

A Nutritime Revista Eletrônica é uma publicação bimestral da Nutritime Ltda. Com o objetivo de divulgar revisões de literatura, artigos técnicos e científicos bem como resultados de pesquisa nas áreas de Ciência Animal, através do endereço eletrônico: <http://www.nutritime.com.br>. Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

RESUMO

A crescente demanda por tecnologias simples, rápidas e precisas para avaliação da qualidade da dieta e determinação do consumo de ruminantes em pastejo fez com que a espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo (NIRS) ganhasse espaço nestas avaliações. O NIRS se sobressai em relação às análises convencionais, pois estas são geralmente laboriosas, consomem muito tempo e com altos custos, além de gerar resíduos com grande potencial de poluição ambiental. A técnica NIRS fecal consiste no desenvolvimento de modelos de calibração através do uso de parâmetros estatísticos e matemáticos, os quais correlacionam as características espectrais das fezes (variáveis independentes) com os constituintes da qualidade da forragem (proteína, digestibilidade da matéria seca orgânica, fibra e outros) (variáveis dependentes) consumida pelo rebanho. Nesse contexto, esta revisão de literatura apresenta os principais conceitos relacionados aos fundamentos do NIRS para aplicação da técnica, bem como o uso do NIRS fecal para avaliação da digestibilidade e consumo de ruminantes a pasto e os procedimentos necessários para o desenvolvimento de modelos de calibração e validação.

Palavras-chave: forragem, ingestão, monitoramento nutricional, valor nutricional.

Utilização do NIRS na determinação dos parâmetros de digestibilidade e consumo em ruminantes

Forragem, ingestão, monitoramento nutricional, valor nutricional.

Juliete de Lima Gonçalves^{1*}

Antonio Marcos Ferreira Fernandes²

Rafael Teixeira de Sousa³

Sueli Freitas dos Santos⁴

¹Doutora em Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, Areia, Paraíba. *E-mail: julietegoncalves@gmail.com.

²Mestre em Zootecnia, Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA, Sobral, Ceará.

³Doutor em Nutrição e Produção Animal, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo-USP, Pirassununga, São Paulo.

⁴Doutora em Zootecnia, Universidade Federal do Ceará-UFC, Fortaleza, Ceará.

USE OF NIRS IN THE DETERMINATION OF DIGESTIBILITY AND CONSUMPTION PARAMETERS IN RUMINANTS

ABSTRACT

The increasing demand for simple, fast and accurate technologies for assessing the quality of the diet and determining the consumption of grazing ruminants caused the near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to gain space in these evaluations. The NIRS stands out from conventional analyzes, since they are generally laborious, time consuming and costly, and generate wastes with high potential for environmental pollution. The fecal NIRS technique consists of the development of calibration models through the use of statistical and mathematical parameters, which correlate the fecal spectral characteristics (independent variables) with the forage quality constituents (protein, organic dry matter digestibility, fiber and others) (dependent variables) consumed by the herd. In this context, this literature review presents the main concepts related to the NIRS fundamentals for the application of the technique, as well as the use of fecal NIRS to evaluate the digestibility and consumption of ruminants to pasture and the necessary procedures for the development of calibration models and validation.

Keyword: forage, intake, nutritional monitoring, nutritional value.

INTRODUÇÃO

Os alimentos que compõem a alimentação dos ruminantes representam a porção mais onerosa dentro de um sistema de produção. Levando em consideração, que grande parte dos sistemas de produção de ruminantes é feita a pasto, a variação nos aspectos quantitativos e/ou qualitativos do pasto, em decorrência da diversidade de climas, solos e disponibilidade de água podem influenciar a estacionalidade produtiva do rebanho (DEMINICS et al., 2009). Nas condições em que a forragem disponível não atende as exigências dos animais, é necessário buscar estratégias de suplementação para um melhor desempenho dos mesmos.

Quando os animais são submetidos a sistemas intensivos, o ajuste na alimentação é bem mais simples quando comparado com sistemas com animais em pastejo, já que nos confinamentos é possível se exercer o controle quantitativo e qualitativo da dieta fornecida. Em relação aos animais criados a pasto, há uma maior dificuldade em se estimar a qualidade e a quantidade da forragem selecionada e ingerida pelo animal, que associada ao consumo e às exigências nutricionais, serve de base para o balanceamento da dieta.

Portanto, existe a necessidade de se desenvolver metodologias que, de forma simples, rápida e econômica possam prever a qualidade e a quantidade da dieta selecionada por animais em pastejo. Com a estimativa da qualidade associada ao consumo da dieta selecionada, é possível definir os nutrientes limitantes na dieta dos animais e com isso corrigir os déficits nutricionais ao longo do ano, utilizando-se estratégias de suplementação.

Entre as técnicas já desenvolvidas destaca-se o uso da espectroscopia da reflectância na região do infravermelho próximo (NIRS). A técnica consiste na coleta dos espectros das amostras de fezes, com as quais se pode prever a composição química das dietas a partir do desenvolvimento de modelos de regressão.

O uso desta técnica traz várias vantagens, pois não destrói a amostra, não necessita de reagentes, é rápido e econômico, além de permitir vários parâmetros de análises, como proteína bruta (PB), digestibilidade da matéria orgânica (DMO), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e outros, em um único procedimento analítico (STUTH et al., 2003).

Com a possibilidade de aplicação nas mais diversas condições ecofisiográficas, a técnica NIRS pode constituir importante ferramenta para o incremento da produção de ruminantes para produção de carne, leite ou lã no Brasil. Neste contexto, esta revisão tem por objetivo apresentar e discutir a importância da utilização da técnica NIRS e a utilização desta, na determinação dos parâmetros de digestibilidade e consumo de ruminantes.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fundamentos e aplicação da técnica NIRS

Ao longo do tempo, muitos pesquisadores da área de nutrição animal têm reconhecido a importância da mensuração do valor nutritivo de plantas forrageiras na alimentação dos ruminantes, com o intuito de atender as suas exigências nutricionais.

A determinação do valor nutritivo da dieta de animais estabulados pode ser feita de forma direta, pois se tem o controle quantitativo e qualitativo dos alimentos oferecidos, diferentemente de animais a pasto, a qual esse controle não pode ser realizado. Algumas técnicas já são utilizadas para avaliação da qualidade da dieta selecionada pelos animais em pastejo, dentre as quais, destacam-se: gaiola de exclusão, pastejo simulado, uso de animais fistulados, n - alcanos e micro-histologia das fezes. Cada uma possui suas vantagens e desvantagens, cabendo ao pesquisador escolher aquela que está mais compatível com sua realidade e seus objetivos. Apesar de todos estes métodos, ainda há necessidade de uma técnica que possa determinar o valor nutricional do pasto de forma fácil, rápida, e precisa, pois, as metodologias citadas anteriormente

podem demandar muito tempo, o que seria inviável para tomada rápida e eficiente de decisões no campo.

O desenvolvimento de computadores associados com o uso de estatística multivariada e da quimiometria contribuíram para o uso da técnica NIRS. A espectroscopia NIR compreende a região do espectro eletromagnético que compreende a região de 780 a 2500 nm, o qual analisa substâncias orgânicas a partir da absorção de energia eletromagnética emitida, com comprimentos de ondas situadas na região do infravermelho próximo, que ao penetrar na amostra podem ser absorvidos por meio de ligações covalentes existentes entre os elementos presentes nos compostos orgânicos, que vibram em determinados comprimentos de onda (SKOOG et al., 2006). Com o estudo da quantidade e tipo de ligação covalente presente no material por meio das ondas eletromagnéticas é possível relacionar os espectros com os componentes químicos (BANSOD & THAKRE, 2014).

A técnica NIRS se fundamenta no desenvolvimento de modelos de regressão multivariada, onde se estuda correlações entre os espectros (variáveis independentes) e a dieta selecionada, a qual irá gerar os valores de referência (variáveis dependentes) (STUTH et al., 2003). A técnica NIRS é vantajosa por ser rápida e não requerer trabalho intensivo no processamento das amostras, permitindo a grande escala de amostragem, além de não demandar reagentes e não destruir as amostras (STUTH et al., 2003).

A determinação da qualidade da dieta através do NIRS pode ser feita pelo método direto ou indireto. O método direto consiste em coletar o espectro da dieta e fazer a análise química da mesma para ser usada como referência, enquanto o método indireto coleta-se os espectros das amostras fecais e realizam-se as análises químicas da dieta e, a partir dos espectros das fezes tenta-se prever a qualidade da dieta, tendo como base os valores de referência (WALKER & TOLLESON, 2010). Os espectros são utilizados para criar os dados de calibração e desenvolver os modelos de predição (SHENK & WESTERHAUS, 1996).

LYONS & STUTH (1992) e LEITE & STUTH (1995) foram os pioneiros na utilização do NIRS, determinando indiretamente a qualidade das dietas de bovinos e caprinos, respectivamente. Como suporte aos programas de suplementação alimentar, foi desenvolvido um *software* para análise do balanço nutricional das dietas de ruminantes, o *Nutritional Balance Analyzer* (NUTBAL) (STUTH, 1997). Utilizando as informações obtidas através das análises do NIRS fecal, o NUTBAL é empregado na determinação dos suplementos em déficit nas dietas, permitindo tomadas de decisão para a suplementação alimentar (STUTH, 1997).

Existem vários trabalhos (LEITE & STUTH, 1995; WALKER et al., 1998; COX et al., 2000; SHOWERS et al., 2006; GLASSER et al., 2008; FANCHONE et al., 2009; RUSSEL et al., 2012; GÁLVEZ-CERÓN et al., 2013; DECRUYENAERE et al., 2013; TOLLESON & SCHAFFER, 2014; LANDAU et al., 2016; GINDRI, 2016; JANCEWICZ et al., 2017; JOHNSON et al., 2017) conduzidos em diferentes locais e distintos ecossistemas, nos quais demonstrou-se a funcionalidade da utilização do NIRS na determinação da qualidade de dietas dos animais a pasto, a partir da coleta dos espectros das amostras de fezes. O NIRS tem sido utilizado também na análise de fatores anti-nutricionais nas forragens (WINDHAM et al., 1988.; ROBERTS et al., 1993) e composição botânica da dieta (GLASSER et al., 2012; JEAN et al., 2014; WALKER et al., 2015; NÚÑEZ-SÁNCHEZ et al., 2016).

Fatores que interferem na leitura do NIRS

Análises de referência

Bons resultados nas análises dos materiais que servirão de referência dependem de um procedimento adequado de sua amostragem. BURNS & CIURCZAK (2008) ressaltaram que as principais fontes de erros nas análises com o NIRS são com a seleção, preparação e as análises de referências das amostras. As amostras no momento da coleta devem abranger as mais diversas variações do alimento analisado, incluindo diferenças de locais, variedades, períodos do ano, para que assim possa conseguir um bom modelo de predição para o parâmetro analisado.

Vários fatores podem interferir no processo de amostragem, tais como o recolhimento da amostra, tipo de material, a quantidade, o tamanho da partícula da amostra, densidade, embalagem e mistura da amostra. Amostragens pobres podem levar a distorções espectrais que podem gerar dificuldades na interpretação (COATES, 1998). Segundo BURNS & CIURCZAK (2008), a redução da umidade e a padronização do tamanho de partículas são fatores que influenciam na leitura dos espectros, interferindo diretamente nos resultados das calibrações. A presença de um elevado teor de água nas amostras úmidas pode limitar a utilização do NIRS, uma vez que existem fortes bandas de absorção no espectro causadas pela água em certas regiões espectrais (LÓPEZ et al., 2013). Contudo, o NIRS tem sido usado com sucesso em uma ampla variedade de produtos (XU et al., 2012; FAN et al., 2016; TORRES et al., 2017) com alto teor de umidade.

COATES (1998) também observou que altas temperaturas em amostras de fezes podem ocorrer reações de maillard e podem afetar a leitura pelo NIRS. Somada a isto, os instrumentos utilizados também podem induzir a erros, como é o caso do uso da célula utilizada no equipamento NIRS, a qual deve ser fácil de ser preenchida com amostra sem provocar estratificação, fácil de limpar e fornecer quantidade suficiente para promover uma boa reflectância. A irradiação irá penetrar cerca de dois milímetros do material, portanto ao colocar amostra na célula ela deve ser bem compactada para evitar espectros completamente dispersos (WILLIAMS, 2005).

É importante enfatizar que a análise química é de extrema importância para o desempenho dos modelos, sendo necessários todos os cuidados para reduzir os erros do laboratório. Segundo Cozzolino et al. (2009) o erro associado ao método de referência deve ser conhecido, mas, no entanto, muitas vezes este é ignorado.

Amostragens das dietas dos animais a pasto

Existem vários métodos que podem ser utilizados para representar a dieta selecionada pelo animal. A dieta pode ser obtida pelo corte da forragem, uso de

animais fistulados e através do pastejo simulado. Cada técnica possui suas vantagens e desvantagens.

A técnica que consiste no corte da forragem possui as vantagens de exigir pouco equipamento, não necessita de animais fistulados, não tem contaminação salivar. No entanto, acredita-se que os animais têm a capacidade de selecionar as plantas forrageiras com qualidade superior daquela disponível no pasto (LESPERANCE et al., 1974).

Os animais fistulados no rúmen ou com fístulas esofágicas têm sido amplamente utilizados para obter amostras de forragem mais precisas que representem o real consumido pelos animais (HOLECHECK et al., 1982). No entanto, THEURER (1970) ressalta que o uso de animais fistulados pode implicar em perdas de material durante a coleta, alterações na fisiologia do animal que possam afetar o consumo dos mesmos e a contaminação salivar e ruminal. Apesar deste problema, o uso desta técnica é usado por representar melhor o que o animal ingeriu quando comparadas com as amostras que são colhidas da disponibilidade de forragem (THEURER et al., 1976.; KARTCHNER & CAMPBELL, 1979).

A recuperação incompleta da amostra no esôfago está relacionada com o tamanho da abertura da fístula (BLACKSTONE et al., 1965). MCLNNIS (1977) e LESPÉRANCE et al. (1974) verificaram que amostras recolhidas no esôfago, foram mais representativas do que aquelas recolhidas no rúmen, porém a fístula no rúmen é estabelecida mais facilmente.

Estudos têm mostrado que a contaminação salivar aumenta o teor de cinzas nas forragens, chegando de 1 a 4% esse aumento (LESPÉRANCE et al., 1974). Amostras retiradas de fístulas apresentaram maior teor de fibra e lignina, enquanto os carboidratos solúveis tiveram menor concentração (RICE, 1970, LESPÉRANCE et al., 1974), embora LASCANO et al. (1970) não tenha encontrado diferença para fibra em detergente ácido e lignina em amostras de fístula esofágica. CUNDY & RICE (1968) verificaram que a digestibilidade *in vitro* da

matéria seca (DIVMS) de amostras de fístula esofágica apresentaram-se inferior quando foi oferecida feno de alfafa e silagem de alfafa para novilhos. Os mesmos ressaltaram que a digestibilidade das amostras antes das coletas foram de 60% contra 49% posterior a coleta dos animais fistulados. LYONS et al. (1995) trabalharam com bovinos e observaram que houve uma variação maior do que a prevista pelo uso da técnica do NIRS fecal para PB e DMO quando se trabalhou com bovinos fistulados.

Outra técnica utilizada é do pastejo simulado, que consiste na observação dos animais e coleta da forragem selecionada pelo animal. A desvantagem é quando se tem uma diversidade de espécies forrageiras, onde há uma complexidade para o observador em saber que espécies o animal está selecionando e em que quantidade. A vantagem é que não tem contaminação salivar, não necessita de animais fistulados. GLASSER et al. (2008) conduziram um estudo em Israel onde utilizaram o NIRS fecal para determinação da qualidade da dieta de cabras, utilizando como meio de coleta da dieta, o pastejo simulado.

Desenvolvimento dos modelos - calibração

As informações contidas nos espectros gerados pelo NIRS são complexas, sendo difícil a percepção das diferenças espectrais entre as amostras quando vistas a olho nu. Assim, a quimiometria utiliza recursos matemáticos e estatísticos em dados químicos para extrair informações analíticas, de natureza multivariada, construindo a classificação de modelos de previsão e melhorando a precisão e robustez dos modelos (LOHUMI et al., 2015).

No momento da calibração com as amostras coletadas, estas devem abranger todas as variações possíveis daquele material. LYONS et al. (1995) ressaltam que é necessário ter cautela ao adotar um modelo de predição para avaliar a qualidade nutricional da dieta, caso as suas amostra sejam muito diferentes daquelas usadas na calibração. Segundo COLEMAN et al. (1999), os modelos gerados não podem ser utilizados além das condições representadas em amostras de calibração.

A dificuldade em se fazer o monitoramento dos modelos de calibração está na necessidade de um grande banco de dados, onde contenha uma variação das amostras, quanto a: variedades, diferentes locais, diferentes estágios de crescimento, práticas de irrigação. Conforme COZZOLINO et al. (2003), não existe um número mínimo definido de amostras necessárias para o desenvolvimento de um modelo de calibração, mas a quantidade irá depender do componente, ou parâmetro, o qual se deseja prever e a natureza do produto a ser avaliado. Estes ainda devem ser representativos da população, para que no futuro possam ser analisados pelo modelo.

Ademais, COATES (1998) preconiza que os pares de dieta e fezes devem ser verdadeiramente representados pela dieta consumida pelo animal e as fezes relacionadas com as amostras da dieta. Para utilizar a técnica NIRS fecal é necessário se ter pares de espectros fecais com as análises de referência dos nutrientes, sendo primordial a qualidade destas informações para que se tenham boas calibrações (Showers et al., 2006).

A qualidade das calibrações é avaliada em termos de linearidade que é determinada pelo coeficiente de determinação e pela precisão (WALKER & TOLLESON, 2010). O erro de calibração (SEC) representa a variação através da diferença entre os valores preditos e os valores de referência, a partir do modelo desenvolvido (LANDAU et al., 2005). WILLIAM (2005) resalta que o método de referência é usado para avaliar o modelo de calibração, através do monitoramento de análises subsequentes. LANDAU et al. (2005) trabalharam com cabras confinadas e encontraram o coeficiente de determinação maior que 0,94. Os erros de valores de referências laboratoriais foram de 0,50 e 1,82 para PB, DMO, respectivamente. De tempos em tempos, novas amostras podem ser adicionadas para estender o modelo de calibração.

O NIRS pode ser usado com sucesso para estimar qualidade da dieta sob condições de pastejo apenas se uma grande base de dados envolvendo amostras fecais, das quais os espectros são coletados, contra uma vasta matriz de composição de dietas que serão

utilizadas como valores de referência, que são determinados por meio de análise tradicional para desenvolver um modelo de regressão multivariada que pode então ser usada para estimar o valor nutricional de amostras similares.

Validação e monitoramento

A validação é um método utilizado para prever amostras desconhecidas, não inclusas no banco de amostras da calibração. Existem alguns tipos de validação: a validação *leave-one-out* e a *multiford*, também conhecidas como validações cruzadas, a validação interna e a independente.

Na validação cruzada definida de *“leave-one-out”* uma amostra é removida do conjunto de dados e um modelo de calibração é desenvolvido para o subconjunto restante. As amostras retiradas são então usadas para calcular o residual de predição, enquanto no *multiford*, segue o mesmo princípio da primeira, mas ao invés de retirar apenas uma amostra, é retirado um número definido de amostras (Naes et al., 2002). Conforme Agelet & Hurburgh Jr. (2014) a validação cruzada só deve ser utilizada quando o número de amostras for um fator limitante.

Na validação interna, o conjunto de dados é dividido em dois, sendo um o conjunto de calibração e o outro a validação. Para um conjunto de 100 amostras, 70 a 90% podem ser usados para a calibração, enquanto 10-30% restante pode ser utilizado para a validação (Cozzolino, 2002). A validação independente é mais indicada e esta compreende o conjunto de amostras, como o próprio nome já diz independente, ou seja, coletadas de outros locais, anos, períodos, lotes (Dardenne, 2010).

LANDAU et al. (2016) desenvolveram calibrações para composição química das fezes usando vacas de corte em pastagens do Mediterrâneo alimentadas com 153 dietas de forragem e suplementadas, e validaram usando amostras coletadas de estudos a campo. Os mesmos obtiveram nos modelos de calibração para os parâmetros de cinzas, FDN, FDA, Lignina e PB, R^2 de 0,94; 0,91; 0,87; 0,81 e 0,96 e de validação cruzada de 0,94; 0,84; 0,79; 0,70 e 0,95, respectivamente, com erros de calibração e

validação variando de 5,0 g/kg da matéria seca (MS) para PB até 21 para FDN, mostrando que o desenvolvimento das calibrações usando bovinos confinados pode ser usado para prever a dieta de bovinos em pastejo. NÚÑES SÁNCHEZ et al. (2016) trabalharam na Espanha com ovinos, os quais fizeram misturas de 16 dietas usando várias combinações de ingredientes com forragens e concentrados. Os mesmos obtiveram R^2 de 0,93, 0,89, 0,80 e 0,95 para os parâmetros de cinzas, PB, EE e FDN, respectivamente.

SHOWERS et al. (2006) ressaltam que a robustez das calibrações são fundamentais para um procedimento de validação adequada. Isso foi confirmado por LEITE & STUTH (1995), os quais relataram que modelos desenvolvidos com a técnica NIRS fecal em dietas para cabras para estimar PB e DMO na região de Savana no Texas foram estendidos para condições no sul do Texas devido à robustez do banco de dados.

O modelo de calibração e validação precisam ter seus resultados interpretados. Alguns parâmetros são utilizados como indicadores de desempenho dos modelos, tais como: raiz quadrada do erro médio para a calibração (RMSEC), validação cruzada (RMSECV) ou o erro do quadrado médio para a previsão (RMSEP) quando se utiliza validação externa (WALSH & KAWANO, 2009). Somado a estes, tem-se a avaliação do coeficiente de correlação (R^2), *Bias* e relação do desempenho do desvio - RPD.

Com o tempo é necessário se fazer o monitoramento destes modelos desenvolvidos. Para isso devem-se fazer análises químicas em laboratórios, em intervalos regulares para verificar as amostras (WALKER & TOLLESON, 2010). Caso, o modelo validado apresente baixa precisão e/ou exatidão, pode-se fazer a adição de novas amostras, aumentando suas variações e melhorando as predições dos parâmetros relacionados à qualidade das dietas dos animais.

Determinação da digestibilidade da dieta de ruminantes, utilizando o NIRS

A digestibilidade da dieta, do animal, pode apresentar

o valor nutritivo e a mesma tem forte influência sobre os níveis de ingestão nos ruminantes (STUTH et al., 2003). Por mais de 25 anos, a tecnologia NIRS tem sido utilizada em análises para determinar a digestibilidade de forragens (WILLIAMS, 2005). DOVE (2010) ressalta que quantificar o que o animal ingeriu no pasto é muito difícil quando comparados com animais confinados.

As calibrações feitas para digestibilidade envolvem tanto métodos de digestibilidade *in vivo* como *in vitro* como dados de referência. Quando se trabalha com métodos de referência como digestibilidade *in vitro* ou *in vivo* deve-se trabalhar com várias amostras para que possa abranger todas as variações decorrentes da seleção feita pelos animais (STUTH et al., 2003). COATES (1998) em avaliação entre a determinação da digestibilidade *in vitro* ou *in vivo*, encontrou melhor correlação para digestibilidade *in vitro* ($R^2 - 0,97$) em relação a *in vivo* ($R^2 - 0,89$), sugerindo o fato da digestibilidade *in vivo* estar incorporando a variação dos animais, resultando em maior interferência na leitura pelo NIRS.

PURNOMOADI et al. (1996) trabalharam com o NIRS fecal para determinação da composição e estimativa da determinação da digestibilidade de dietas contendo forragens e concentrados, os quais relataram que a digestibilidade *in vivo* é a melhor técnica usada para determinar a digestibilidade de um alimento, porém esta pode sofrer variações em decorrência do estado do animal e as variações entre eles, além de ser um método mais caro e laborioso. Os mesmos encontraram um método alternativo, o qual utiliza a lignina como indicador e associado com a qualidade da dieta, esse pode estimar a digestibilidade através do NIRS. FANCHONE et al. (2009) ressaltam que a DMO é uma das características mais importantes para determinar a qualidade nutricional de um alimento e que animais a pasto não se pode determinar a DMO diretamente como animais confinados, nos quais se faz a medida direta através das medidas quantitativas da diferença entre a forragem ingerida e a excreção de fezes

LANDAU et al. (2008) trabalharam com cabras no mediterrâneo encontraram o valor de DMS de 67,5%. No entanto, o R^2 encontrado para DIVMS

para arbustos foram muito baixos ($R^2 - 0,50$). COX et al. (2000) trabalharam com ovinos no nordeste e

obtiveram resultados para DIVMO entre 14,7 e 44,77%, com uma média de 30,07% na pastagem nativa, com um R^2 de 0,85 e erro de calibração de 3,57. Já TOLLESON et al. (2006) encontraram valores de R^2 de calibração para DMO de 0,80, enquanto SHOWERS et al. (2006) encontraram um R^2 de 0,77 para DMO indicando uma forte relação entre os espectros do NIRS e a medida de digestibilidade da dieta. Essa baixa correlação pode ter ocorrido pela mudança na composição do pasto ao longo do ano e a capacidade de seleção dos animais em pastejo.

FANCHONE et al. (2009) encontraram fortes relações entre a PB ligada a fração da fibra com as estimativas de digestibilidade feita pelo NIRS, indicando que é necessário melhorar a capacidade de predição da DMO, melhorando a calibração do aparelho. Se estes estudos comprovam a relação entre a DMO e PB ligada à fibra, deve-se concordar que essa proteína não digerida pode afetar negativamente essa relação. Os mesmos autores, fazendo uma calibração abrangendo as variações dos animais em relação a ensaios *in vivo*, na determinação da digestibilidade e os estágio de rebrota da planta, teve como resultado, uma maior precisão e confiabilidade na determinação da DMO através do NIRS. O principal entrave do uso da técnica é a dificuldade na obtenção de amostra suficiente, com valores medidos *in vivo*, para desenvolver os modelos de calibração.

DECRUYENAERE et al. (2012) compararam o uso do NIRS fecal com o nitrogênio fecal para estimativa da DMO de vacas leiteiras em pastejo e suplementadas com concentrado e verificaram que o NIRS fecal apresentou menores valores de DMO quando comparados com os índices de nitrogênio fecal, justificando estas diferenças nos valores das análises de laboratório feita nas amostragens coletadas e o que foi consumido pelos animais. Os mesmos observaram a variação inter-animal e a evolução da qualidade da pastagem, onde os resultados de DMO reduziram à medida que os animais passaram mais tempo no piquete, sendo essa diferenciação verificada pelo NIRS fecal em

vacas em sistemas rotativos. JONHSON et al. (2017), trabalharam com bovinos em crescimento confinados e obtiveram R^2 de calibração de 0,87 para DMS e para validação cruzada de 0,82.

KNEEBONE & DRYDEN (2015) avaliaram a capacidade das equações desenvolvidas de material fecal por análise química convencional e pelo NIRS fecal para prever a digestibilidade de forragens fornecidas no cocho aos ovinos com e sem suplementação e obtiveram o R^2 para DMS e DMO utilizando o NIRS fecal de 0,86 e 0,85, respectivamente, além de baixos erros de calibração e validação. Já para as equações usando análises químicas, obteve-se R^2 de 0,55 e 0,53. Os dois métodos conseguiram prever o uso ou não de concentrado na dieta, sendo que o NIRS fecal obteve maior precisão quando comparados com análises químicas.

De acordo com COLEMAN et al. (1989) os modelos NIRS fecal não podem ser extrapoladas para além das condições representadas nas amostras de calibração. NAES et al. (2002) ainda ressaltam que o uso de um conjunto de dados para validação é um pré-requisito para justificar o uso do NIRS fecal na previsão da composição da dieta.

Mensuração do consumo pelo NIRS

A determinação da quantidade de forragem consumida pelos animais e a qualidade do pasto são parâmetros complexos de serem determinados, pois as técnicas desenvolvidas para medir o consumo e a qualidade da dieta envolvem muitas etapas, várias fontes de variação, custos com reagentes, além de às vezes apresentar baixa precisão e exatidão (COLEMAN et al., 2005). A máxima ingestão de nutrientes ocorre sob condições ideais e quando as necessidades nutricionais são atendidas, sensores anatômicos enviam um sinal ao cérebro, indicando o estado de saciedade (VAN SOEST, 1994).

A qualidade da forragem tem sido considerada de suma importância nos últimos 40 anos, como um produto de digestibilidade e consumo, dos quais o consumo é o mais importante (FAHEY & HUSSEIN, 1999). Segundo ULYATT & MCNABB (1999), enquanto nas pastagens temperadas, o consumo voluntário é limitado pelo teor de energia, nas pas-

tagens tropicais, o consumo é limitado pelos teores de proteína e energia que são geralmente muito baixos e variáveis no decorrer do ano.

Associada à qualidade da forragem, o consumo de forragem é muito importante para um bom desempenho dos animais em pastejo. CARVALHO et al. (2007) ressaltam que esse consumo pode ser influenciado por fatores associados ao animal, pasto, ao ambiente e suas interações. Os mesmos enfatizam que o consumo dos animais a pasto não podem ser determinados diretamente, fazendo que diversas metodologias fossem desenvolvidas com o intuito de determinar com melhor precisão esse parâmetro. Dentre estas técnicas utilizadas hoje, para prever a quantidade de forragem ingerida pelo animal, o uso do NIRS vem ganhando destaque.

Os primeiros trabalhos de NORRIS et al. (1976) demonstraram que a utilização do NIRS pode ser usado para estimar a composição das forragens, mas também para estimar o consumo e a digestibilidade, assim como COLEMAN et al. (1999), os quais também utilizaram o NIRS para previsão do consumo e digestibilidade.

Alguns marcadores externos, tais como a LIPE e os alcanos são utilizados para determinar o consumo e serem utilizados durante o processo de calibração com o NIRS, porém FONTANELI & FONTANELI (2007) relatam que a utilização dos marcadores associados com o uso do NIRS para determinar consumo é um pouco difícil por requerer um grande número de amostras e homogeneidade em sua constituição química. WALKER & TOLLESON (2010) corroboram com esta afirmação, justificando esta complexidade em razão das características intrínsecas dos alimentos e a variedade de seleção feita pelos animais. No entanto, os mesmos ressaltam que o erro residual para os modelos com o NIRS foi em média de 10% do consumo real, semelhante a outros resultados, resultantes de dados de análises químicas e através da observação de comportamento de mastigação.

COATES (1998) desenvolveu modelos de predição de ingestão através do NIRS, obtendo um R^2 de 0,79, superior ao encontrado por LYONS (1990) que encontraram um R^2 de 0,67. O mesmo não obteve

sucesso na predição de consumo pela análise do NIRS fecal utilizando o marcador acetato de itérbio. No entanto, FLINN et al. (1992) encontraram bons resultados quando fizeram a calibração utilizando os alcanos como marcadores. PARK et al. (1997) ressaltam que o NIRS tem sido utilizado em vários trabalhos para predizer a ingestão de forragens frescas e secas. No trabalho de NORRIS et al. (1976), encontraram um valor de R^2 de 0,62 para predição da ingestão de feno por ovelhas, enquanto WARD et al. (1982) trabalhando com forragens frescas relataram um consumo de MO de 52,6 a 112,3 g/Kg de $P^{0,75}$, encontrando um R^2 de 0,72.

WALKER & TOLLESON (2010) sugeriu uma diferença entre o previsto e os observados para dados de consumo devem ser de 10% da média. Essa sugestão está sendo confirmada nos trabalhos já realizados com a determinação desse parâmetro. COLEMAN et al. (2005) ressaltam que o consumo deve ser determinado pelo uso de marcadores internos ou externos, ou pelo uso da técnica de pré e pós pastejo para serem utilizados como dados de referência e serem utilizados para calibração do NIRS. GINDRI (2016) avaliou o desenvolvimento de modelos para o consumo de matéria orgânica e observou um menor desempenho dos modelos para consumo quando comparados aos modelos de determinação da qualidade da dieta. No entanto, o mesmo enfatiza que os modelos para determinação de consumo podem ser considerados acurados, em razão da complexidade do parâmetro de consumo em sistemas extensivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Uso da técnica de Espectroscopia e Reflectância do Infravermelho Próximo (NIRS) para a predição da qualidade de dietas e para estimativas de consumo, tanto de animais em confinamento como animais a pasto está sendo amplamente utilizado e trazendo bons resultados. Com a estimativa da qualidade nutricional e as variações nutricionais que ocorrem de acordo com a época do ano e o estágio da planta, associado ao consumo é possível estimar os déficits nutricionais dos animais ao longo do ano, que associados com as suas exigências nutricionais, pode-se corrigir esses déficits a partir de suplementações em épocas estratégicas.

Conseqüentemente, com o uso da técnica NIRS fecal, como ferramenta de monitoramento nutricional espera-se incrementar, de forma racional e econômica, a produção de ruminantes no Brasil, tornando a atividade pecuarista mais competitiva no âmbito do agronegócio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGELET, L. E.; HURBURGH JR, C. R. A tutorial on near infrared spectroscopy and its calibration. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v.40, p.246-260, 2010.
- BANSOD, S. J.; THAKRE, S. Near infrared spectroscopy based soil nitrogen measurement - A Review. **International Journal of Current Engineering and Technology**, v.4, n.1, p.269-272, 2014.
- BLACKSTONE, J. B.; RICE, R. W.; JOHNSON, W. M. A study of the esophageal fistula sampling technique. **Proceedings, Western Section American Society of Animal Science**, v.16, n.75, 1965.
- BURNS, D. A.; CIURCZAK, E. W. **Handbook of Near-Infrared Analysis**. ed.3, p.1-800, 2008.
- CARVALHO, P. C. F.; KOZLOSKI, G. V.; RIBEIRO FILHO, H. M. N.; REFFATTI, M. V.; GENRO, T. C. M.; EUCLIDES, V. P. B. Avanços metodológicos na determinação do consumo de ruminantes em pastejo. **Revista brasileira de Zootecnia**, v.36, p.151-170, 2007.
- COATES, D. B. **Predicting diet digestibility and crude protein content from the faeces of grazing cattle**. Final Report of project CS.253, CSIRO, Townsville, Australia, 1998.
- COLEMAN, S. W.; STUTH, J. W.; HOLLOWAY, J. W. **Monitoring the nutrition of grazing cattle with near-infrared analysis of feces**. Proceedings of the XVI International Grassland Congress, Nice, France. 1989. p.881-882.
- COLEMAN, S. W.; LIPPKE, H.; GILL, M. Estimating the nutritive potential of forages. In: JUNG, H. G.; FAHEY J. R.; G. C. (Eds.). **Nutritional Ecology of Herbivores**. In: Proceedings of the V International Symposium on Nutrient Herbivores, San Antonio, TX. 1999. p.647-695.
- COLEMAN, W. **Predicting forage intake by grazing ruminants**. In: Ruminant Nutrition Symposium, Brooksville. 2005. p.72-90.

- COX, M.; VASCONCELOS, V. R.; LEITE, E. R. Utilização da técnica da espectroscopia e reflectância do infravermelho próximo (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.
- COZZOLINO, D.; BARLOCCO, N.; VADELL, A.; BALLESTEROS, F.; GALLIETA, G. The use of visible and near-infrared reflectance spectroscopy to predict colour on both intact and homogenised pork muscle. **LWT - Food Science and Technology**, v.36, n.2, p.195-202, 2003.
- COZZOLINO, D.; CYNKAR, W. U.; SHAH, N.; DAMBERGS, R. G.; SMITH, P. A. A brief introduction to multivariate methods in grape and wine analysis. **International Journal of Wine Research**, v.1, p.123-130, 2009.
- CUNDY, D. R.; RICE, R. W. Salivary contamination by esophageal collection with steers. **Proceedings, Western Section American Society of Animal Science**, v.19, n.49, 1968.
- DARDENNE, P. Some considerations about NIR spectroscopy: Closing speech at NIR-2009. **NIR News**, v.21, p.8-14, 2010.
- 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 Technology**, v.173, p.220-234, 2012.
- DECRUYENAERE, V.; PLANCHON, V.; DARDENNE, P.; STILMANT, D. Evaluation of the repeatability of near infrared reflectance spectroscopy applied to faeces for predicting diet characteristics of grazing ruminants. In: ICNIRS. 2013. p.1-5.
- DEMNICIS, B. B.; ARAÚJO, S. A.; JARDIM, J.G. Nutrição e alimentação de ovinos e caprinos: visão geral e análise econômica. **A lavoura**, v.112, n.675, p.29-34, 2009.
- DOVE, H. Balancing nutrient supply and nutrient requirements in grazing sheep. **Journal Small Ruminant Research**. v.92, p.36-40, 2010.
- FAHEY, G. C.; HUSSEIN, H. S. Forty years of forage quality research: accomplishments and impact from an animal nutrition perspective. **Crop Science**, v.39, n.1, p.4-12, 1999.
- FAN, S.; ZHANG, B.; LI, J.; HUANG, W.; WANG, C. Effect of spectrum measurement position variation on the robustness of NIR spectroscopy models for soluble solids content of apple. **Biosystems engineering**, v.143, p.9-19, 2016.
- 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 of Animal Science**, v.87, p.236-243, 2009.
- FLINN, P. C.; WINDHAM, W. R.; DOVE, H. Pasture intake by grazing sheep estimated using natural and dosed n-alkanes – A place for NIR. In: HILDRUM, K. I.; ISAKSSON, T.; NAES, T.; TANDBERG, A (Eds.). **Near infrared spectroscopy: bridging the gap between data analysis and NIR applications**. London, United Kingdom: Ellis Horwood. p.173-178, 1992.
- FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S. Uso e abuso da espectroscopia no infravermelho (NIRS). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL AVANÇOS EM TÉCNICAS DE PESQUISA EM NUTRIÇÃO DE RUMINANTES, 2007, Pirassununga. **Anais...**, Pirassununga, 2007. p.160-193.
- GÁLVEZ-CERÓN, A.; SERRANO, E.; BARTOLOMÉ, J.; MENTABERRE, G.; FERNÁNDEZ-AGUILAR, X.; FERNÁNDEZ-SIRERA, L.; NAVARRO-GONZÁLEZ, N.; GASSO, D.; LÓPEZ-OLVERA, J. R.; LAVÍN, S.; MARCO, I.; ALBANELL, E. Predicting seasonal and spatial variations in diet quality of Pyrenean chamois (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) using near infrared reflectance spectroscopy. **European Journal of Wildlife Research**, v.121, p.59-115, 2013.
- GINDRI, M. **Uso do NIRS como ferramenta de diagnóstico nutricional de ovinos mantidos em pastagem natural**. 2016. 77.f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2016.
- GLASSER, T.; LANDAU, S.; UNGAR, E.D.; PEREVOLOTSKY, A.; DVASH, L.; MUKLADA, H.; KABABVA, D.; WALKER, J. W. A fecal near-infrared reflectance spectroscopy-aided methodology to determine goat dietary composition in a Mediterranean shrubland. **Journal of Animal Science**, v.86, n.6, p.1345-1356, 2008.
- GLASSER, T.; LANDAU, S.; UNGAR, E.D.; PEREVOLOTSKY, A.; DVASH, L.; MUKLADA, H.;

- KABABVA, D.; WALKER, J. W. Foraging selectivity of three goat breeds in a Mediterranean shrubland. **Small Ruminant Research**, v.102, n.1, p.7-12, 2012.
- HOLECHEK, J.L.; SHENK, J.S.; VAVRA, M.; ARTHUN, D. Prediction of forage quality using near infrared reflectance spectroscopy on esophageal fistula samples from cattle on mountain range. **Journal Animal Science**, v.55, n.4, p.971-975, 1982.
- JANCEWICZ, L. J.; PENNER, G. B.; SWIFT, M. L.; WALDNER, C. L.; KOENIG, K. M.; BEAUCHEMIN, K. A.; MCALLISTER, T. A. Predicting fecal nutrient concentrations and digestibilities and growth performance in feedlot cattle by near-infrared spectroscopy. **Journal Animal Science**, v.95, n.1, p.455-474, 2017.
- JEAN, P. O.; BRADLEY, R. L.; GIROUX, M. A.; TREMBLAY, J. P.; CÔTE, D. S. Near Infrared Spectroscopy and Fecal Chemistry as Predictors of the Diet Composition of White-Tailed Deer. **Rangeland Ecology & Management**, v.67, n.2, p.154-159, 2014.
- JOHNSON, J. R.; CARSTENS, G. E.; PRINCE, S. D.; OMINSKI, K. H.; WITTENBERG, K. M.; UNDI, M.; FORBES, T. D.; HAFLA, A. N.; TOLLESON, D. R.; BASARAB, J. A. Application of fecal near-infrared reflectance spectroscopy profiling for the prediction of diet nutritional characteristics and voluntary intake in beef cattle. **Journal Animal Science**, v.95, n.1, p.447-454, 2017.
- KARTCHNER, R. J.; CAMPBELL, C. M. **Intake and digestibility of range forages consumed by livestock**. Montana Agr. Exp. Sta. and USDA, SEAAR Bull. 1979, 718p.
- KNEEBONE, D. G.; DRYDEN, A. B. D. Prediction of diet quality for sheep from faecal characteristics: comparison of near-infrared spectroscopy and conventional chemistry predictive models. **Animal Production Science**, v.55, p.1-10, 2015.
- LANDAU, S.; GLASSER, T.; MUKLADA, H.; DVASH, L.; PEREVOLOTSKY, A.; UNGAR, E. D. Fecal NIRS prediction of dietary protein percentage and in vitro dry matter digestibility in diets ingested by goats in Mediterranean scrubland. **Small Ruminant Research**, v.59, n.2-3, p.251-263, 2005.
- LANDAU S.; REVERDIN, S. G.; 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, n.2-3, p.146-158, 2008.
- LANDAU, S.Y.; DVASH, L.; ROUDMAN, M.; MUKLADA, H.; BARKAI, D.; YEHUDA, Y.; UNGAR, E. D. Faecal near-IR spectroscopy to determine the nutritional value of diets consumed by beef cattle in east Mediterranean rangelands. **Animal**, v.10, n.2, p.192-202, 2016.
- LASCANO, C. E.; THEURER, B.; PEARSON, H. A.; HALE, W. H. FactorS influencing fiber and lignin content of rumen fistula forage. **Proceedings, Western Section American Society of Animal Science**, v.21, p.87-92, 1970.
- 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.
- LESPERANCE, A. L.; CLANTON, D. C.; NELSON, A. B.; THEURER, C. B. **Factors affecting the apparent chemical composition of fistula samples**. Universidade de Nevada Agr. Exp. Sta. Bull. 1974. LOHUMI, S.; LEE, S.; LEE, H.; CHO, B. K. A review of vibrational spectroscopic techniques for the detection of food authenticity and adulteration. **Trends Food Science Technology**, v.46, n.1, p.85-98, 2015.
- LÓPEZ, A.; ARAZURI, S.; GARCÍA, I.; MANGADO, J.; JARÉN, C. A Review of the Application of Near-Infrared Spectroscopy for the Analysis of Potatoes. **Agricultural Food Chemistry**, v.61, n.23, p.5413-5424, 2013.
- LYONS, R. K., **Fecal indices of nutritional status of free ranging 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, 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.
- MCLNNIS, M. L. **A comparison of four methods used in determining the diets of large herbivores**. M.S. Thesis. Oregon State Univ., Corvallis, 1977.
- NAES, T.; ISAKSSON, T.; FEARN, T.; DAVIES, T. A user-friendly guide to multivariate calibration and

- classification. **Journal of Chemometrics**, v.17, p.221-259, 2002.
- NORRIS, K. H.; BARNES, R. F.; MOORE, J. E.; SHENK, J. S. Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. **Journal of Animal Science**, v.43, n.4, p.889-897, 1976.
- NÚÑEZ-SÁNCHEZ, N.; CARRION, D.; BLANCO, F. P.; GARCÍA, V. D.; SIGLER, A. G.; MARTÍNEZ-MARÍN, A. L. Evaluation of botanical and chemical composition of sheep diet by using faecal near infrared spectroscopy. **Animal Feed Science and Technology**, v.222, p.1-6, 2016.
- PARK, R.S.; GORDON, F. J.; AGNEW, R. E.; BARNES, R. J.; STEEN, R. W. J. The use of near infrared reflectance spectroscopy on dried samples to predict biological parameters of grass silage. **Animal Feed Science Technology**, v.68, n.3-4, p.235-246, 1997.
- PURNOMOADI, A.; KURIHARA, M.; NISHIDA, T.; SHIBATA, M.; ABE, A.; KAMEORA, K. Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict fecal composition and its use for digestibility estimation. *Animal Science Technology*. v.67, n.10, p.851-861, 1996.
- RICE, R. W. Stomach content analyses: a comparison of the rumen vs esophageal techniques. In: **Range and Wildlife Habitat Evaluation - ARes. Symp.**, USDA, For. Serv. Misc.Pub, 1970.
- ROBERTS, C. A.; BEUSELINCK, P. R.; ELERSIECK, M. R.; DAVIS, D. K.; MCGRAW, R. L. Quantification of tannins in birdsfoot trefoil germplasm. **Crop Science**, v.33, n.4, p.675-679, 1993.
- RUSSEL, M. L.; BAILEY, D. W.; THOMAS, M. G.; WITMORE, B. K. Grazing distribution and diet quality of Angus, Brangus, and Brahman cows in the Chihuahuan desert. **Rangeland Ecology & Management**, v.65, n.4 p. 371-381, 2012.
- SHENK, J. S.; WESTERHAUS, M. O. Calibration the ISI way. In: DAVIES, A. M. C.; WILLIAMS, P. (Eds.), **Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves**. NIR Publications, West Sussex, UK, 1996. P.198-202.
- SHOWERS, S. E.; TOLLESON, D. R.; STUTH, J. W.; KROLL, J. C.; KOERTH, B. H. Predicting diet quality of white-tailed deer via NIRS fecal profiling. **Rangeland Ecology & Management**, v.59, n.3, p.300-307, 2006.
- SKOOG.; WEST.; HOLLER.; CROUCH. **Fundamentos de Química Analítica**, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.
- STUTH, J. W. **Grazing systems ecology: A philosophical framework**. Proceedings of the Eighteenth International Grassland Congress, Winnipeg, Manitoba and Saskatoon, Saskatchewan, Canada. 1997. p.479-488.
- STUTH, J.; JAMA, A.; TOLLESON, D. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. **Field Crops Research**, v.84, p.45-56, 2003.
- THEURER, C. B. Determination of botanical and chemical composition of the grazing animals diet. In: **Natl. Conf. Forage Quality Evaluation and Utilization**. Nebraska Center for Continuing Education, Lincoln, 1970.
- THEURER, C. B.; LESPERANCE, A. L.; WALLACE J. D. **Botanical composition of the diet of livestock grazing native ranges**. Univ. Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull, 1976.
- TOLLESON, D. R.; STUTH J. W. **Near infrared reflectance spectroscopy of fresh feces and plant tissue under field conditions**. Society for Range Management meetings, Vancouver, BC, 2006.
- TORRES, I.; MARÍN-ÉREZ, D.; HABA, M. J.; SÁNCHEZ, M. T. Developing universal models for the prediction of physical quality in citrus fruits analysed on-tree using portable NIRS sensors. **Biosystems engineering**, v.153, p.140-148, 2017.
- ULYATT, M. J., McNABB, W. C. Can protein utilisation from pasture be improved? In: REUNIÃO ANUAL SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. p.67-77.
- VAN SOEST, J. **Nutritional ecology of the ruminal**. Cornell University Press, Ithaca, 1994, 476p.
- WALKER, J. W.; CLARK, D. H.; MCCOY, S. D. Fecal NIRS for predicting percent leafy spurge in diets. **Journal of Range Management**, v.51, p.450-455, 1998.
- WALKER, J.; TOLLESON, D.; Eds. **Shining Light on Manure Improves Livestock and Land Management**, Technical Bulletin, SANG-2010, 97p.
- WALKER, J. W.; WALDRON, D. F.; CAMPBELL, E. S.; TAYLOR JÚNIOR, C. A.; LUPTON, C. J.; LANDAU, S. Intermediate Periodicities in Juniper Consumption and Sampling Strategies to Estimate the Diet of Free-Grazing Goats.

- Rangeland Ecology & Management**, v.66, n.2, p.209-215, 2015.
- WALSH, K. B.; KAWANO, S. Near infrared spectroscopy. In: **Optical monitoring of fresh and processed agricultural products**. ZUDE, M (eds). CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2009. p.192-239.
- WARD, R.G.; SMITH, G.S.; WALLACE, J. D.; URQUHART, N. S.; SHENK, J. S. Estimates of intake and quality of grazed range forage by near infrared reflectance spectroscopy. **Journal Animal Science**, v.54, n.1-2, p.399-402, 1982.
- WILLIAMS P. **Near-infrared Technology - Getting the Best Out of Light**. ed. 3, 2005.
- WINDHAM, W. R.; FALES, S. L.; HOVELAND, C. S. Analysis for tannin concentration in *Sericea lespedeza* by near IR reflectance spectroscopy. **Crop Science**, v.28, p.705-708, 1988.
- XU, H.; QI, B.; SUN, T.; FU, X.; YING, Y. Variable selection in visible and near-infrared spectra: Application to on-line determination of sugar content in pears. **Journal of Food Engineering**, v.109, n.1, p.142-147, 2012.