da teoria de Lyons e Stuth, vários outros trabalhos foram realizados com esta tecnologia ao redor do mundo e para diferentes categorias e espécies animais, como LYONS e STUTH (1995) e COLEMAN et al. (1995) para bovinos nos Estado Unidos, BOVAL et al. (2004) para bovinos na França, LEITE e STUTH (1995) e WALKER et al. (2007) para caprinos nos Estado Unidos, LANDAU et al. (2004), GLASSER et al (2008) e LANDAU et al. (2008) para caprinos em Israel, LI et al. (2007) para ovinos nos Estado Unidos, COATES (1999) para bovinos na Austrália, FANCHONE et al. (2009) e BOVAL et al. (2010) para ovelhas leiteiras na França, DECRUYENAERE et al. (2012) para vacas leiteiras na Bélgica, OTTAVIAN et al. (2015) para vacas leiteiras na Itália. No Brasil, foi realizado um único trabalho por COX et al. (2000) para ovinos na Caatinga. As estimativas de qualidade da dieta dos trabalhos citados incluem principalmente o teor de proteína bruta, digestibilidade da matéria orgânica, mas também existem modelos para fibra insolúvel em detergente neutro e ácido, além de estimativas da excreção fecal e consumo voluntário dos animais, composição botânica da dieta, concentração de compostos fenólicos ou taninos, conforme demonstrado MCCAFFERTY et al. (2001) (Tabela 2), que fez um compilado de vários estudos utilizando a técnica, neste estudo ele demonstra também a acurácia da técnica.

Tabela 2 – Desempenho médio da tecnologia NIRS fecal na predição de parâmetros nutricionais da dieta de ruminantes

Parâmetros	R <sup>2</sup>	<i>Slope</i>	Erro padrão da predição
Proteína bruta	0,92	0,994	0,666
Digestibilidade da proteína bruta	0,94	0,993	3,920
Energia metabolizável	0,92	0,960	0,352
Digestibilidade da matéria orgânica	0,81	0,952	2,580
Compostos fenólicos totais	0,93	1,020	0,353
Taninos totais	0,99	0,932	0,321

Fonte: (Adaptado de McCafferty et al. 2011)

Além de estimar qualidade da dieta de animais sob condições de pastejo, o NIRS pode ser aliado a um *software* de diagnóstico nutricional para tomada de decisão sobre o uso estratégico de suplementos nutricionais para atender a demanda produtiva de animais a pasto. Na literatura há um trabalho publicado por TOLLESON e SCHAFER (2014) que utilizaram

modelos NIRS para a estimar a qualidade da dieta de vacas sobre pastagem nativa do Arizona nos Estados Unidos, e aliaram com o software *Nutritional Balance Analyzer* (NUTBAL PRO) de diagnóstico nutricional para prever o status nutricional dos animais.

### **3 HIPÓTESE**

É possível prever o teor de proteína bruta, matéria orgânica digestível, consumo de matéria orgânica, concentração de N fecal de ovinos sobre a pastagem natural do Rio Grande do Sul a partir do uso da espectroscopia de refletância no infravermelho proximal nas fezes.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local, animais e época

Foi conduzido um ensaio com seis ovinos da raça Santa Inês, peso corporal médio de  $57 \pm 2,5$  kg, seis anos de idade e canulados no rúmen, no período de junho de 2014 a junho de 2015. A área utilizada foi de 0,86 hectare (ha) de campo nativo localizado sobre o bioma Pampa, pertencente ao Departamento de Zootecnia na Universidade Federal de Santa Maria, da área total, 0,64 ha era útil para o pastejo, pois o restante era uma área de mata nativa (Figura 6).

Antes do início do ensaio a área foi roçada rente ao solo, adubada (150 kg/ha de NPK – 5-20-20) e diferida por 80 dias. Durante o ensaio foram feitas quatro outras roçadas na área, nos meses de Outubro, Dezembro, Janeiro e Abril, para controle da massa de forragem.

Para o uso dos animais no estudo, os protocolos de coleta descritos nos demais itens do material e métodos foram enviados na forma de um projeto para Comissão de Ética no uso de animais em pesquisa da UFSM, o qual foi aprovado gerando um parecer nº 082/2014 (Anexo 1).



Figura 6 – Foto de satélite da área onde foi realizada o ensaio, demonstrando a porção útil para o pastejo dos animais

Fonte: Adaptada de GOOGLE HEART, 2013.

## 4.2 Períodos experimentais

Os períodos experimentais tiveram duração de 30 dias. Durante os períodos do primeiro outono/inverno (junho a setembro de 2014), os animais foram suplementados com 1% do peso vivo de Farelo de Trigo (17% proteína bruta e 75 % nutrientes digestíveis totais, valores fornecidos pelo fabricante), com objetivo de suprir suas demandas nutricionais e mantê-los com um bom status nutricional neste período, no qual houve uma redução na qualidade da pastagem nativa. O suplemento foi fornecido do 1º ao 10º dia de cada período experimental, para que fosse possível adaptá-los do 11º ao 20º dia somente com a forragem e fazermos as coletas do 21º ao 29º dia do período experimental.

## 4.3 Medidas e coletas de amostras ao longo do ensaio de campo

### 4.3.1 Caracterização da pastagem

Com intervalos de 30 dias, foi medido a disponibilidade da massa de forragem (MF), através da técnica de estimativa visual de comparação de padrões, calibrada com dupla amostragem, com 20 estimativas visuais da MF e seis cortes rente ao solo com um quadro de 0,25 m<sup>2</sup> (HAYDOCK e SHAW, 1975), em cada estimativa visual os avaliadores estimavam visualmente o teor de material verde em cada quadro, que após foi utilizado para estimar a massa de forragem verde (MFV). As amostras de pasto dos cortes da dupla amostragem, foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 55°C e, foi pesada após atingir peso constante, este foi extrapolado para um hectare e relacionado com as estimativas visuais, assim obtive modelos mensais (MF, kg MS/ha = a + b x estimativas visuais) para calcular a massa de forragem, e por fim calcular a oferta de forragem (OF, kg de MS/kg de peso corporal/dia) da área útil para o pastejo de 0,64 hectares (Tabela 3)

Tabela 3 – Massa de forragem e forragem verde, carga animal e oferta de forragem estimados mensalmente ao longo do ensaio para os 0,64 ha de área útil para o pastejo dos ovinos

Período	Mês	Massa de forragem (kg de MS/ha)	Massa de forragem verde (kg de MS/ha)	Carga animal (kg de PC)	OF (kg de MS/100kg de PC)
1	Junho	4016,03	2808,57	346,65	24,72
2	Julho	4307,87	2095,44	342,9	26,80
3	Agosto	3454,05	1795,16	342,95	21,49
4	Setembro	4591,50	2571,40	342,45	28,60
5	Outubro	4036,37	2484,66	333,3	25,84
6	Novembro	4815,64	3698,74	341,75	30,06
7	Dezembro	4344,86	3691,15	350,9	26,42
8	Janeiro	4687,62	3819,26	356,65	28,04
9	Fevereiro	4731,32	3565,50	343,76	29,36
10	Março	6055,71	4247,28	355,95	36,29
11	Abril	5169,75	3244,78	354,8	31,08
12	Maiο	5616,11	2829,50	367,2	32,63
13	Junho	3874,34	1584,39	351,05	23,54

Ainda, uma vez no período de outono/inverno (junho) e outra na primavera/verão (dezembro) foi identificada a composição botânica da área através do método do Botanal (TOTHILL et al., 1992). Foram avaliados 18 pontos representativos da área com o uso de um quadro de 0,25 m<sup>2</sup>, em cada ponto foi determinado a disponibilidade total de matéria seca através da mesma metodologia descrita para massa de forragem, e também a contribuição das principais espécies e da frequência relativa das demais no mesmo quadro de avaliação. Na planilha de cálculo da contribuição de cada espécie na massa de forragem as espécies com baixa frequência (que não foram representativas na massa) receberam um a nota de 1%, as demais, que tiveram grande representatividade na massa a ponderação foi feita no momento da avaliação. Após, foi multiplicado a proporção relativa (%) de cada espécie em cada ponto de avaliação pela massa de forragem estimada para o mesmo ponto de avaliação.

Na avaliação de outono/inverno foram identificadas 34 espécies e na avaliação de primavera/verão 45 espécies (Anexo 2), estas foram agrupadas em suas famílias e os grupos apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição florística da área onde foi realizado o ensaio, agrupada por família, para as duas épocas de avaliação, os valores são expressos em relação a massa de forragem (%) presente na área no dia da avaliação

<b>Família</b>	<b>Outono/Inverno</b>	<b>Primavera/Verão</b>
Poaceae	90,71	86,72
Apiaceae	5,44	2,11
Fabaceae	0,97	2,35
Cyperaceae	0,75	2,68
Rubiaceae	0,68	0,44
Convolvulaceae	0,35	3,03
Asteraceae	0,32	0,79
Hypoxidaceae	0,34	0,6
Amaranthaceae	0,21	0,23
Malvaceae	0,07	0,11
Melastomataceae	0,06	0,21
Lythraceae	-	0,24
Oxalidaceae	-	0,21
Iridaceae	-	0,14
Lamiaceae	-	0,06

#### 4.3.2 Dieta e fezes

Foi medido a produção total de fezes de cada animal através do uso de bolsas coletoras, durante cinco dias (21º ao 25º dia) em cada período experimental. As bolsas eram esvaziadas três vezes ao dia, e as fezes armazenadas a -20°C, de forma diária. Ao fim de cada período foram descongeladas, pesada a produção total diária de cada animal, e amostrado 200g para secagem em estufa com circulação forçada de ar (55°C) até peso constante.

Amostras da dieta (forragem) dos animais foram colhidas por duas metodologias. Uma delas foi a simulação de pastejo (EUCLIDES et al., 1992), por durante cinco dias (20º ao 24º dia do período experimental) antecipando uma dia em relação as coletas de fezes. Outra metodologia foi via rúmen, após o período de coleta de fezes (26º e 27º dia), sendo duas vezes por animal, conforme a técnica descrita inicialmente por OLSON (1991), onde o conteúdo ruminal é retirado de forma manual e armazenado em um ambiente com temperatura a 39°C. O animal com o rúmen vazio, é solto para pastar por aproximadamente 30 a 40 minutos, sem

acesso a água e sal mineral, após ele é recolhido do pasto, a extrusa (pasto colhido pelo animal) é coletada do rúmen e o conteúdo ruminal é devolvido para o animal, que é solto ao pasto novamente. Todo o processo de esvaziamento ruminal foi feito em um ambiente fechado, a fim de evitar os efeitos do frio sobre o rúmen do animal e seu conteúdo ruminal. As coletas de extrusa foram feitas em dois momentos da maior refeição diária dos animais, ao início (AP) e ao término (PP) da maior refeição diária dos animais, em dias separados, para avaliar possíveis diferenças quanto a contaminações via saliva, além da seletividade do animal que poderia variar ao longo da sua refeição. A identificação da maior refeição do grupo de ovinos do ensaio foi feita através da avaliação de comportamento durante 24 hs, com observação a cada 10 minutos da atividade de cada animal (ócio, pastejo ou ruminação), realizada sempre no 19º dia de cada período experimental. As coletas de extrusas foram também utilizadas para o desenvolvimento dos modelos, apesar de terem sido coletadas após as amostras fecais. Este inconveniente ocorreu por ter sido conduzido outro ensaio paralelo a este que demandou medições acuradas da excreção fecal dos animais, pois acreditamos que o fato de esvaziarmos o rúmen dos ovinos possa interferir no fluxo normal da digesta.

Para melhor exemplificar o cronograma de coletas e medições em cada período do experimento foi desenvolvido o esquema da figura 7.

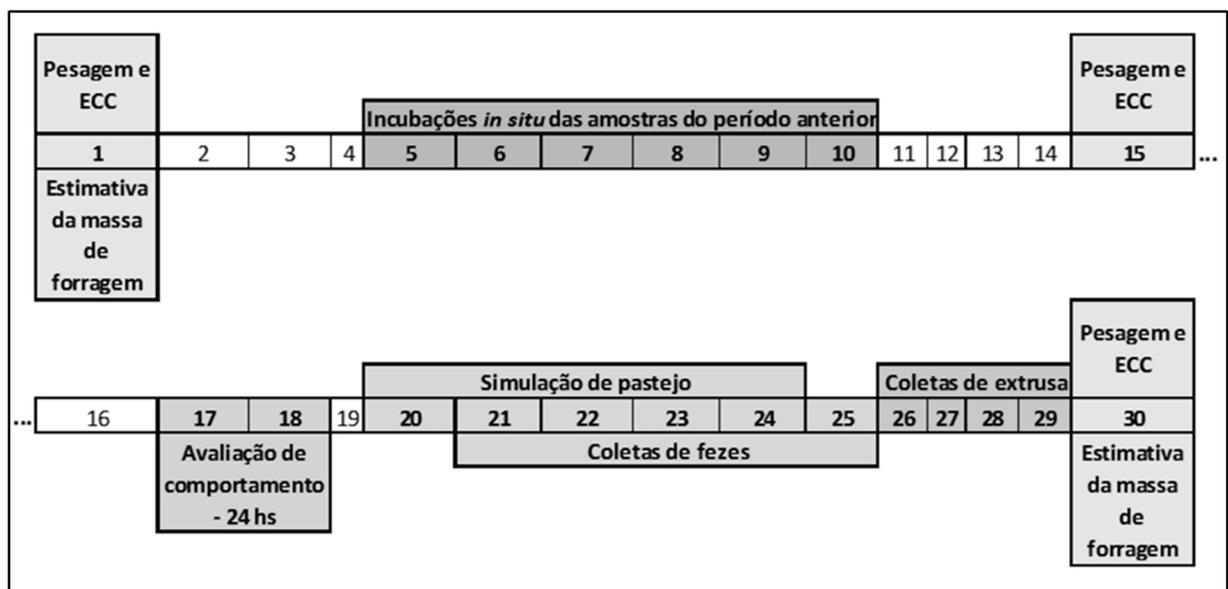


Figura 7 – Cronograma de coletas e medições dentro dos períodos experimentais. Começando pelo 1º dia indo na sequência até o 30º dia do período

Fonte: Autor.

### 4.3.3 Animais

Nos animais foi medido, no 1º e 15º dia dos períodos experimentais, o peso corporal (PC) em jejum e o escore de condição corporal conforme a metodologia descrita por THOMPSON e MEYER (1994), sempre após jejum de 12 horas, os valores estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5 – Peso corporal em jejum e escore de condição corporal dos ovinos ao longo do ensaio

<b>Período</b>	<b>Mês</b>	<b>PC (kg)</b>	<b>ECC</b>
1	Junho	57,78	3,13
2	Julho	57,15	2,00
3	Agosto	57,16	2,04
4	Setembro	57,08	2,00
5	Outubro	55,55	2,04
6	Novembro	56,96	2,21
7	Dezembro	58,48	2,04
8	Janeiro	59,44	2,17
9	Fevereiro	57,29	2,08
10	Março	59,33	2,29
11	Abril	59,13	2,29
12	Maio	61,20	2,42
13	Junho	58,51	2,25
Média		57	-

### 4.4 Análises laboratoriais químicas e biológicas

Na Universidade Federal de Santa Maria, as amostras de extrusas (200g) e de simulação de pastejo (100g) foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 55°C por 72hs, moídas em moinho tipo Willy com peneira de 1mm, e armazenadas para serem analisadas os teores de matéria seca (MS) em estufa a 110° por 12 horas, matéria orgânica (MO) em mufla a 600°C por 4 horas, e digestibilidade verdadeira *in situ* da matéria orgânica e matéria seca (DISMO/MS). A DISMS e MO foram determinados acondicionando as amostras de alimento em saquinhos de poliamida 41 µm numa relação de 20 mg de amostra para cada cm<sup>2</sup> de área porosa no saquinho,

e incubadas *in situ* por 48 horas (DERMARQUILLY e CHENOST, 1969), após o tempo os saquinhos com o resíduo da incubação foram retirados do rúmen, lavados com água corrente e tratadas com solução detergente neutro (VAN SOEST, 1994), a mesma utilizada na determinação do teor de FDN, por 40 minutos a 110°C em autoclave, secos em estufa a 110°C por 12 horas e pesados, para obtenção da digestibilidade verdadeira. Na sequência os saquinhos foram queimados em cadinhos de porcelana em mufla a 600°C e pesados novamente. Tendo o valor da DISMO, foi calculado o teor de matéria orgânica digestível (MOD), multiplicando o valor da DISMO pelo teor de MO da amostra. As amostras foram incubadas nos primeiros dias dos períodos experimentais (5º ao 10º dia), seguindo a mesma época do ano em que foram colhidas e cada animal recebeu as suas respectivas amostras, isso para ter o mesmo ambiente ruminal do alimento ingerido pelo animal, e se aproximar de uma digestibilidade mais real. As incubações iniciaram na primavera de 2015 e foram até o último período experimental. Na época primavera/verão, o aumento na representatividade de Leguminosas como o *Desmodium incanum* (Leguminosa nativa) na massa de forragem, e o fato de ser muito consumido pelos animais e ter uma grande quantidade **taninos e saponinas** (BIANCHI et al., 1989) pode vir a reduzir a digestão do alimento no rúmen.

No Laboratório de Análises de Alimentos (LANA) da EMBRAPA – Caprinos e Ovinos, foi determinado teor de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), utilizando sacos de nylon com porosidade de 25 µm, conforme metodologia descrita por SENGER, et al (2008). Nas amostras de simulação de pastejo o teor de FDN e FDA foi determinado em amostras compostas por animal e período, já nas amostras de extrusa foi determinado de forma separada para cada coleta. Ainda no LANA, foi determinado o teor de nitrogênio (N) das amostras de simulação de pastejo e extrusas através de combustão, conforme método de Dumas, utilizando o analisador de N LECO® CN628, sendo o teor de N multiplicado pelo fator de 6,25 e obtido o teor de proteína bruta (PB) (ASSOCIATION OF OFICIAL AGRICULTURAL CHEMIST - AOAC, 1970) para cada amostra.

Nas amostras de fezes, após ser determinado o teor de matéria parcialmente seca em estufa com circulação forçada de ar a 55°C até peso constante, foram moídas a partículas de 1mm em moinho tipo Willy, e armazenadas. No LANA, as amostras de fezes foram acondicionadas em sacos de papel kraft e secas novamente em estufa com circulação forçada de ar a 55°C por 12 hs, para padronizar a umidade (Lyons, 1990), e então colocadas em dessecador para estabilizar a temperatura ambiente (ABRAMS, 1985). Após, foram escaneadas acondicionadas em células com janela de quartzo e obtidos os espectros de reflectância (R) na

faixa do infravermelho próximo (NIR) (1100 nm a 2498 nm), com o equipamento NIRSFOS© 5000 (Foss NIR Systems Inc., Silver Spring, MD, USA), com sensibilidade de 2 nm. Os dados dos espectros foram expressos em absorvância (A), como sendo logaritmo de 1/R ( $\log 1/R$ ). A sala onde se encontrava o equipamento NIR era mantida a temperatura de 24 °C e com umidade relativa do ar abaixo de 50%, para evitar possíveis interferências nas coletas dos espectros.

Das amostras diárias de fezes foram feitas amostras compostas por animal e período, de forma ponderada a excreção fecal diária de cada animal. Após, foi determinado o teor de MS, MO e o de nitrogênio com as mesmas metodologias utilizadas para as amostras da dieta, e escaneadas seguindo o mesmo protocolo das amostras diárias de fezes.

#### 4.5 Estimativas do consumo voluntário e do teor de matéria orgânica digestível via N fecal

Uma das formas da estimativa do consumo de matéria orgânica dos animais foi através dos valores médios da estimativa da DISMO das amostras de simulação (CMOS) e extrusa (CMOE) de cada animal em cada período e a média da excreção total de MO fecal dos animais em cada período, através do uso das bolsas coletoras de fezes.

O consumo de matéria orgânica de pasto foi obtido pela equação:

$$CMO = [EMOF] / [1 - (DISMO/100)]$$

Onde:

CMO = Consumo de matéria orgânica de pasto (g de MO/animal/dia);

EMOF = Excreção de MO fecal (g de MO/animal/dia); e

DISMO = Digestibilidade *in situ* da matéria orgânica das amostras de alimento (% MO).

O consumo de matéria orgânica também foi estimado através do nitrogênio fecal como indicador, com o uso de um modelo de regressão linear simples (CMON, g MO/animal/dia =  $1,1 + 101,2 \times EFN$ ) ( $r^2=0,83$ ) proposto por KOZLOSKI (dados não publicados), específico para ovinos consumindo forragem nativa do bioma Pampa. Essa metodologia considera haver uma relação estreita e positiva entre a excreção fecal diária de N (EFN) (g de N fecal/animal/dia) e o consumo de matéria orgânica do animal, modelos de boa precisão, parecidos a este, foram

propostos por outros autores, para outras forragens (PERIPOLLI et al., 2011; KOZLOSKI et al, 2014).

De posse das estimativas do CMON através do nitrogênio fecal como indicador, foi estimado o teor de matéria orgânica digestível (MODN) das dietas através da seguinte equação:

$$\text{MODN} = [1 - (\text{EMOF}/\text{CMON})] \times \text{MO}$$

Onde,

MODN = Matéria orgânica digestível estimado via N fecal (%)

EMOF = Excreção de MO fecal (g de MO/animal/dia); e

CMON = Consumo de matéria orgânica de pasto estimado via N fecal (g MO/animal/dia).

MO = teor de matéria orgânica médio obtido a partir das amostra de simulação de pastejo (MO = 92,4% ± 0,33 da MS)

Foi utilizado a média do teor de MO das amostras de simulação por acreditar haver contaminação mineral nas amostras de extrusas, que podem ser oriundos das secreções do animal como por exemplo saliva.

## 4.6 Análises estatísticas preliminares

### 4.6.1 Análises nos dados de referência

Todos os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, aceitando a normalidade para probabilidade do erro maior do que 0,05, utilizando o *software* Unscrambler versão 10.3 (Camo Inc).

Como medida preliminar para verificar a qualidade dos dados de referência e possíveis *outliers*, foi gerado um gráfico de agrupamento através da análise componentes principais para as amostras de extrusa e para as amostras de simulação de pastejo, utilizando os teores de matéria orgânica digestível, proteína bruta, fibra insolúvel em detergente neutro e ácido. Para que todas as variáveis tivessem o mesmo peso no momento da formação dos grupos elas foram

padronizadas pelo seu respectivo desvio padrão. A padronização foi feita através do modelo descrito abaixo:

$$Y_j = \frac{(x_{ij} - \bar{x}_j)}{DP_j}$$

$Y_j$  = novo valor da amostra na variável  $j$

$x_{ij}$  =  $i$ -ésima amostra na variável  $j$

$\bar{x}$  = média da variável  $j$

$DP_j$  = desvio padrão da variável  $j$

Com o *software* Microsoft Excel (2013) os dados foram plotados em gráficos de dispersão por parâmetro, após foi gerado para cada um uma linha de tendência polinomial de ordem 6 e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para representar numericamente a aderência dos dados a linha, indicando o grau de dispersão dos dados em relação as médias de cada período de coleta. Além disso, foi calculada a raiz quadrada média do erro (*Root mean square error*) (RMSE) por período e variável.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}}$$

Onde,

RMSE = raiz quadrada média do erro

$\hat{x}_i$  = média das amostras  $i$  em cada período

$x_i$  = valor da amostra  $i$ -ésima

$n$  = número de amostras  $i$  em cada período

Também foram determinadas as relações entre as metodologias empregadas para obtenção dos dados de referência, para que servissem como parâmetros para o desenvolvimento dos modelos NIRS e justificassem possíveis diferenças entre o desempenho dos modelos NIRS para o mesmo constituinte (MOD ou PB). Assim, foram comparados estatisticamente os dois horários de coleta das extrusas (ao início do a maior refeição diária (AP) e ao término da maior refeição diária (PP) dos animais), além disso, foi comparado a forma como as amostras de alimento foram coletadas (coleta de extrusa ou simulação de pastejo), e a forma como foi

estimado a MOD. As variáveis utilizadas como parâmetros de comparação foram matéria orgânica digestível e proteína bruta, por serem as variáveis modeladas na NIRS. A análise estatística foi através de regressão simples testando modelo linear ou quadrático. Em cada comparação foi gerado um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) que indicou o grau de precisão da relação entre as medidas avaliadas. Como medidas para determinar a similaridade entre as metodologias, testou-se se o intercepto foi igual a zero e se o coeficiente de regressão foi igual a 1, utilizando o teste “t” de Student. Para probabilidade do erro menor ou igual a 0,05 ( $P \leq 0,05$ ) o intercepto foi considerado diferente de 0 e o coeficiente de regressão diferente de 1. Todas as regressões foram feitas através do *software* Statistical Analysis System (SAS, versão 9.0). Quando houve diferença entre as metodologias, foram gerados modelos NIRS por metodologia de obtenção dos dados de referência, a fim de avaliar internamente o desempenho de cada metodologia.

#### 4.6.2 Análise nos espectros

Após todas as amostras escaneadas, foram identificados *outliers* nos espectros através da distância de mahalanobis (H), com correção para o espalhamento da luz (*standard normal variate* com *detrend*), utilizando o *software* WinISI III (Foss NIRSystems, Infrasoft International), amostras que apresentaram valores de H acima de 3 a partir da média, foram considerados *outliers* e foram escaneadas novamente.

Três amostras dos espectros fecais foram identificadas como *outliers* no banco de dados das amostras diárias e uma amostra no banco das amostras compostas, representados pelos pontos vermelho nas imagens A e B da figura 8, respectivamente.

#### 4.6.3 Análises gráficas de agrupamento - PCA

Previamente ao desenvolvimento dos modelos os dados passaram por análises gráficas exploratórias de agrupamento (Análise de Componentes Principais (PCA)), para entender o

comportamento e identificar possíveis interações entre períodos de coletas, além de amostras com problemas que destoavam do grupo, com o *software* Unscrambler versão 10.3 (Camo Inc).

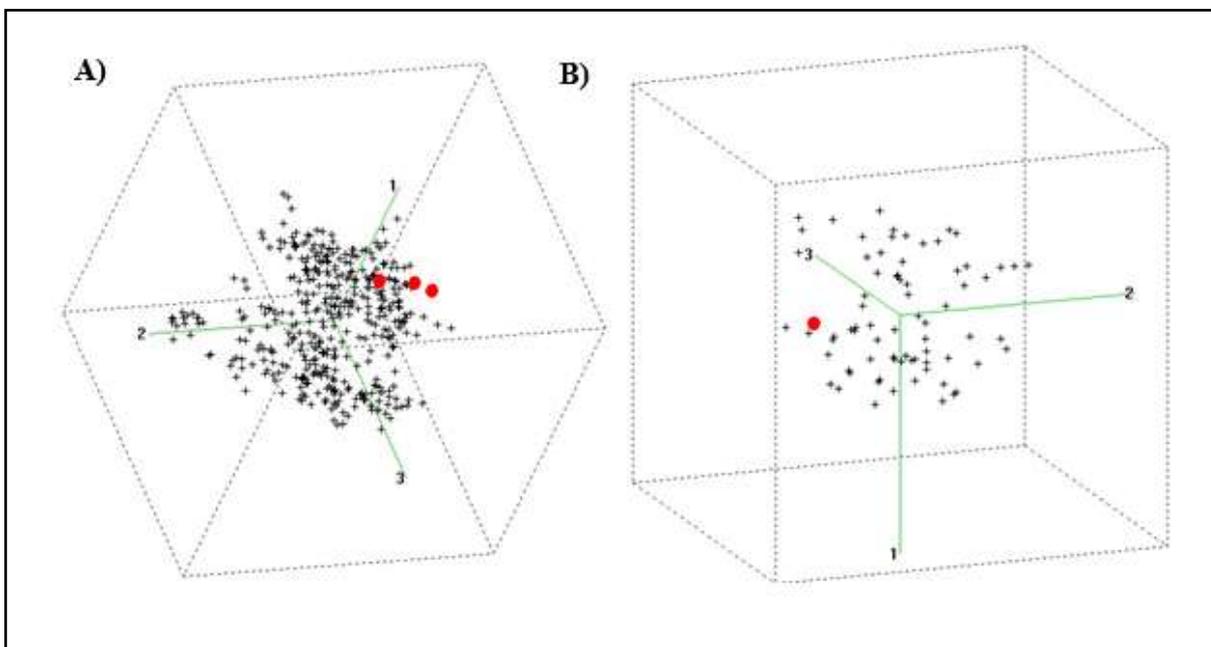


Figura 8 – Amostras de fezes que apresentaram valores de H acima de 3 a partir da média e que foram consideradas *outliers* (em vermelho). A) banco de amostras diárias, e B) banco de amostras compostas

#### 4.7 Desenvolvimento dos modelos

Os modelos foram desenvolvidos utilizando o software Unscrambler versão 10.3 (Camo Inc). O método de regressão utilizado foi o dos mínimos quadrados parciais sendo uma variável por vez (PLS – 1), conforme discutido na revisão deste trabalho, considerando os valores de referência obtidos pelos métodos químicos e biológicos de laboratório como variável dependente e as variáveis latentes criadas a partir dos espectros como variáveis independentes dos modelos de regressão múltipla.

Foram desenvolvidos dois modelos (proteína bruta e matéria orgânica digestível) com os dados de amostras diárias (alimento e fezes) coletadas com intervalos de 24 horas. Também foram desenvolvidos modelos para MOD, PB e CMO, com as médias das amostras diárias de

alimento e com as médias das amostras de extrusas, relacionando-as com os espectros das amostras compostas de fezes. Também foram desenvolvidos modelos para predição da concentração de N fecal, CMON e MODN a partir dos espectros das amostras compostas de fezes.

Para cada constituinte modelado foram gerados modelos submetendo os espectros originais a diferentes pré-tratamentos matemáticos, como a correção multiplicativa de sinal (MSC) ou transformação normal de variância (SNV) com ou sem remoção de tendência (SNV, com ou sem *Detrend*), associados ou não à transformação pela primeira ou segunda derivativa (Savitzky-Golay) com janela variando de 1 a 10 pontos.

A validação cruzada foi o método utilizado para uma primeira validação dos modelos, no momento da criação, utilizando 20 segmentos de amostras para validação retirados do banco de dados de calibração.

#### 4.7.1 Seleção dos modelos e remoção de outliers

Após gerados os modelos para todos os pré-tratamentos e transformações nos dados espectrais, foi selecionado o melhor modelo para cada parâmetro, de acordo com os critérios: coeficiente de determinação do modelo na calibração, validação cruzada ( $R^2$ ), raiz quadrada do erro padrão da média da calibração e validação cruzada (RMSE), conforme recomenda LANDAU et al. (2006), além do número de fatores utilizados na calibração como sugere PASQUINI (2003).

O coeficiente de determinação da regressão múltipla foi utilizado por medir a intensidade com que se manifesta a associação linear entre o que foi estimado e o valor real da análise de referência. Um valor de  $R^2$  próximo a 1 significa que há uma grande concentração dos dados ao redor da reta da regressão, demonstrando alta correlação entre as duas variáveis. Este parâmetro foi calculado de acordo com a equação descrita abaixo.

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})(y_i - \bar{y})}{\left\{ \left[ \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2 \right]^{1/2} \right\} \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2} \right\}} \right)^2$$

Onde,

$R^2$  = coeficiente de determinação da regressão múltipla

$\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo para a i-ésima amostra

$y_i$  = valor de referência para a i-ésima amostra

$\bar{\hat{y}}$  = média dos valores estimados pelo modelo

$\bar{y}$  = média dos valores de referência

A raiz quadrada média do erro (*Root mean square error*) (RMSE) representa a diferença média entre o valor de referência e o que foi predito pelo modelo, dando um valor real da exatidão do modelo na previsão da propriedade de interesse. Este parâmetro foi calculado de acordo com a equação descrita abaixo.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Onde,

RMSE = raiz quadrada média do erro

$\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo para a i-ésima amostra

$y_i$  = valor de referência para a i-ésima amostra

n = número total de amostras

Os fatores representam as variáveis latentes criadas pelo PLS a partir das variáveis originais para explicar a variabilidade dos valores de referência do modelo, e o número ideal de fatores são os que resultam na menor variância residual. Um número de fatores além do necessário para explicação do modelo, pode causar problemas pela modelagem de ruídos, além disso, pode acontecer do modelo mostrar excelentes resultados para avaliação das amostras pertencentes ao conjunto de calibração, mas falhando na previsão em um conjunto de validação externa PASQUINI (2003). Na tabela 6 são apresentados os melhores pré-tratamentos empregados nos dados espectrais para cada parâmetro modelado.

Após selecionar o melhor modelo para cada parâmetro, foram removidas as amostras *outliers*, que foram indicadas pelo *software* Unscrambler por serem amostras mal descritas pelos modelos.

Tabela 6 – O melhor pré-tratamento empregado sobre os dados espectrais para cada parâmetro modelado

Modelos		Correções para o espalhamento da luz		Transformações	
<b>Simulação de pastejo diárias</b>	PB	SNV	<i>Detrend</i>	Primeira derivada	10 pontos
	MOD	SNV	<i>Detrend</i>	Segunda derivada	8 pontos
<b>Médias das simulações de pastejo</b>	PB	SNV	<i>Detrend</i>	Primeira derivada	1 ponto
	MOD	SNV	-	Primeira derivada	3 pontos
	N	-	-	Segunda derivada	10 pontos
<b>Fecais</b>	CMO	SNV	<i>Detrend</i>	Primeira derivada	10 pontos
	MOD	MSC	-	Segunda derivada	10 pontos
<b>Médias das extrusas</b>	PB	SNV	<i>Detrend</i>	Primeira derivada	1 ponto
	MOD	SNV	<i>Detrend</i>	Primeira derivada	5 pontos

#### 4.7.2 Predição

Para avaliar o desempenho dos modelos de forma mais realística, conforme recomenda PASQUINI (2003), foi selecionado de cada modelo entre 15 a 25 % das amostras, de forma a não afetar negativamente o desempenho dos modelos. A seleção de amostras foi feita através do algoritmo de Kennard-Stone (KENNARD e STONE, 1969), que se baseia na distância euclidiana para selecionar amostras que representem toda a variabilidade do conjunto de dados estudado (SOUSA et al., 2011). A seleção das amostras foi feita de forma a obter as amostras que iriam compor o modelo (75 a 85 % das amostras do banco inicial), deixando o remanescente de 15 a 25 % para predição, pois quando a seleção era feita para as amostras de predição o valor mínimo e máximo ficava fora do intervalo de leitura do modelo.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Análises estatísticas preliminares

#### 5.1.1 Análises nos dados de referência

Todos os dados apresentaram distribuição normal ( $P > 0,05$ ).

Na tabela 7 e figura 9 estão os valores médios de MOD, PB, FDN e FDA da dieta dos animais, colhidas via simulação de pastejo, com seus respectivos RMSE e fatores de ajuste ( $R^2$ ) a linha de tendência polinomial.

Tabela 7 – Teor de MO digestível (MOD), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidas a partir da médias dos cinco dias de coletas das amostras de simulação de pastejo

Período	Mês	MOD (% MS)	Diário <sup>1</sup>	Média <sup>2</sup>	PB (%MS)	Diário	Média	FDN (% MS)	RMSE	FDA (% MS)	RMSE
			RMSE <sup>3</sup>			RMSE					
1	Junho	55,98	4,20	0,64	13,00	1,03	0,33	58,50	0,23	38,23	0,45
2	Julho	58,57	7,68	5,06	12,73	1,49	0,55	62,42	1,05	37,41	0,95
3	Agosto	60,86	4,90	3,24	13,54	1,39	0,64	59,63	1,56	35,37	2,48
4	Setembro	64,44	6,24	5,45	16,80	1,33	0,72	56,50	2,26	31,25	1,89
5	Outubro	70,69	2,84	1,76	16,21	0,88	0,30	58,23	1,76	32,45	1,84
6	Novembro	71,58	4,78	4,28	14,43	0,99	0,19	59,64	1,06	35,31	1,90
7	Dezembro	64,96	5,24	3,42	13,89	1,33	0,60	62,03	1,27	39,64	0,70
8	Janeiro	66,90	6,34	6,13	13,47	1,00	0,45	61,51	1,25	39,03	1,00
9	Fevereiro	61,53	5,02	4,43	13,35	1,00	0,52	60,21	1,10	39,09	1,42
10	Março	61,63	4,31	3,28	11,00	1,36	0,58	62,40	0,60	38,79	0,86
11	Abril	61,59	3,96	2,38	12,88	1,28	0,16	61,80	0,31	40,06	0,94
12	Maiο	60,27	4,74	2,38	14,06	1,39	0,16	60,98	0,31	37,64	0,94
13	Junho	60,66	6,33	4,17	12,15	1,66	0,72	59,85	0,85	38,13	0,94
	<b>Média</b>	63,05	-	-	13,66	-	-	60,28	-	37,11	-
	<b>RMSE</b>	-	6,75	5,80	-	1,97	1,60	2,20	-	3,10	-
	<b>R<sup>2</sup>*</b>	-	0,34	0,46	-	0,45	0,70	-	-	-	-

Tabela 7 - ... continuação

<sup>1</sup> RMSE calculado a partir dos dados das amostras diárias de simulação de pastejo por animal

<sup>2</sup> RMSE calculado a partir da média dos cinco dias das amostras de simulação de pastejo por animal

<sup>3</sup> RMSE – raiz quadrada média do erro

\* Coeficiente de determinação do ajuste dos dados a linha de tendência polinomial em função da média do período

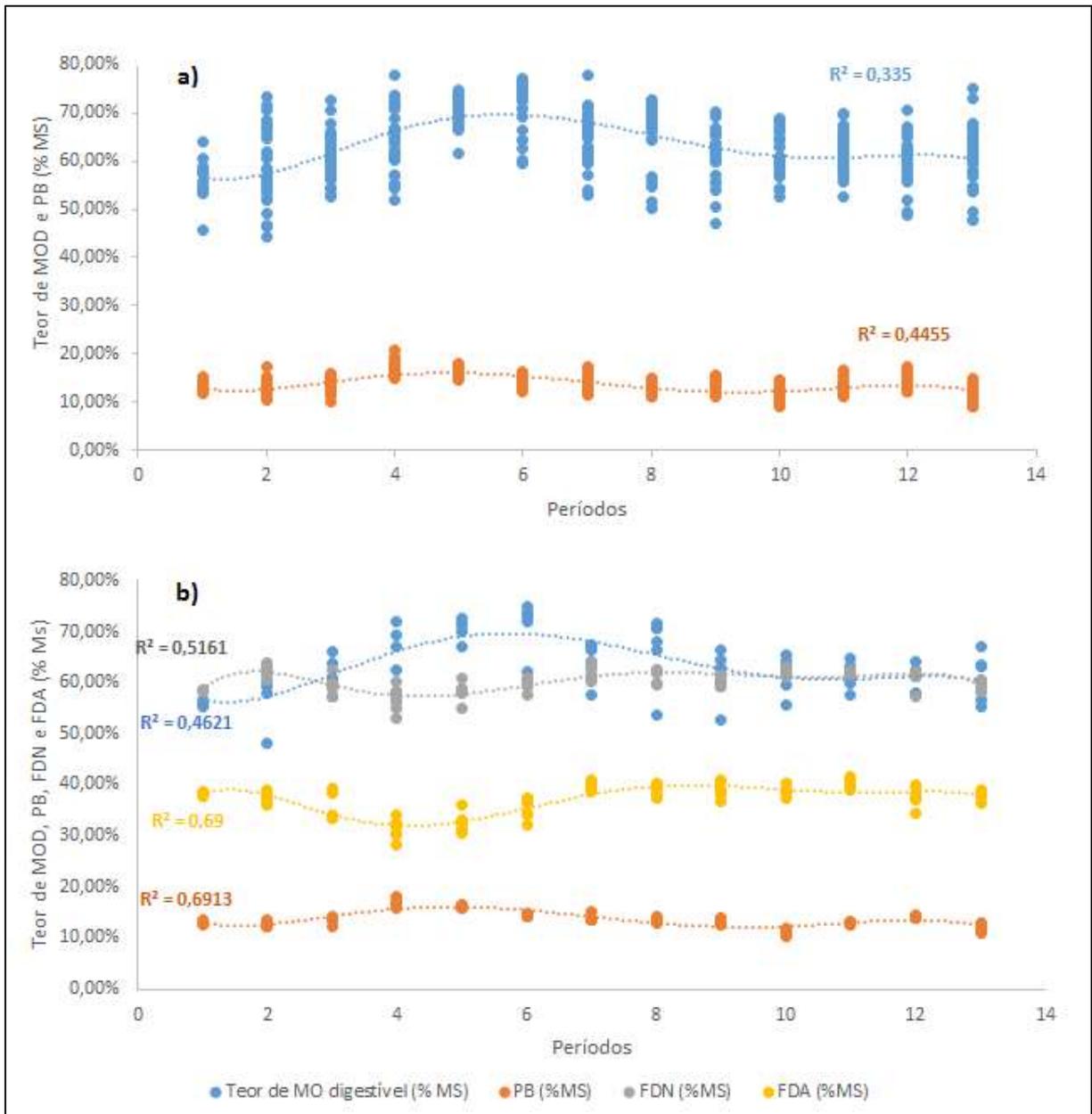


Figura 9 – Representação gráfica do teor de MO digestível (MOD), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidas a partir da amostras diárias de simulação de pastejo (a) e da média por animal dos cinco dias de coletas das amostras de simulação de pastejo (b)

Na figura 10 são apresentados as relações lineares ( $P \leq 0,05$ ) entre os horários de coleta das amostras de extrusa, no início ou no final a maior refeição diária dos animais, através dos indicadores matéria orgânica digestível e proteína bruta.

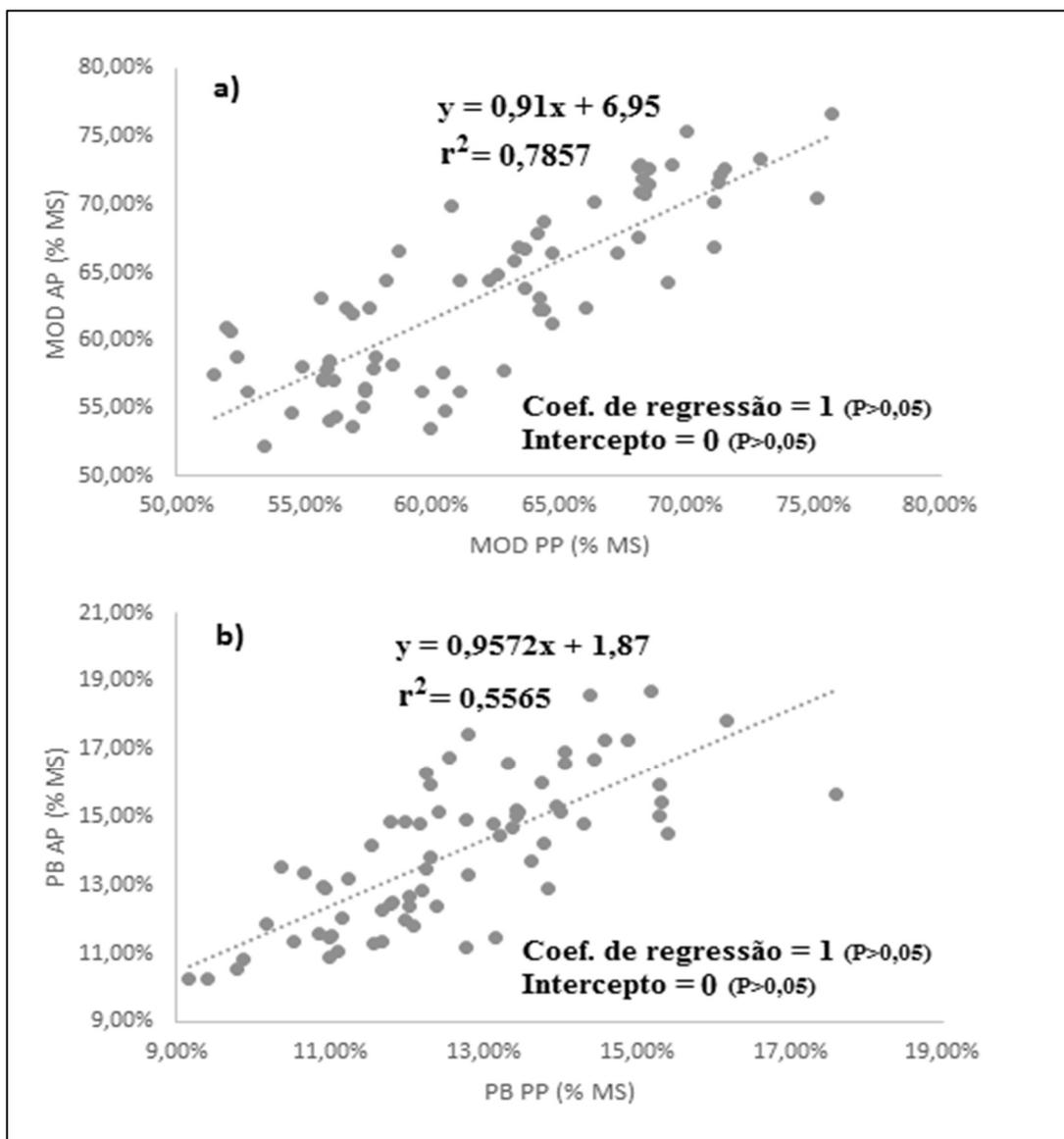


Figura 10 – Relação linear entre os horários de coleta das amostras de extrusa, coletadas no início da maior refeição diária dos animais (AP), ou ao término da refeição (PP) utilizando as variáveis matéria orgânica digestível (a) e proteína bruta (b) das amostras como indicadores

Como não foram detectadas diferenças entre os horários de coleta das amostras de extrusa, então foram feitas médias por animal dos dois horários de coleta em cada período. Os valores são apresentados na tabela 8 e na figura 11, com seus respectivos RMSE e fatores de ajuste ( $R^2$ ) a linha de tendência polinomial.

Tabela 8 – Teor de MO digestível (MOD), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidos a partir da média das amostras de extrusas obtidas em dois horários de coletas ao início do a maior refeição diária (AP) e ao término da maior refeição diária (PP)

<b>Período</b>	<b>Mês</b>	<b>MOD (% MS)</b>	<b>RMSE<sup>1</sup></b>	<b>PB (% MS)</b>	<b>RMSE</b>	<b>FDN (% MS)</b>	<b>RMSE</b>	<b>FDA (% MS)</b>	<b>RMSE</b>
1	Junho	55,50	1,90	14,97	1,45	75,64	2,34	37,59	0,93
2	Julho	59,58	3,91	12,49	0,92	75,26	1,06	35,16	1,23
3	Agosto	59,84	2,55	14,58	0,53	70,49	1,98	34,52	1,04
4	Setembro	62,32	2,74	15,94	0,71	74,13	0,81	36,28	0,44
5	Outubro	71,72	2,57	15,93	0,62	75,31	1,58	36,51	0,60
6	Novembro	69,72	3,24	14,42	0,29	74,41	1,33	34,29	0,93
7	Dezembro	62,50	3,81	13,57	0,81	71,90	1,58	34,65	0,87
8	Janeiro	68,21	5,08	13,76	0,50	71,87	1,63	31,59	1,50
9	Fevereiro	68,30	3,31	13,34	1,26	72,25	3,12	32,39	1,32
10	Março	62,28	3,23	12,14	0,15	73,51	0,37	35,38	0,88
11	Abril	58,78	3,88	11,65	0,42	71,97	2,48	34,72	1,14
12	Maiο	56,57	1,55	11,41	0,81	72,92	2,16	33,69	0,67
13	Junho	55,28	1,34	10,60	0,74	74,71	1,38	35,63	0,85
<b>Média</b>		62,35	-	13,45	-	73,41	-	34,80	-
<b>RMSE</b>		6,16	-	1,81	-	2,37	-	1,79	-

<sup>1</sup> RMSE – raiz quadrada média do erro

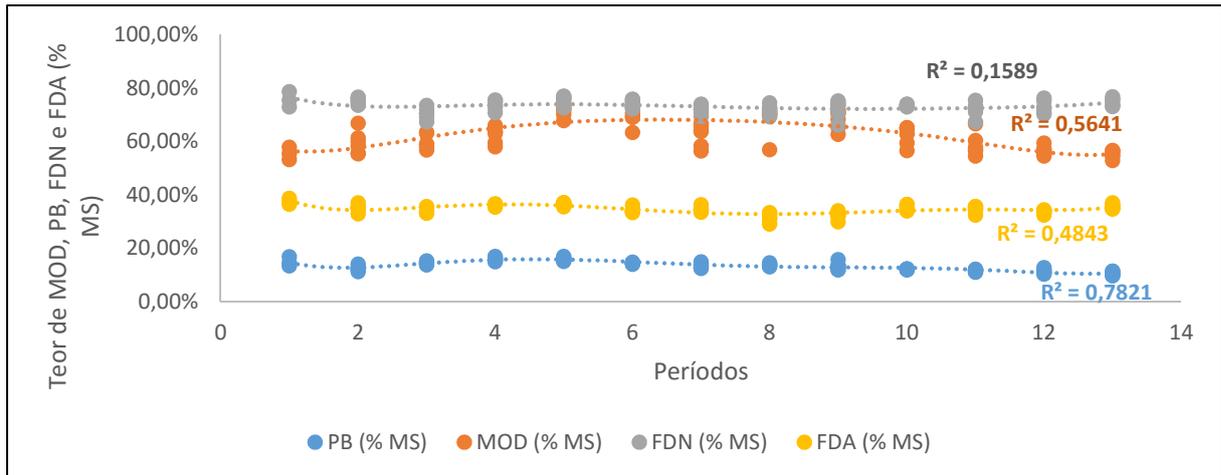


Figura 11 – Teor de MO digestível (MOD), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidos a partir da média por animal das amostras de extrusas obtidas em dois horários de coletas, ao início da maior refeição diária (AP) e ao término da maior refeição diária (PP)

Foi encontrado relação linear ( $P \leq 0,05$ ) entre as amostras de dieta colhidas pelo método da simulação de pastejo e o método das estrusas, porém o método da simulação apresentou valores acima do método das extrusas para as variáveis indicadoras MOD e PB utilizadas no estabelecimento da relação. Na figura 12 estão os resultados da análise estatística.

Na tabela 9 e na figura 13 são apresentadas as concentrações de nitrogênio fecal, e os valores de matéria orgânica digestível estimados pelos modelos citados no material e métodos que utilizam o consumo de matéria orgânica estimado pelo modelo de N fecal e a excreção fecal de matéria orgânica, com seus respectivos RMSE e fatores de ajuste ( $R^2$ ) a linha de tendência polinomial.

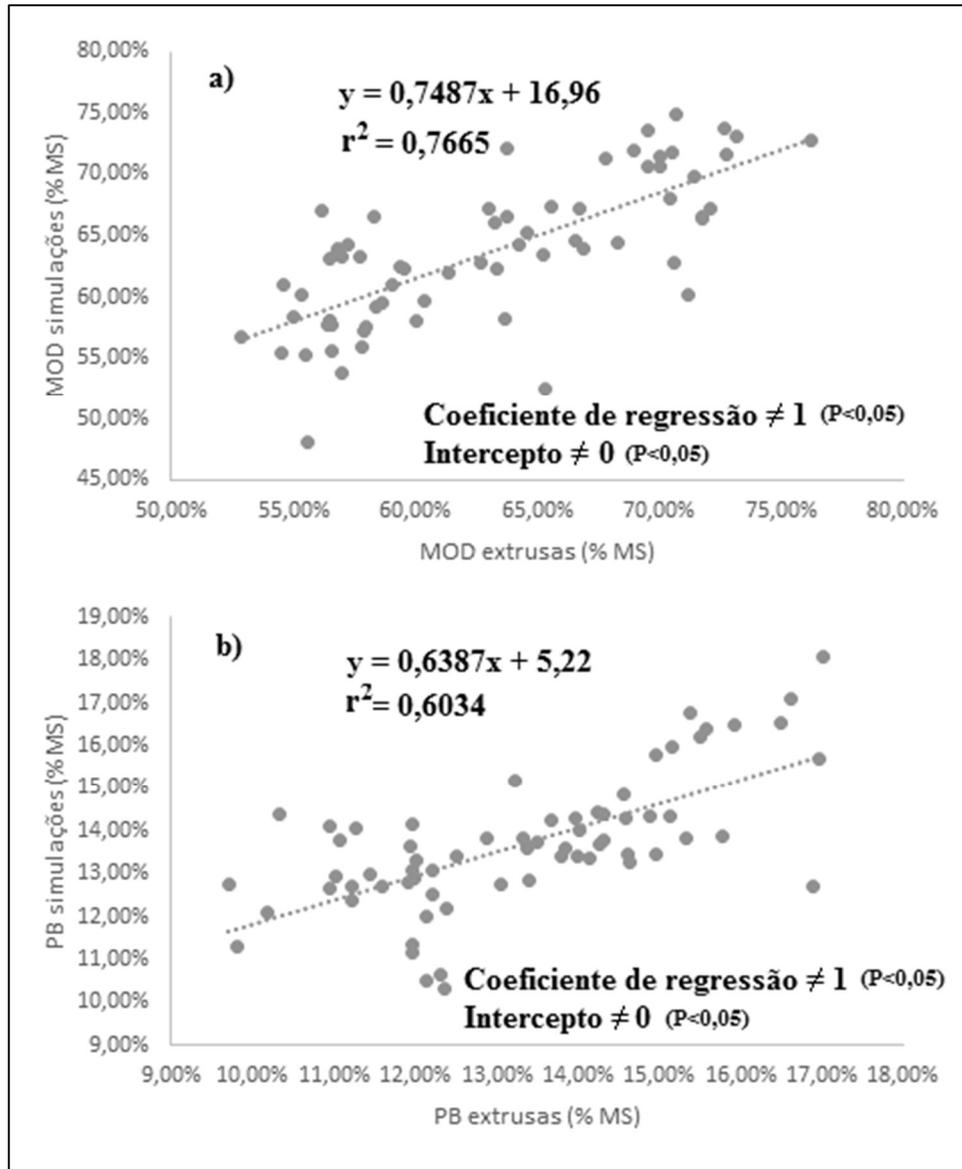


Figura 12 – Relação linear entre as metodologias empregadas para coleta das amostras de forragens, através da metodologia da simulação de pastejo ou coleta de extrusas, utilizando as variáveis matéria orgânica digestível (a) e proteína bruta (b) das amostras como indicadores

Tabela 9 – Teor de N fecal (N) e matéria orgânica digestível (MOD) da dieta dos ovinos ao longo do ensaio, obtidas a partir da excreção fecal diária de N

Período	Mês	N (% MS)	RMSE	MOD (% MS)	RMSE
1	Junho	2,06	0,06	55,7%	1,25%
2	Julho	1,85	0,09	53,1%	1,86%
3	Agosto	1,87	0,06	53,7%	1,69%
4	Setembro	2,14	0,10	58,0%	1,97%
5	Outubro	2,19	0,07	60,1%	1,20%
6	Novembro	2,10	0,11	57,5%	2,37%
7	Dezembro	2,02	0,08	55,6%	2,03%
8	Janeiro	2,07	0,15	57,1%	3,07%
9	Fevereiro	1,88	0,12	53,2%	2,83%
10	Março	1,87	0,09	53,3%	2,18%
11	Abril	1,68	0,08	48,5%	2,14%
12	Mai	1,56	0,08	44,7%	2,60%
13	Junho	1,50	0,09	45,4%	3,16%
<b>Média</b>		1,91	-	53,53%	-
<b>RMSE</b>		0,23	-	5,13	-
<b>R<sup>2</sup></b>		0,7969	-	0,7628	-

<sup>1</sup> RMSE – raiz quadrada média do erro

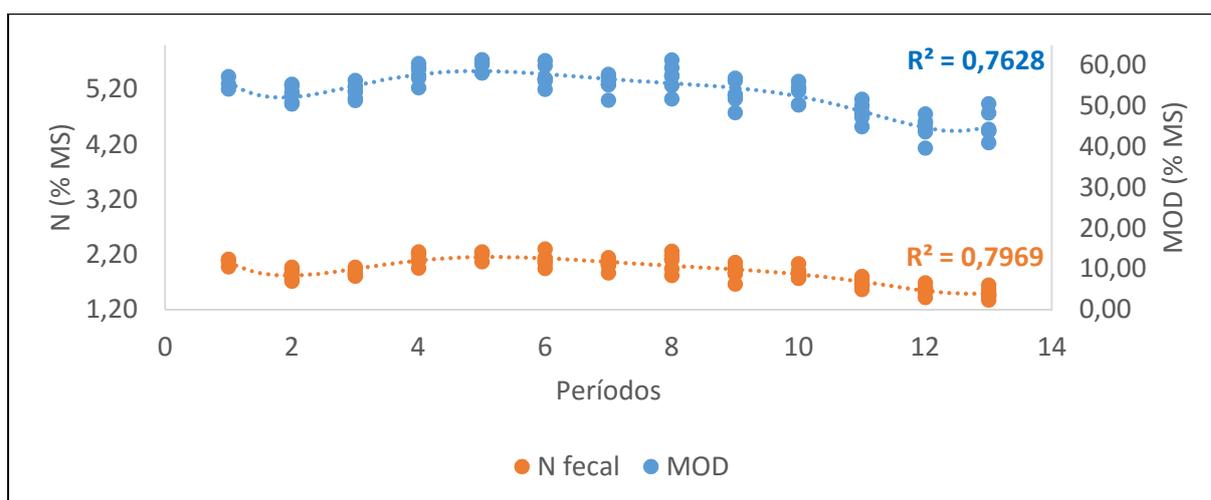


Figura 13 – Estimativa do teor de matéria orgânica digestiva da dieta dos ovinos, através relação entre a excreção fecal de MO e o consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal, e a concentração de N fecal ao longo do ensaio

Na comparação entre os métodos empregados para estimativa do teor de matéria orgânica digestível da dieta dos ovinos, o método que utiliza a incubação *in situ* por 48hs apresentou relação linear ( $P \leq 0,05$ ) com o método através da relação entre a excreção fecal de MO e o consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal. Na figura 14 podem ser observadas as relações.

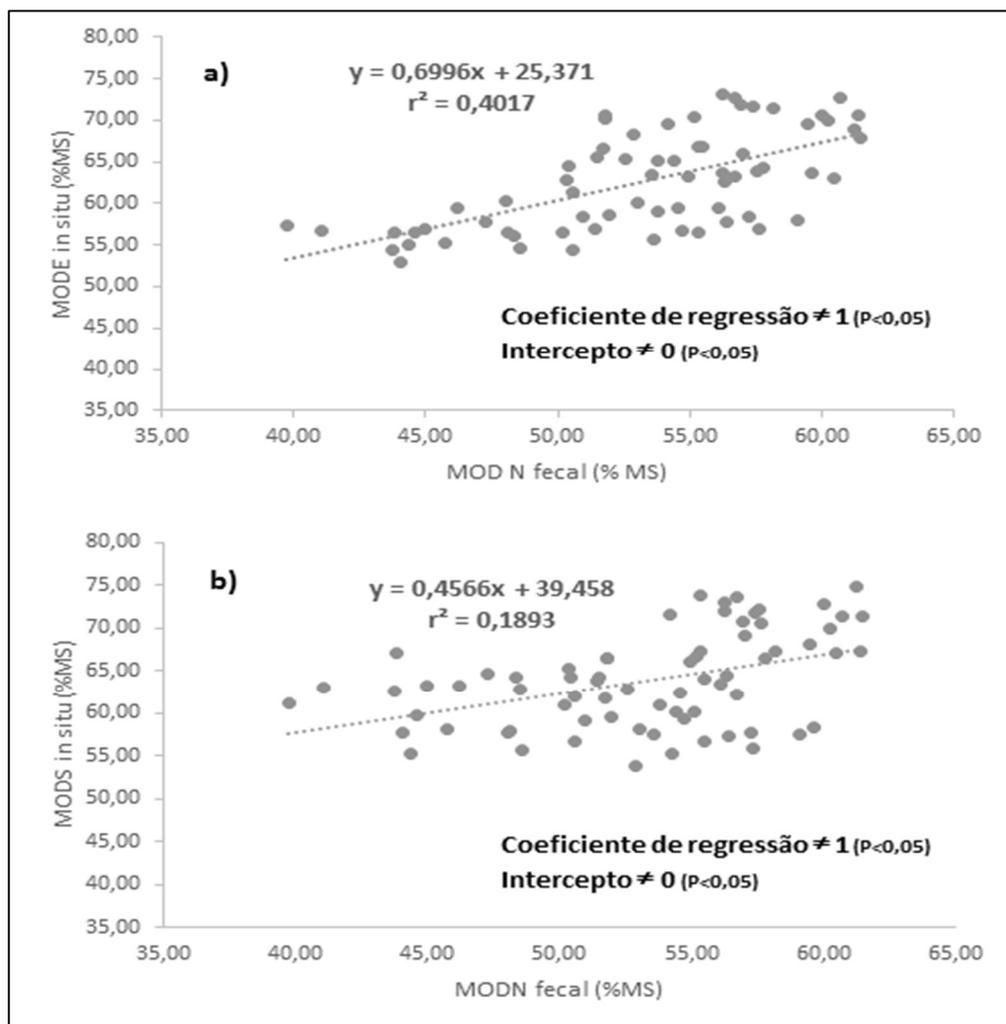


Figura 14 – Relação linear entre as metodologias empregadas para estimativa do teor de matéria orgânica digestiva da dieta dos ovinos, estimada através da incubação *in situ* por 48hs das amostras de extrusa (MODE) (a) ou das amostras de simulação de pastejo (MODS) (b), comparadas com o método através da relação entre a excreção fecal de MO e o consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal (MODN fecal)

Na tabela 10 e na figura 15 estão os dados das estimativas do consumo de matéria orgânica predito através de três metodologias diferentes, conforme descrito no material e métodos, com seus respectivos RMSE e fatores de ajuste ( $R^2$ ) a linha de tendência polinomial.

Tabela 10 – Consumo de matéria orgânica (CMO) dos ovinos ao longo do ensaio predito através da excreção fecal diária de MO e da DISMO das amostras de simulação de pastejo (CMOS) ou das extrusas (CMOE), ou ainda pelo modelo a partir da excreção fecal diária de N (CMON)

<b>Período</b>	<b>Mês</b>	<b>CMOS (g MO/kg PC/dia)</b>	<b>RMSE</b>	<b>CMOE (g MO/kg PC/dia)</b>	<b>RMSE</b>	<b>CMON (g MO/kg PC/dia)</b>	<b>RMSE</b>
1	Junho	19,80	1,91	20,27	1,18	19,61	1,38
2	Julho	23,91	4,10	28,17	7,80	20,31	3,03
3	Agosto	28,24	6,24	30,79	5,32	22,79	4,82
4	Setembro	29,17	4,87	27,82	3,54	23,01	2,35
5	Outubro	33,15	4,55	35,95	4,87	21,83	3,63
6	Novembro	39,56	6,16	38,24	6,24	22,74	1,55
7	Dezembro	31,22	3,94	30,75	5,93	23,22	3,14
8	Janeiro	29,88	6,11	34,99	7,90	20,97	2,12
9	Fevereiro	28,18	5,82	39,49	9,03	21,81	3,53
10	Março	28,30	4,11	31,06	4,64	22,07	1,42
11	Abril	31,35	3,76	30,78	5,01	22,06	2,68
12	Mai	30,58	3,76	27,93	2,27	20,32	1,51
13	Junho	28,28	5,30	25,02	3,76	18,84	2,08
<b>Média</b>		29,35	-	30,87	-	21,51	-
<b>RMSE</b>		6,41	-	5,92	-	3,06	-
<b>R<sup>2</sup></b>		0,33	-	0,33	-	0,15	-

<sup>1</sup> RMSE – raiz quadrada média do erro

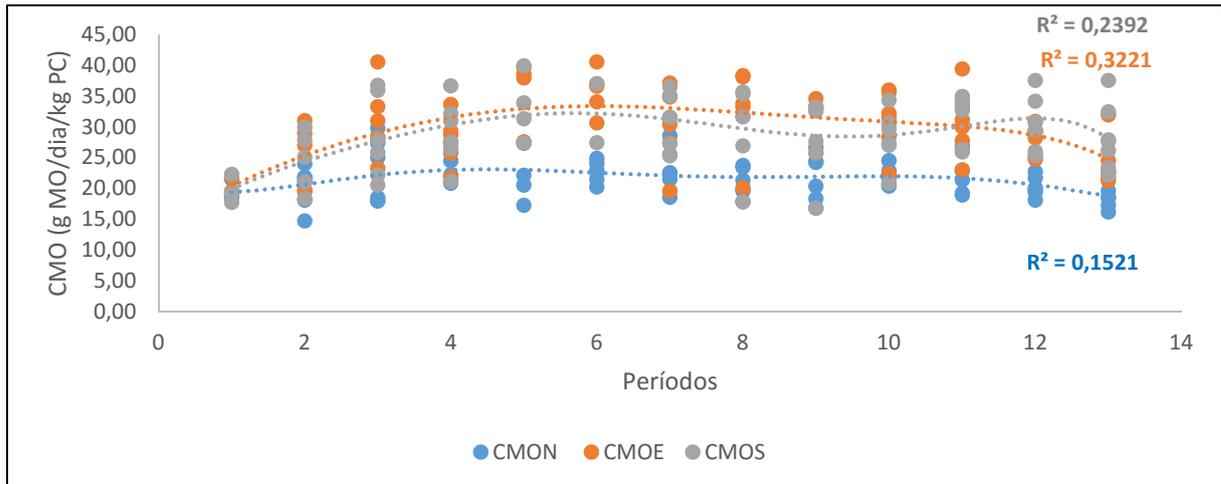


Figura 15 – Relação linear entre as metodologias empregadas para estimativa do teor de matéria orgânica digestiva da dieta dos ovinos, estimada através da incubação in situ por 48hs das amostras de extrusa e através da relação entre a excreção fecal de MO e o consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal

Quando comparados estatisticamente os métodos para estimativa do consumo de matéria orgânica (Figura 16) através da digestibilidade in situ das amostras de simulação de pastejo ou extrusas, ambas apresentaram relação linear ( $P \leq 0,05$ ) com a estimativa através do modelo de N fecal. Apesar de haver relação e ausência da diferença do coeficiente de regressão e do intercepto em relação a 1 e 0, respectivamente, não posso afirmar que ambas metodologias são iguais, pela grande imprecisão das relações, demonstrado pelos baixos coeficientes de determinação. A significância estatística para coeficiente de regressão e intercepto, pode ser explicada pelo grande erro padrão para as duas medias que foi de  $\pm 4,15$  e  $\pm 3,19$  para extrusas e simulações, e  $\pm 0,19$  e  $\pm 0,18$  para extrusas e simulações, respectivamente.

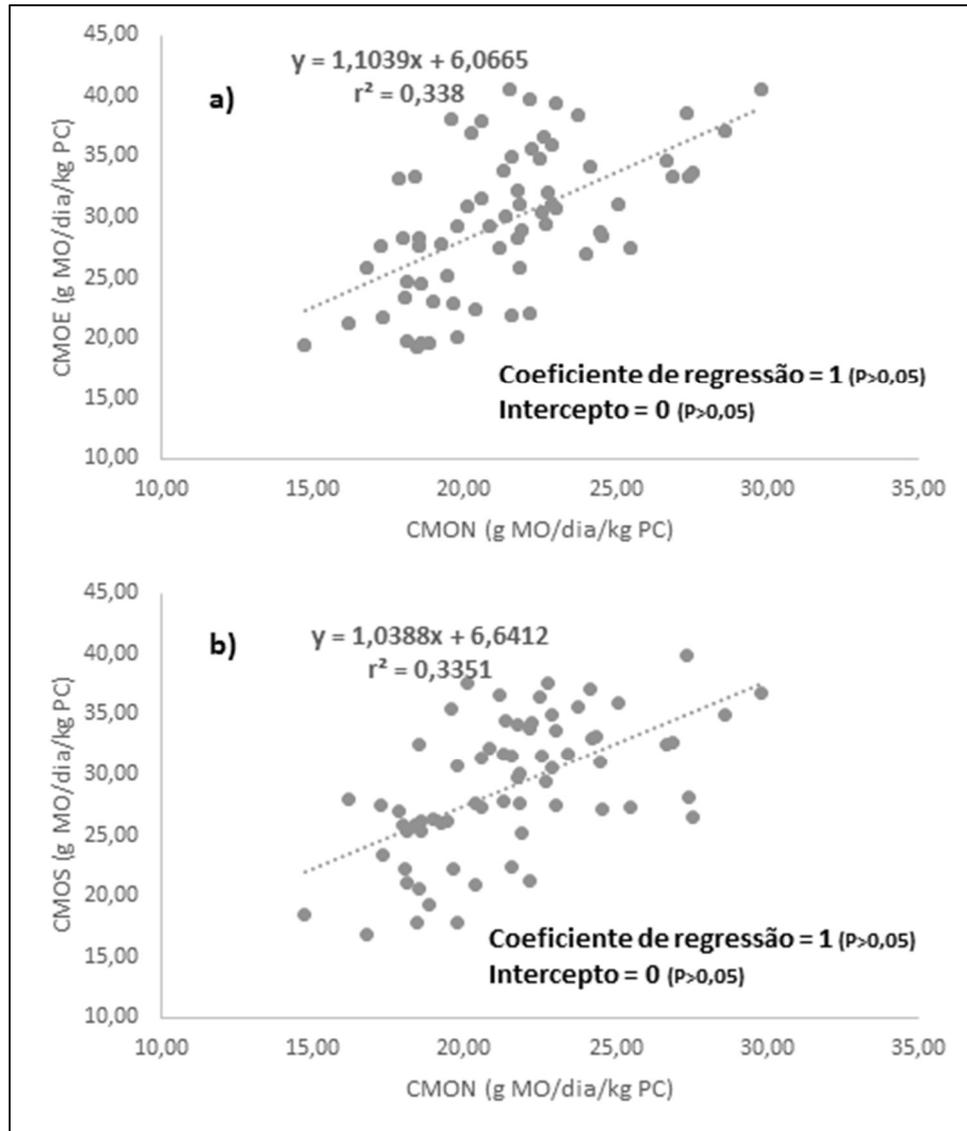


Figura 16 – Relação linear entre as metodologias empregadas para estimativa do consumo de matéria orgânica dos ovinos, estimada através da digestibilidade *in situ* das amostras de extrusa (CMOE) (a) ou das amostras de simulação de pastejo (CMOS) (b), e através do consumo de matéria orgânica estimado através do modelo de N fecal (CMON)

Na figura 17 são apresentados os resultados da análise de PCA das amostras de extrusas e simulação de pastejo, onde pode ser observado uma explicação da variância dos dados de 91% e 87 %, respectivamente, com somente dois componentes principais nos dois bancos de dados, além da formação dos grupos por estação climática na qual foram coletadas as amostras,

e da grande variabilidade existente entre animais dentro das estações climáticas explicada pelo primeiro componente principal, por ser a maior fonte de variação dos dados.

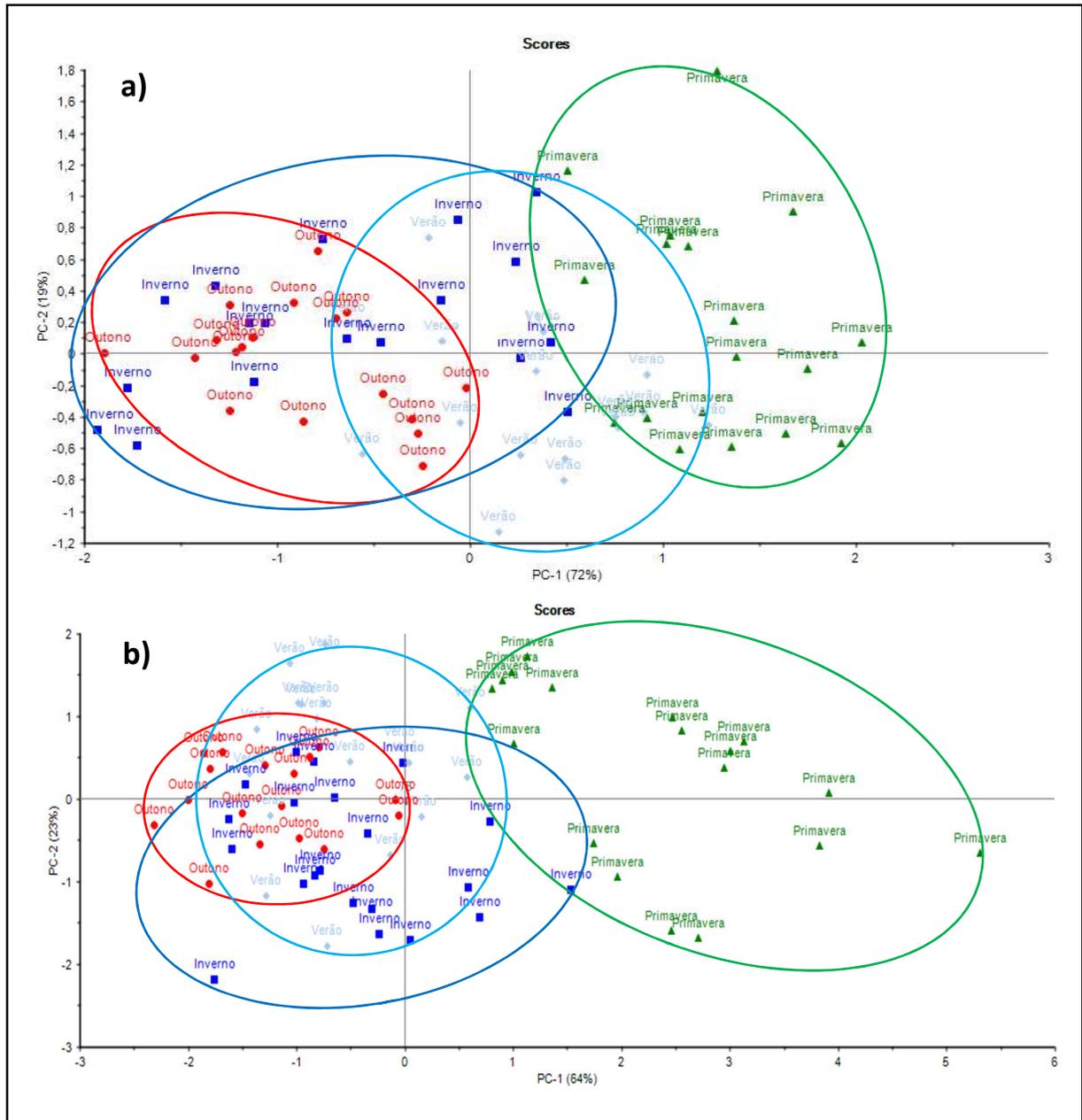


Figura 17 – Análise exploratória de componentes principais utilizando as variáveis de qualidade (MOD, PB, FDN e FDA) das amostras de extrusas (a) simulação de patejo (b), agrupadas em função da estação climática em que foram coletadas (Verde – primavera; Vermelho – outono; Azul escuro – inverno; Azul claro – verão)

## 5.1.2 Análise nos espectros fecais

### 5.1.2.1 Análises gráficas de agrupamento - PCA

Nas figuras 18 e 19 são apresentados os resultados da análise de PCA das amostras diárias e compostas de fezes, respectivamente, onde pode ser observado uma explicação da variância dos dados de 97% com somente dois componentes principais nos dois bancos de dados, além da formação dos grupos por estação climática na qual foram coletadas as amostras, e da grande variabilidade existente entre dias de coletas e animais dentro das estações climáticas, explicada pelo primeiro componente principal por serem a maior fonte de variação dos dados.

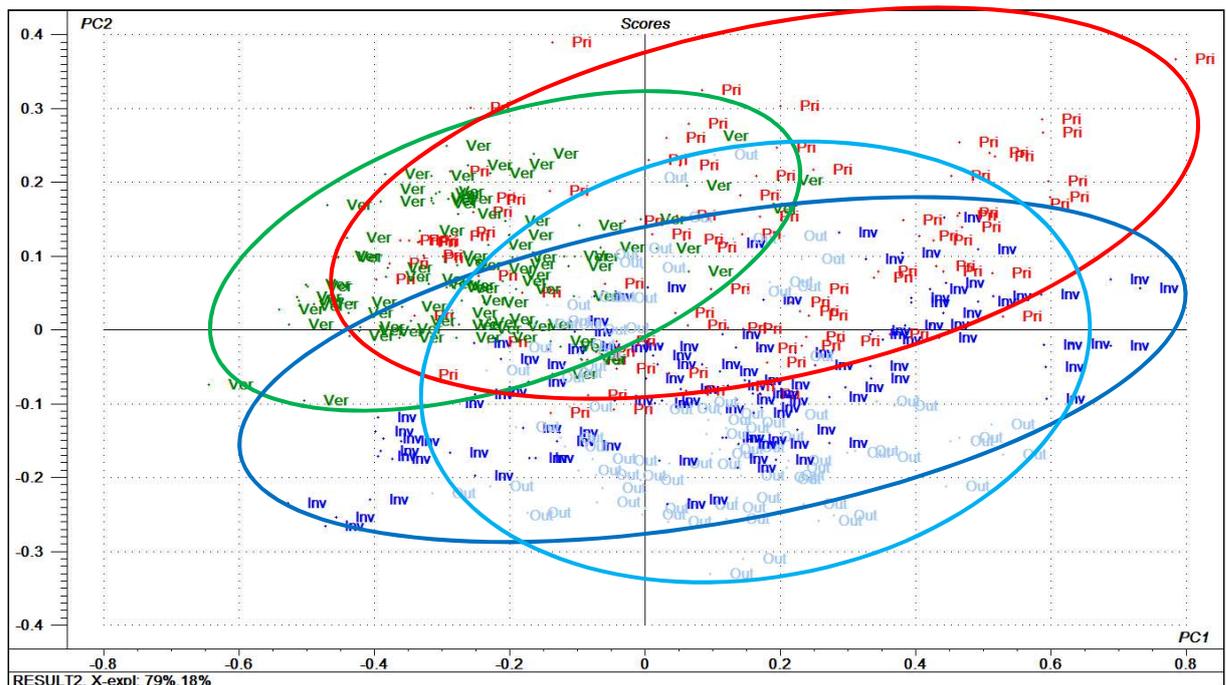


Figura 18 - Análise exploratória dos espectros das amostras de fezes diárias, com dois componentes principais, agrupadas em função da estação climática em que foram coletadas (Verde – verão; Vermelho – primavera; Azul escuro – inverno; Azul claro – outono).

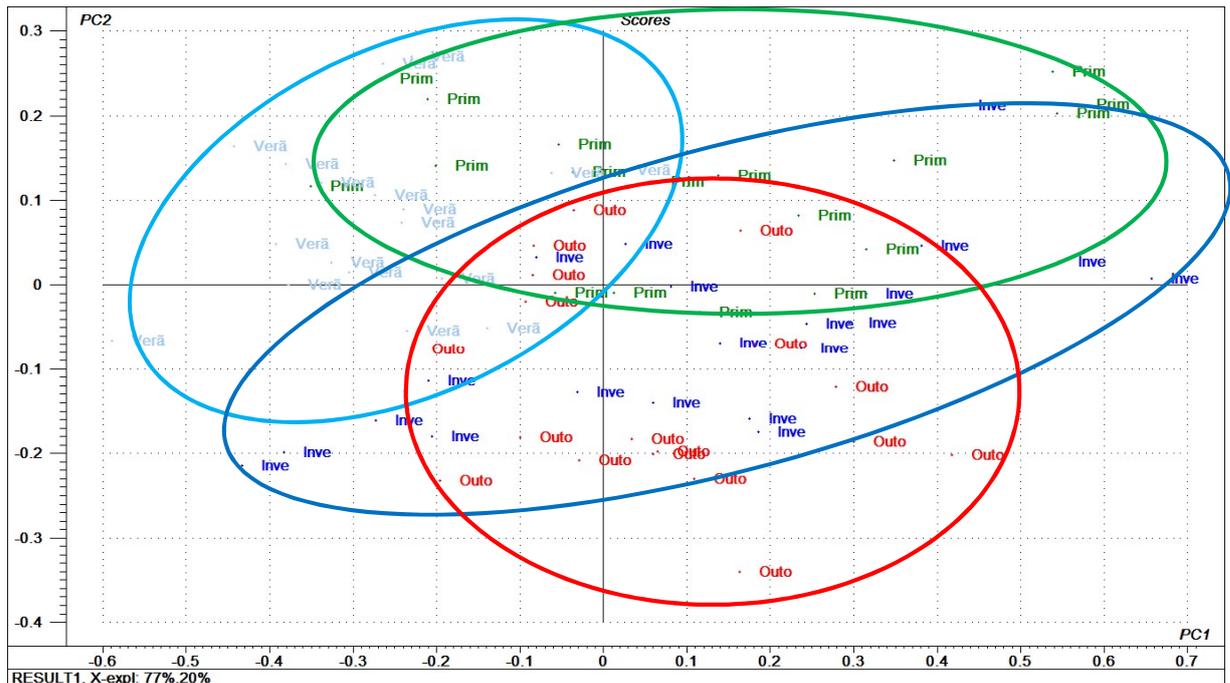


Figura 19 - Análise exploratória dos espectros das amostras de fezes compostas, com dois componentes principais, agrupadas em função da estação climática em que foram coletadas (Azul claro – verão; Verde – Primavera; Azul escuro – Inverno; Vermelho – Outono)

## 5.2 Desenvolvimento dos modelos

Os resultados estatísticos que avaliam o desempenho dos melhores gerados a partir da espectroscopia NIR fecal são apresentados na tabela 11. São apresentados modelos para predição dos teores de proteína bruta e matéria orgânica digestível a partir das amostras coletadas diariamente de alimento via simulação de pastejo e os espectros das amostras diárias de fezes, também para os valores médios das amostras de simulação de pastejo e extrusas e os espectros das amostras compostas de fezes. Além disso, os modelos para predição da concentração de N fecal, consumo de matéria orgânica e teor de matéria orgânica digestível, ambos estimados via modelo de N fecal.

Tabela 11 – Resultados estatísticos do desempenho dos modelos de predição desenvolvidos a partir da espectroscopia NIR

Modelos	Calibração					Validação			Predição				
	<i>N</i> <sup>1</sup>	Min. e Máx.	F <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> *	SEC <sup>4</sup>	R <sup>2</sup>	SEV <sup>5</sup>	CVr <sup>6</sup>	<i>N</i>	Min. e Máx.	R <sup>2</sup>	SEP <sup>7</sup>	CVr
<b>Simulação de pastejo diárias</b>													
PB (% MS)	271	8,93 - 18,13	5	0,52	1,32	0,49	1,37	10,07	90	9,21 - 18	0,37	1,45	10,76
MOD (% MS)	260	44,4 - 77,86	5	0,41	5,33	0,35	5,62	8,88	91	49,13 - 77,86	0,32	5,17	8,21
<b>Simulação de pastejo médias</b>													
PB (% MS)	60	10,51 - 18,05	5	0,73	0,79	0,61	0,98	7,16	13	11,34 - 15,7	0,78	0,74	5,45
MOD (% MS)	60	52,54 - 74,87	4	0,49	3,80	0,33	4,43	6,95	11	55,22 - 73,73	0,51	4,32	6,96
<b>Fecais</b>													
N fecal (% MS)	53	1,42 - 2,3	5	0,90	0,07	0,83	0,09	4,61	17	1,37 - 2,20	0,88	0,09	5,06
CMO (g MO/kg de PC/dia)	49	16,18 - 27,38	7	0,66	1,60	0,29	2,42	11,30	15	18,04 - 27,57	0,48	1,46	6,84
MOD (% MS)	53	43 - 66,54	5	0,91	1,64	0,86	2,04	3,54	18	44,09 - 65,86	0,86	2,14	3,71
<b>Extrusas médias</b>													
PB (% MS)	55	9,69 - 16,96	7	0,90	0,54	0,85	0,64	4,78	14	9,81 - 16,07	0,77	0,82	6,57
MOD (% MS)	49	52,84 - 73,16	7	0,89	1,92	0,78	2,83	4,56	15	53,18 - 72,69	0,54	4,09	6,54

<sup>1</sup> número de amostras utilizadas; <sup>2</sup> número de fatores; \* coeficiente de determinação; <sup>4</sup> erro padrão da clibração; <sup>5</sup> erro padrão da validação cruzada; <sup>6</sup> coeficiente de variação do erro, calculado dividindo o erro padrão pela média da análise de referência vezes 100; <sup>7</sup> erro padrão da predição.

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 Análises preliminares

As variáveis de referência aos modelos NIRS apresentaram o comportamento seguindo os meses de coleta e as estações climáticas, como pode ser visto através das análises de PCA, com uma redução no teor de matéria orgânica digestível e proteína bruta e consumo, e aumento nos teores de fibra insolúvel em detergente neutro e ácido, nos meses de outono e inverno, e comportamento contrário nos meses de primavera e verão. Esse comportamento era esperado pela composição florística da pastagem nativa ser predominantemente de gramíneas de estação quente, que após emitirem suas inflorescências começam o processo de senescência, ocasionando nos meses frios um aumento na proporção de material morto reduzindo então a qualidade da forragem (SCHEFFER-BASSO et al., 2009). Na avaliação da composição florística foi observado esta predominância de espécies pertencentes ao grupo das gramíneas de estação quente. Apesar da metodologia utilizada neste estudo para determinação da proporção de material morto não ser válida este mesmo comportamento pôde ser observado nos dados de massa de forragem verde.

Com relação as análises descritivas sobre os dados de referência, os teores de MOD e PB quando expressos em função da média por animal utilizando os cinco dias de coletas das amostras de simulação de pastejo apresentaram menor dispersão em relação à média de cada período de coleta (altos  $R^2$  e menores valores de RMSE), quando comparados aos dados que utilizam as amostras diárias. O fato de calculámos a média por animal, acaba retirando parcialmente a instabilidade diária oriunda do método da simulação de pastejo, melhorando os indicadores de aderência dos dados as médias dos períodos. Este mesmo efeito pôde ser visto nos indicadores de desempenho dos modelos NIRS que foram numericamente superiores quando desenvolvidos a partir das médias por animal em relação as amostras diárias.

Quanto as diferenças esperadas entre os horários de coleta das amostras de extrusas, não foram encontradas através da estatística, e isto corrobora com o que foi reportado por GLADSTON (2007) em outras condições de dieta, com ovinos alimentados com a vegetação nativa da Caatinga no semi-árido nordestino Brasileiro.

As metodologias testadas para a coleta das amostras de referência, apresentaram-se altamente relacionadas linearmente, porém com maiores valores quando colhidas através do método da simulação de pastejo, o fato demonstra a tendência das pessoas que fizeram as coletas a coletarem material com melhor qualidade do que os animais estavam colhendo, este fato decorre de terem seguido a teoria de que os ruminantes sempre buscam selecionar a melhor dieta, porém a seleção da melhor dieta deve estar atrelada ao menor custo elergético com o deslocamento dos animais na área de pastejo, entretanto esta habilidade em balancear o menor percurso com a melhor dieta é impossível de ser simulada no momento da coleta das amostras de forragem. Mesmo havendo esta pequena diferença entre os métodos, ainda considero a simulação de pastejo por cinco dias um método válido e representativo para coleta da dieta de ovinos em pastagem nativa do bioma Pampa, pelo baixo custo e por não necessitar de animais cirurgicamente preparados.

As metodologias utilizadas na estimativa do teor de matéria orgânica digestível, apesar de terem sido altamente relacionadas, apresentaram grande dispersão ao redor da reta da regressão linear, independentemente do método utilizado para coleta das amostras de forragem. A instabilidade dos dados, pode ser atrelada ao método *in situ*, pois quando gerados e validados os modelos NIRS fecal para a variável MOD, numericamente o modelo com melhor desempenho foi o desenvolvido a partir da estimativa da MOD utilizando o N fecal. Como as amostras de forragem não foram incubadas todas no mesmo momento e animal, pode ter havido influência do animal e período, não relacionada a química da amostra sobre a digestão, ocasionando esta instabilidade no método. Porém o intuito de incubar as amostras separadamente, como descrito no material e métodos, foi para assegurar que as amostras passariam por condições de ambiente rumial parecidas com o que a dieta ingerida pelos animais passaria.

A relação entre os métodos da estimativa de consumo são um reflexo do que foi discutido anteriormente quando se falou na estimativa da MOD, pois ambas estimativas são dependentes da estimativa da digestibilidade *in situ* das amostras da dieta, salvo quando estimado pelo N fecal.

Nas análises de componentes principais ficou evidente a necessidade da condução do ensaio ao longo de um ano, passando pelas quatro estações climáticas, pela formação clara e distinta dos grupos por estação. Porém o fato mais importante da análise de PCA, foi o alongamento dos grupos das estações climáticas ter sido ao longo do eixo do primeiro componente principal (PC), e este eixo explicar 72%, 64%, e 77% de toda a variação das

amostras de extrusas, simulação e dos espectros fecais, respectivamente. A fonte da variação dentro dos grupos pode estar relacionada a individualidade de cada animal no momento da seleção da sua dieta. Isto demonstra claramente a necessidade desse tipo de ensaio ser conduzido de forma extensiva, dando aos animais a possibilidade da seleção, diferente do que se vê na literatura, que são ensaios para desenvolvimento de NIRS fecal, com modelos de alto desempenho, porém com animais confinados recebendo a forragem em comedouros (LI et al, 2007; COLEMAN et al, 1995; COATES, 1999; BOVAL et al, 2004) impossibilitando a seletividade, e posteriormente a adequação dos modelos a variabilidade existente na seleção da dieta dos animais quando aplicados na prática.

## 6.2 Desenvolvimento dos modelos NIRS fecal

A melhora no desempenho dos modelos NIRS fecal ocorre sempre que reduz a variação dos dados dentro dos períodos de avaliação para todos os modelos desenvolvidos (MOD, PB e CMO). E esta variação foi menor para a variável MOD quando estimada pelo N fecal, seguida pelas variáveis oriundas das amostras de extrusa e posteriormente pelas amostras de simulação de pastejo média por animal e diárias.

O modelo NIRS fecal para consumo de matéria orgânica apresentou menor desempenho em relação aos melhores modelos para as outras variáveis. Desempenho parecido foi descrito por BOVAL et al. (2004), que modelou para consumo de bovinos ( $R^2 = 0,52$ ;  $SECV = 5,29$ ).

O modelo NIRS fecal para predição do consumo de matéria orgânica apesar de ter desempenho menor em relação aos outros modelos, ainda pode ser considerado com acurácia para predição desta variável em um sistema extensivo de produção, pois se calcularmos o consumo média diário de um animal no ensaio que foi de 1223,9 g de MO o erro desta estimativa através do modelos NIRS fecal seria de  $\pm 41$  g, perfazendo 6,79 % do consumo do animal. Este erro pode ser considerado muito pequeno, pelo fato de envolver nesta modelagem somente a química da dieta através da química fecal, frente a complexidade que é o consumo voluntário de ruminantes em sistemas extensivos de produção.

O consumo de ruminantes em sistemas extensivos tem a influência de um grande número de fatores ligados ao comportamento ingestivo, que está relacionado a demanda de nutrientes pelo animal, a química da dieta ingerida, mas também, relacionados ao ambiente, como a estrutura da vegetação e as condições de clima e tempo a que o animal está exposto,

todos difíceis de serem modelados de forma conjunta e acurada, a fim de obter boas previsões de consumo voluntário. O consumo de ruminantes primeiramente foi descrito por FORBS (1980), que desenvolveu o primeiro modelo mecanicista para o consumo de ruminantes envolvendo fatores físicos e fisiológicos relacionados a dieta e o animal. Posteriormente SAUVANT et al. (1996) propôs um modelo mecanicista do consumo, que integra as relações entre comportamento alimentar e processos digestivos, conforme apresentado na figura 20. Estes modelos demonstram claramente a complexidade envolvida no processo de consumo de forragem por ruminantes em sistemas extensivos de produção.

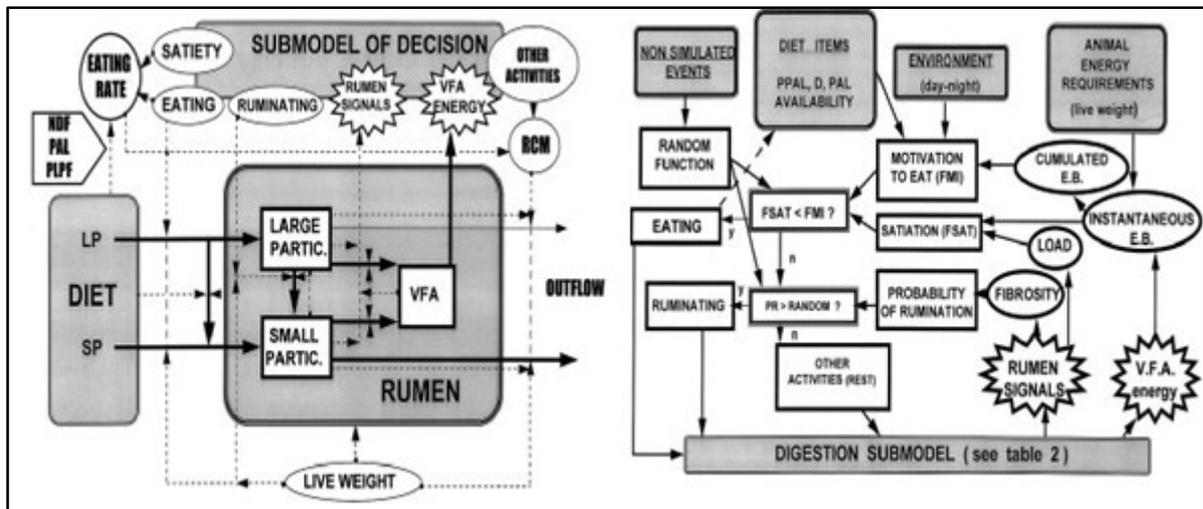


Figura 20 – Representação esquemática do modelo de consumo proposto por SAUVANT et al. (1996)

## **7 CONCLUSÃO**

A metodologia NIRS fecal é capaz de prever com acurácia os teores de matéria orgânica digestível e proteína bruta da dieta de ovinos em pastejo sobre a pastagem natural do bioma Pampa no Rio Grande do Sul, além do teor de nitrogênio fecal e do consumo voluntário de matéria orgânica desses animais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMS, S.M.. Sample preparation. In: Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) Analysis of Forage Quality. USDA, ARS, **Agricultural Handbook** n. 643, 1985, 24 pp.

ASSOCIATION OF OFICIAL AGRICULTURAL CHEMIST - AOAC. 1970. Official methods of analyses. Washintong, D.C.: AOAC. 1015p.

BIANCHI, N.R.; MACHADO, C.A.; ALICE, C.B.; SIQUEIRA, N.C. Riscos potenciais de algumas espécies utilizadas na medicina popular em afecções do aparelho respiratório. **Revista Brasileira de Farmácia**, v.70, p.68-70, 1989.

BOFILL, F.J. **A reestruturação da ovinocultura gaúcha**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1996. 137p.

BOLDRINI, I. I. Campos sulinos: caracterização e biodiversidade. In: ARAÚJO, E. de. et al. (Ed.) **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: EDUFRPE, 2002. P.95-97.

BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z.M.S.; JACQUES, A.V.A (ed). **Campo Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009, 403p.

BOUROCHE, J. M., SAPORTA. G. **Análise de dados**. Zahar Editores. Rio de Janeiro, 1982. 116 p.

BOVAL, M. et al., The ability of faecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical herbage. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 140, n. 4, p. 443–450, Jun, 2003.

BOVAL, M.; COATES, D. B.; LECOMTE, P.; DECRUYENAERE, V.; ARCHIMÉDE, H. 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**. v. 114, p. 19–29, 2004.

BOVAL, M.; ORTEGA-JIMENEZ, E.; FANCHONE, A.; ALEXANDRE, G. Diet attributes of lactating ewes at pasture using faecal NIRS and relationship to pasture characteristics and milk production. **Journal of Agricultural Science**, v. 148, p. 477 – 485, 2010.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil**, 2004. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 13/03/2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário – 2006**. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal**, v. 42, 2014.

BROOKS, J., ANDERSON, M., URNESS, P.J. Infrared reflectance analysis of forage quality for elk. **Journal of Wildlife Management**. v. 48, n. 1, p.254 – 258, 1984.

BURKART A. 1975. Evolution of grasses and grasslands in South America. **Taxon**. v. 24, n.1, p. 53-66, 1975.

COATES, D. B. Faecal spectroscopy (NIRS) for nutritional profiling of grazing cattle. **Vith International Rangeland Congress Proceedings**, p. 466 – 467, 1999.

COLEMAN, S. W.; STUTH, J. W.; HOLLOWAY, J. W. Prediction of intake by near-infrared spectroscopic analysis of fecal samples. **Proceedings of the Symposium on intake by feddlot cattle**. p. 145 – 155, 1995.

COX, M.; VASCONSELOS, V. R.; ENÊAS, R. L. Utilização da Técnica da Espectroscopia e Reflectância do Infra- Vermelho Proximo (NIRS) na Determinação do Valor Nutricional da Dieta de Ovinos em Caatinga. **Revista Científica de Produção Animal**. v. 2, n. 1, p. 31 – 40, 2000.

DECRUYENAERE, V.; FROIDMONT, E.; BARTIAUX-THILL, N.; BULDGEN, A.; STILMANT, D. 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 Tecnology**. v. 173, p. 220 – 234, 2012.

DERMARQUILLY, C.; CHENOST, M.; AUBRY, J.; CHEVALIER, D.; CHENOST, M. J. Etude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthodes des sachets de nylon; liaisons avec la valeur alimentaire. **Annales de Zootechnie**, v.18, n. 4, p.419-430, 1969.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, M.P. Avaliação de diferentes métodos para se estimar o valor nutritivo de forragens sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.21, n.4, p.691-702, 1992.

FANCHONE, A.; ARCHIMÈDE, H.; BOVAL, M. Comparison of fecal crude protein and fecal near-infrared reflectance spectroscopy to predict digestibility of fresh grass consumed by sheep. **Journal Animal Science**. v.87, p.236 – 243, 2009.

FERRI, C. M. et al., In vivo digestibility of kleingrass from fecal nitrogen excretion. **Journal of Range Manage**, Colorado, v. 56, n. 1, p. 52-55, Jan, 2003.

FORBS, J.M. A model of the short-term control of feeding in the ruminant: effects of changing animal or feed characteristics. **Appetite**. v.1, n. 21–41. 1980.

GASPAR, A. **Física Séria Brasil**. Editora Ática. São Paulo, 2004. 495 p.

GELADI, P.; KOWALSKI, B. R., Partial Least-Squares Regression: A tutorial. **Analytica Chimica. Acta**, v. 185, p. 1 – 17, 1986.

GLASSER, T.; LANDAU, S. UNGAR, E. D.; PEREVOLOTSKY, E.; DVASH, L.; MUKLADA, H.; KABABYA, D.; WALKER, J. W. A fecal near-infrared reflectance spectroscopy-aided methodology to determine goat dietary composition in a Mediterranean shrubland. **Jornal Animal Science**. v. 86, p. 1345 – 1356, 2008.

GLADSTON, R. A. S. **Caracterização da vegetação e da dieta de ovinos em área de Caatinga no sertão de Pernambuco**. Tese de doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil, 2007.

GOOGLE. Google Earth. Versão 7.1.2.2041. 2013. Nota (Área experimental - Santa Maria – Rio Grande do Sul - Brasil). Disponível em: <<https://www.google.com/earth>>. Acesso em: 15/03/2015.

HAYDOCK, K.P.; SHAW, N.H. El metodo de rendimento comparativo para estimar rendimento de materia seca de pradarias. **Australian Journal of Exp. Agric. Husb.** v. 15, p. 663-670, 1975.

HENNEBERG, W.; F. STOHMANN. **Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer**. Vol. I i. Schwetsehtke u. Sohn, Braunschweig, 1864. p. 324.

KENNARD, R. W.; STONE, L. A. Computer Aided Design of Experiments. *Technometrics*. v. 11, n. 1, p. 137 – 148, 1969.

KOZLOSKI, G.V.; OLIVEIRA, L.; POLI, C.H.; AZEVEDO, E.B.; DAVID, D.B.; RIBEIRO FILHO, H.M.; COLLET, S.G.J Faecal nitrogen excretion as an approach to estimate forage intake of wethers. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 98, p.659 – 666, 2014.

KOZLOSKI, G. K. **Bioquímica dos ruminantes**. 3 ed. Ed. da UFSM. Santa Maria. 2011. 216p.

KOURTI, T.; MACGREGOR, J. F. Process analysis, monitoring and diagnosis, using multivariate projection methods. **Chemometrics Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, Holland, v. 28, p. 3-21, 1995.

LANDAU, S.; GIGER-REVERDIN, S.; RAPETTI, L.; DVASH, L.; DORLÉANS, M.; UNGAR, E. D. Data mining old digestibility trials for nutritional monitoring in confined goats with aids of fecal near infra-red spectrometry. *Small Ruminant Research*. v. 77, p. 146 – 158, 2008.

LANDAU, S.; GLASSER, T.; DVAHS, L.; PEREVOLOTSKY, A. Faecal NIRS to monitor the diet of Mediterranean goats. **South African Journal of Animal Science**. v. 34, p.76 – 80, 2004.

LANDAU, S.; GLASSER, T.; DVASH, L. Monitoring nutrition in small ruminants with the aid of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) technology: A review. **Small Ruminant Research**, v. 61, p. 1 – 11, 2006.

LANDAU, S; GIGER-REVERDIN, S.; RAPETTI, L.; DVASHA, L.; DORLÉANS, M.; UNGAR, E.D. Data mining old digestibility trials for nutritional monitoring in confined goats with aids of fecal near infrared spectrometry. **Small Ruminant Research**, v. 77, p. 146 – 158, 2008.

LEITE, E. R.; STUTH, J. W. Fecal NIRS equations to assess diet quality of free-ranging goats. *Small Ruminant Research*, v. 15, p. 223 – 230, 1995.

LI, H.; TOLLESON, D.; STUTH, J.; BAI, K.; MO, F.; KRONBERG, S. Faecal near infrared reflectance spectroscopy to predict diet quality for sheep. **Small Ruminant Research**, v. 68, p. 263 – 268, 2007.

LYONS, R.K. **Fecal indices of nutritional status of freeranging cattle using near infrared reflectance spectroscopy**. Ph.D. Dissertation. Texas A&M University, College Station, TX, USA, 1990.

LYONS, R.K.; STUTH, J.W. Fecal NIRS equations for predicting diet quality of free-ranging cattle. **Journal of Range Management**, v.45, n.3, p.238-244, 1992.

LYONS, R. K.; STUTH, J. W.; ANGERER, J. P.; Technical Note: Fecal NIRS equation field validation. **Journal of Range Management**, v. 48, p. 380 – 382, 1995.

MCCAFFERTY, P.B, KREBS, G.L., MAHIPALA, K., HO, K.H., DODS, K. **Utilising NIRS and DNA Technologies to Manage Rangeland Sustainability**. RIRDC Publication No. 11/003. Barton, Australia, 2001.

MERCHEN, N. R. Digestion, absorption and excretion in ruminants. In: D.C. CHURCH (Ed.) **The ruminant animal digestive physiology and nutrition**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, p.172-201, 1988.

MEHREZ, A.Z.; ØRSKOV, E.R. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v.88 n.4, p.645-665, 1977.

METROHM AG. A guide to near-infrared spectroscopic analysis of industrial manufacturing processes. Herisau, Suíça. 2013. 46 f.

NOCCHI, E.D. **Os efeitos da crise da lã no mercado internacional e os impactos sócio-econômicos no município de Santana do Livramento – RS– Brasil**. 2001. 71f. Dissertação (Mestrado em Integração e Cooperação Internacional) - Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.

NABINGER, C.; FERREIRA, E. T.; FREITAS, A. K. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C. **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília. Ministério do Meio Ambiente, cap. 13, p.175-198. 2009.

OLSON, K.C. Diet sample collection by esophageal fistula and rumen evacuation techniques. **Journal of Range Management**, v.44, n.5, p.515-519, 1991.

OTTAVIAN, M.; FRANCESCHIN, E.; SIGNORIN, E.; SEGATO, S.; BERZAGHI, P.; CONTIERO, B.; COZZI, G. Application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) on faecal samples from lactating dairy cows to assess two levels of concentrate supplementation during summer grazing in alpine pastures. **Animal Feed Science and Technology**. v. 202, p. 100 – 105. 2015.

PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Practical Aspects and Analytical Applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14 , n.2, p. 198-219, 2003.

PERIPOLLI, V.; PRATES, E. R.; BARCELLOS, J. O. J.; NETO, J. B. Faecal nitrogen to estimate intake and digestibility in grazing ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 163, p. 170-173, 2011.

SACCOL, A. G. F. **Produção de carne ovina em diferentes sistemas de alimentação**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, 2015.

SAUVANT, D., BAUMONT, R., FAVERDIN, P. Development of a mechanistic model of intake and chewing activities of sheep. **Journal of Animal Science**. v.74, p. 2785–2802. 1996.

SENGER, C.C.D. et. al. Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.146, p. 169 – 174, 2008.

SCHEFFER-BASSO, S. M. BARÉA, K. JACQUES A. V. A. Paspalum e Adesmia: importantes forrageiras dos Campos Sulinos. In: PILLAR, V. P. et al. (Ed.) **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. P.163-174.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

SILVERSTEIN, R.M.; WEBSTER, F.X. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**, 6a. Ed., LTC Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, 2000.

SOUSA, L. C.; GOMIDE, J. L.; MILAGRES, F. R.; ALMEIDA, D. P. Desenvolvimento de modelos de calibração NIRS para minimização das analyses de madeiras de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n.3, p.591-599, 2011.

SOUZA, D. M.; MADARI, B. E.; GUIMARÃES, F. F. Aplicação de técnicas multivariadas e inteligência artificial na análise de espectros de infravermelho para determinação de matéria orgânica em amostras de solos. **Química Nova**, v.35, n.9, p. 1738-1745, 2012.

THOMPSON, J.; MEYER, H. **Body condition scoring of sheep**. Corvallis: 1433, 1994. 4 p.

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **J. Br. Grassl. Soc.**, v.18, p.104-111, 1963.

TOLLESON, D. R.; SCHAFER, D. W. Application of fecal near-infrared spectroscopy and nutritional balance software to monitor diet quality and body condition in beef cows grazing Arizona rangeland. **Journal Animal Science**. v. 92, p. 349 – 358, 2014.

TONETTO, C. J.; PIRES, C. C.; MÜLLER, L.; ROCHA, M. G.; SILVA, J. H. S.; CARDOSO, A. R. NETO, D. P. Ganho de Peso e Características da Carcaça de Cordeiros Terminados em Pastagem Natural Suplementada, Pastagem Cultivada de Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e Confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 225 – 223, 2004.

TOTHILL, J. C. et al. BOTANAL - A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. 1. Field sampling. **Tropical Agronomy Technical Memorandum**, v.78, p.1-24. 1992.

VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. **Journal of Animal Science**, v.26, p.119-128, 1967.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. New York: Cornell University Press, 1994. 476p.

VIANA, J. G. A.; SOUZA, R. S. Comportamento dos preços dos produtos derivados da Ovinocultura no Rio Grande do Sul no período de 1973 a 2005. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 31, n. 1, p. 191-199, 2007.

VIANA, J. G. A.; SILVEIRA, V. C. P. Análise econômica da ovinocultura: estudo de caso na Metade Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n. 4, p. 1187-1192, 2009.

VIANA, J.G.A.; REVILLION, J.P.P.; SILVEIRA, V.C.P. Alternativa de estruturação da cadeia de valor da ovinocultura no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v.9, n.1, p. 187-210, 2013.

VICINI, L. **Análise multivariada: da teoria à prática**. 2005. 146 f. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VOGEL, A. I. **Análise Química Quantitativa**. 5 ed., Editora: Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro, 1992. . pág. 521-588.

WALKER, J. W.; CAMPBELL, E. S.; LUPTON, C. J.; TAYLOR, JR., C. A.; WALDRON, D. F.; LANDAU, S. Y. Effects of breed, sex, and age on the variation and ability of fecal near-infrared reflectance spectra to predict the composition of goat diets. **Journal Animal Science**, v. 85, p. 518 – 526, 2007.

WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; ST. PIERRE, N.R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, p.95-110, 1992.

## ANEXOS

### ANEXO 1 – CARTA DE APROVAÇÃO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS - UFSM



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS-UFSM**

#### **CARTA DE APROVAÇÃO**

A Comissão de Ética no Uso de Animais-UFSM, analisou o protocolo de pesquisa:

**Título do Projeto:** "Eletroscopia da refletância do infravermelho próximo das fezes para identificar status nutricional de ovinos em campo natural do Rio Grande do Sul e identificação da relação do grau de enchimento e esvaziamento ruminal com o consumo de pasto em ovinos."

**Número do Parecer:** 082/2014

**Pesquisador Responsável:** Prof. Dr. Gilberto Vilmar Kozloski

Este projeto foi **APROVADO** em seus aspectos éticos e metodológicos. Toda e qualquer alteração do Projeto, assim como os eventos adversos graves, deverão ser comunicados imediatamente a este Comitê.

**OBS:** Anualmente deve-se enviar à CEUA relatório parcial ou final deste projeto.

Os membros da CEUA-UFSM não participaram do processo de avaliação dos projetos onde constam como pesquisadores.

**DATA DE APROVAÇÃO:** 07/08/2014.

Santa Maria, 07 de Agosto de 2014.

Prof. Dr.ª Vania Lucia Loro  
Vice-coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais- UFSM

## ANEXO 2 – COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA NAS DUAS AVALIAÇÕES

<b>Avaliação outono/inverno</b>		
<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>% da massa total</b>
Poaceae	Erianthus angustifolius Nees	34,30
Poaceae	Paspalum notatum A. H. Liogier ex Flügge	27,44
Poaceae	Andropogon lateralis Nees	17,97
Poaceae	Paspalum pumilum Nees	4,81
Apiaceae	Eryngium horridum Malme	3,94
Poaceae	Axonopus affinis Chase	2,64
Poaceae	Paspalum urvillei Steud.	1,51
Poaceae	Eragrostis plana Nees	1,13
Apiaceae	Eryngium ciliatum Cham. & Schtdl.	0,89
Fabaceae	Desmodium incanum (Sw.) DC.	0,79
Cyperaceae	Cyperus brevifolius (Rottb.) Endl. ex Hassk.	0,75
Apiaceae	Centella asiatica (L.) Urb.	0,61
Rubiaceae	Richardia brasiliensis Gomes	0,50
Hypoxidaceae	Hypoxis decumbens L.	0,34
Poaceae	Dichanthelium sabulorum (Lam.) Gould & C.A. Clark	0,29
Poaceae	Panicum hians Elliott	0,22
Amaranthaceae	Pfaffia tuberosa Hicken	0,21
Asteraceae	Senecio selloi (Spreng.) DC.	0,19
Convolvulaceae	Dichondra sericea Sw.	0,19
Poaceae	Setaria geniculata Seibert ex Kunth	0,19
Rubiaceae	Relbunium richardianum (Gillies ex Hook. & Arn.) Hicken	0,18
Convolvulaceae	Dichondra macrocalyx Meisn.	0,16
Fabaceae	Eriosema campestre Benth.	0,12
Asteraceae	Elephantopus mollis Kunth	0,09
Malvaceae	Sida rhombifolia L.	0,07
Poaceae	(Coellorachis) Mnesithea selloana (Hack.) de Koning & Sosef	0,06
Poaceae	Briza subaristata Lam.	0,06
Fabaceae	Desmodium adscendens (Sw.) DC.	0,06
Melastomataceae	Tibouchina gracilis (Bonpl.) Cogn.	0,06
Poaceae	Paspalum plicatulum Michx.	0,04
Poaceae	Schizachyrium microstachyum (Desv. ex Ham.) Roseng., B.R. Arrill. & Izag.	0,04
Asteraceae	Baccharis trimera (Less.) DC.	0,04
<b>Avaliação primavera/verão</b>		
<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>% da massa total</b>
Poaceae	Andropogon lateralis Nees	25,41
Poaceae	Sorghastrum nutans (L.) Nash	17,98
Poaceae	Paspalum notatum A. H. Liogier ex Flügge	16,88
Poaceae	Eragrostis plana Nees	12,52

## ANEXO 2 – ... continuação

<b>Avaliação primavera/verão</b>		
<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>% da massa total</b>
Poaceae	<i>Axonopus affinis</i> Chase	6,45
Poaceae	<i>Erianthus angustifolius</i> Nees	3,97
Convolvulaceae	<i>Dichondra macrocalyx</i> Meisn.	2,97
Cyperaceae	<i>Fimbristylis diphylla</i> (Retz.) Vahl	2,34
Fabaceae	<i>Desmodium incanum</i> (Sw.) DC.	2,13
Poaceae	<i>Paspalum plicatum</i> Michx.	1,36
Apiaceae	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	1,16
Apiaceae	<i>Eryngium horridum</i> Malme	0,91
Hypoxidaceae	<i>Hypoxis decumbens</i> L.	0,60
Rubiaceae	<i>Relbunium richardianum</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Hicken	0,44
Poaceae	<i>Briza subaristata</i> Lam.	0,40
Poaceae	<i>Paspalum urvillei</i> Steud.	0,37
Cyperaceae	<i>Cyperus brevifolius</i> (Rottb.) Endl. ex Hassk.	0,35
Poaceae	<i>Aristida laevis</i> (Nees) Kunth	0,31
Asteraceae	<i>Orthopappus angustifolius</i> (Sw.) Gleason	0,31
Poaceae	<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) Parodi	0,29
Lythraceae	<i>Cuphea ingrata</i> Cham. & Schltldl.	0,24
Asteraceae	<i>Gamochaeta americana</i> (Mill.) Wedd.	0,24
Poaceae	<i>Dichanthelium sabulorum</i> (Lam.) Gould & C.A. Clark	0,23
Amaranthaceae	<i>Pfaffia tuberosa</i> Hicken	0,23
Melastomataceae	<i>Tibouchina gracilis</i> (Bonpl.) Cogn.	0,21
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i> sp. L.	0,21
Fabaceae	<i>Desmodium adscendens</i> (Sw.) DC.	0,19
Poaceae	( <i>Coellorachis</i> ) <i>Mnesithea selloana</i> (Hack.) de Koning & Sosef	0,18
Iridaceae	<i>Sisyrinchium laxum</i> Otto ex Sims	0,14
Poaceae	<i>Briza Uniolae</i>	0,13
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	0,11
Asteraceae	<i>Vernonia flexuosa</i> Sims	0,09
Asteraceae	<i>Aspilia montevidensis</i> (Spreng.) Kuntze	0,09
Poaceae	<i>Stenchisma hians</i>	0,07
Poaceae	<i>Panicum hians</i> Elliott	0,07
Lamiaceae	<i>Scutellaria racemosa</i> Pers.	0,06
Convolvulaceae	<i>Dichondra sericea</i> Sw.	0,06
Apiaceae	<i>Apium leptophyllum</i> (Pers.) F. Muell. ex Benth.	0,04
Asteraceae	<i>Chevreulia acuminata</i> Less.	0,03
Asteraceae	<i>Chaptalia sinuata</i> (DC.) Baker	0,03
Poaceae	<i>Setaria geniculata</i> Seibert ex Kunth	0,03
Poaceae	<i>Luziola Peruviana</i>	0,03