



## Uso da espectroscopia no infravermelho próximo para previsão da composição químico-bromatológica de palma forrageira<sup>1</sup>. Use of near infrared spectroscopy to predict the Chemical-bromatological composition of forage palm<sup>1</sup>.

[Antônio Marcos Ferreira Fernandes](#)<sup>2</sup>, [Marco Aurélio Delmondes Bomfim](#)<sup>3</sup>, [Sueli Freitas dos Santos](#)<sup>4</sup>, [Carlos Mikael Mota](#)<sup>5</sup>, Juliete de Lima Gonçalves<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Parte do trabalho de mestrado do primeiro autor; Projeto financiado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

<sup>2</sup> Mestre em Zootecnia - Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, CE, Brasil. E-mail: [marcosff90@gmail.com](mailto:marcosff90@gmail.com)

<sup>3</sup> Pesquisador, Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, CE, Brasil: E-mail: [marco.bomfim@embrapa.br](mailto:marco.bomfim@embrapa.br)

<sup>4</sup> Pós-Doutora, Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, CE, Brasil: E-mail: [sfsantoszootecnia@gmail.com](mailto:sfsantoszootecnia@gmail.com)

<sup>5</sup> Mestre em Zootecnia - Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, CE, Brasil. E-mail: [carlosmikael@gmail.com](mailto:carlosmikael@gmail.com)

<sup>6</sup> Doutora em Zootecnia - Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, Brasil. E-mail: [julietegoncalves@gmail.com](mailto:julietegoncalves@gmail.com)

### Resumo

Quatro variedades de palma forrageira (Gigante, Mão de moça ou Ipa sertânea, Doce ou miúda e Orelha de elefante mexicana) coletadas em três estados do Nordeste brasileiro, foram lidas *in natura* e pré-secas e moídas em instrumento NIR Perten DA 7250. Modelos para amostras *in natura* apresentaram desempenhos satisfatórios para matéria seca e proteína bruta. Melhor desempenho de desvio dos modelos se deu para matéria seca para amostras *in natura*, matéria seca e proteína bruta, fibra insolúvel em detergente ácido e digestibilidade *in vitro* da matéria seca para amostras pré-processadas. A tecnologia NIR pode ser utilizada para a previsão da composição químico bromatológica da palma forrageira. O pré-processamento das amostras, se mostrou eficiente, aumentando a robustez dos modelos para os nutrientes avaliados, com exceção para proteína bruta e matéria seca, cujo desempenhos foram considerados como modelos de excelência, mesmo para amostras *in natura*.

**Palavras-chave:** Acurácia. Amostras pré-processadas. Nutrientes. Tecnologia NIR.

### Abstract

Four varieties of forage palm (Gigant, Hand of Maiden or Ipa sertânea, Sweet, Little and Ear of elephant mexican) collected in three states of Northeastern Brazil, were read *in natura* and pre-dried and ground in a NIR Perten DA 7250 instrument. Models for *in natura* samples showed satisfactory performance for dry matter and crude protein. Better model deviation performance was given for dry matter for samples *in natura*, dry matter and crude protein, insoluble fiber in acid detergent and *in vitro* digestibility of dry matter for samples pre-processed. NIR technology can be used to predict the bromatological chemical composition of forage palm. The pre-processing of the sample proved to be efficient, increasing the robustness of the models for the evaluated nutrients, with the exception of crude protein and dry matter, whose performances were considered as models of excellence, even for the *in natura* sample.

**Keywords:** Accuracy. Pre-processed samples. Nutrients. NIR technology.

## Introdução

O sistema de produção predominante na região Nordeste do Brasil é o pastejo direto na vegetação nativa, a Caatinga. Porém, o déficit nutricional, ocasionado pela sazonalidade da produção forrageira no período seco, é considerado o principal fator determinante do nível de produtividade (ARAÚJO, 2003). Na tentativa de manter a produção, os produtores fazem uso de concentrados e de forragens cultivadas como estratégias de suplementação durante esses períodos, que nos últimos anos tem se estendido por mais tempo (BELLUZO; KANETO; FERREIRA, 2001).

No entanto, o uso contínuo de concentrado no sistema de produção onera substancialmente os custos, principalmente na entressafra (HARTWELL et al., 2008). Da mesma forma, o uso de pastagem cultivada, devido à grande exigência em fertilidade do solo e, principalmente, da necessidade de água, torna-se muitas vezes inviável economicamente para alguns produtores.

Esses desafios têm estimulado a busca e o desenvolvimento de técnicas que contornem essa situação, especialmente associando-se o conhecimento do valor nutritivo e as exigências nutricionais de pequenos ruminantes. A utilização de alimentos alternativos, como espécies forrageiras adaptadas às condições semiáridas, representa um novo desafio na área de nutrição animal com o objetivo de reduzir os custos com alimentação. No que se refere às espécies adaptadas, a palma forrageira vem se destacando como uma excelente alternativa de suplementação na alimentação de ruminantes no Nordeste. Diversos trabalhos já comprovaram a eficiência dessa espécie como fonte de nutrientes para os animais ruminantes (TEGEGNE; KIJORA; PETERS, 2007; BISPO et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2010).

Outro desafio encontrado pelos técnicos é conscientizar os produtores do fornecimento de dietas balanceadas. O estudo realizado por (RIHAWI et al., 2010) exemplifica bem o impacto econômico causado pelo desbalanceamento de dietas. Estes autores compararam dois tipos de dietas usadas por produtores de leite ovino: dietas tradicionais, formuladas de forma empírica, e dietas balanceadas; e observaram uma redução de 20,4% no custo de produção daqueles animais que recebiam a dieta balanceada. Porém, neste sentido alguns fatores são apontados pelos produtores como principais entraves para a adoção dessa prática: a) falta de assistência técnica; b) a análise dos alimentos é considerada onerosa por boa parte dos produtores; c) e tempo de análise longo.

Nesse contexto, o uso da espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo (NIRS) vem sendo aplicado com sucesso como uma alternativa às metodologias analíticas de composições químico-bromatológicas tradicionais (ONÓRIO; SEIXAS, 2010). Esta técnica permite a obtenção de resultados em um menor tempo e a um custo mais baixo. Além disto, é uma técnica não destrutiva da amostra, e limpa, uma vez que usa pouca ou nenhuma preparação da amostra e nenhum uso de reagente químico, o que não gera resíduos para o meio ambiente. Por outro lado, o tempo pode ainda ser reduzido se as amostras forem analisadas *in natura*, uma vez que a técnica convencional preconiza a pré-secagem e moagem prévia.

Portanto, objetivou-se com este estudo, desenvolver e validar modelos para previsão da composição químico-bromatológica de palma forrageira, bem como, avaliar o efeito do pré-processamento da amostra sobre o desempenho dos modelos.

## Material e métodos

Foram coletadas 338 amostras de palma forrageira nos estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco em dois períodos do ano, outubro de 2013 (estação seca) e junho de 2014 (estação chuvosa) de quatro variedades: Orelha de elefante mexicana (OE), Doce ou Miúda (DM), Mão de moça ou Ipa sertânea (MM) e Gigante (GG).

No Laboratório de Nutrição Animal do Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos da Embrapa, Sobral, Ceará, foram retiradas subamostras representativas de cada cladódio coletado, em seguida foram fracionadas em aproximadamente 1,0 cm e imediatamente lidas em instrumento NIR Perten® DA 7250 (PerkinElmer, Inc., USA), para a obtenção dos espectros das amostras *in natura*. Esse instrumento registra uma faixa do infravermelho próximo de 950 a 1650 nm, com intervalo espectral de 5 nm e faz uso de tecnologia de arranjo de diodos, o que comprova sua robustez e a precisão, pois não é sensível a vibrações ou temperatura, o que também possibilita a sua mobilidade para diversos ambientes dentro ou fora do laboratório.

Por meio de uma ferramenta de seleção do *software The Unscrambler*® versão 10.2 (Camo Inc, Oslo, Norway), foi selecionado um subconjunto amostral de aproximadamente 50% do banco de amostras para realização das análises químicas, usadas como referência para construção dos modelos de calibração, visando reduzir o número de amostras para realização das análises laboratoriais, retirando redundâncias sem prejuízo no desempenho dos modelos. As amostras selecionadas foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 65°C, sendo posteriormente moídas em moinho tipo Willey provido de peneira de 1,0 mm de diâmetro e armazenadas em recipientes.

Antes de serem lidas novamente, as amostras foram colocadas em envelope de papel e levadas para estufa de ventilação forçada a 65°C por no mínimo três horas para estabilização da umidade. Quando removidas da estufa, foram colocadas em um dessecador por 30 minutos para resfriar até a temperatura ambiente, em seguida colocadas em células e imediatamente destinadas a leitura para obtenção dos espectros das amostras pré-seca e moídas. Os espectros gerados foram arquivados em microcomputador acoplado ao instrumento NIR para uso na geração das equações de predição.

Posteriormente, as amostras selecionadas foram analisadas quanto aos seus teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e, por diferença, os teores de matéria orgânica (MO) (AOAC, 2010); nitrogênio total (N) foi determinado em sistema de combustão (Leco FP-628, Leco Corp., St. Joseph, MI, EUA), utilizando-se o fator de correção 6,25 para conversão dos valores de N para proteína bruta (PB); fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) segundo descrito por (SENGER et al., 2008); hemicelulose (HEM) por diferença entre os valores de FDN e FDA; extrato etéreo (EE) em extrator semiautomático ANKOM XT-15 (ANKOM Technologic Corp, EUA); digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) por meio da técnica de duplo estágio descrita por (TILLEY; TERRY 1963), sendo modificada a quantidade de pepsina utilizada na segunda fase para 2,0 g/L, mantendo-se a mesma concentração de pepsina na solução de digestão, assim como foi estabelecido pelos mesmos autores.

Para as análises quimiométricas foi utilizado o *software The Unscrambler*®, versão 10.2 (Camo Inc, Oslo, Norway). Com o objetivo de minimizar os efeitos causados por problemas de linha de base devido a dispersão da luz (espalhamento), os espectros foram pré-processados pelo uso de diferentes tratamentos matemáticos e suas combinações: MSC (*multiplicative scatter correction*), SNV (*standard normal variate*), SNV combinado com DT (*De-trending*) ou combinações da correção do espalhamento com a primeira ou segunda derivada, utilizando o método Savitzky-Golay (BROWN; VEGA-MONTOTO; WENTZELL, 2000).

Os modelos de calibração multivariada foram desenvolvimentos usando a Regressão por Mínimos Quadrados (PLS - *Partial Least Squares*). O número de fatores PLS foi determinado pela validação cruzada (*cross-validation*), procedimento “*leave-one-out*” (GELADI; KOWALSKI, 1986), ou seja, todas as amostras utilizadas para calibração, foram também utilizadas para validação dos modelos. Amostras anômalas, conhecidas como outliers, foram retiradas dos modelos por meio de avaliação de duas grandezas: *leverage* e resíduos de *Student*; sendo considerados como outliers valores elevados de *leverage* e resíduos (CONZEN, 2006; SCHIBORRA et al., 2015).

Os desempenhos dos modelos desenvolvidos foram avaliados de acordo com a raiz do quadrado médio da calibração (RMSEC), e da validação cruzada (RMSECV), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos valores previstos e de referência (WILLIAMS; SOBERING, 1993; WILLIAMS, 2001). Altos valores de  $R^2$  e baixos erros médios (calibração e validação) indicam o melhor modelo para predição.

Foi calculado também a relação de desempenho de desvio dos modelos (*Ratio of Performance to Deviation* – RPD), que representa a divisão entre o desvio padrão da análise de referência e a raiz do quadrado médio da validação cruzada (WILLIAMS, 1987), como apresentado abaixo.

$$RPD = Sd/RMSECV$$

Onde RMSECV = erro médio de validação e Sd = desvio padrão da amostra. Os valores obtidos por essa relação são classificados em três categorias Classe A (RPD > 2,0) – modelos excelentes, com  $R^2 > 0,8$ ; Classe B (RPD de 1,4 a 2,0) – modelos ajustados, com  $R^2$  variando entre 0,5 a 0,8 e Classe C (RPD < 1,4) - modelos não confiáveis, com  $R^2 < 0,5$  (CHANG et al., 2001).

## Resultados e discussão

Na Tabela 1, é apresentada a estatística descritiva abrangendo o número de amostras (N); os valores médios, mínimos e máximos; os desvios padrões (DP) e coeficientes de variações (CV) dos parâmetros que foram utilizados como referência para o desenvolvimento dos modelos de calibração.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos parâmetros avaliados em amostras de palma forrageira

Parâmetros	N	Média (%)	Mín/Máx (%)	DP <sup>1</sup>	CV <sup>2</sup> (%)
MS	158	7,96	4,36 - 17,54	2,76	34,71
MO*	150	84,47	71,47 - 92,62	4,78	5,66
MM*	150	15,53	7,38 - 28,53	4,78	30,8
PB*	156	7,51	2,38 - 15,89	3,13	41,68
EE*	122	1,81	0,03 - 5,1	1,01	55,59
FDN*	149	19,16	19,16 - 33,59	4,51	23,51
FDA*	149	10,14	5,4 - 22,69	3,1	30,53
HEM*	149	9,02	3,02 - 20,37	2,73	30,24
DIVMS*	146	75,33	61,03 - 82,84	4,2	5,57

\*Em base de matéria seca; <sup>1</sup>Desvio Padrão – DP; <sup>2</sup>Coefficiente de Variação – CV; Matéria seca – MS; Matéria orgânica – MO; Matéria mineral – MM; Proteína bruta – PB; Extrato etéreo – EE; Fibra em detergente neutro – FDN; Fibra em detergente ácido – FDA; Hemicelulose – HEM; Digestibilidade *in vitro* da matéria seca – DIVMS.

Os valores médios encontrados de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e hemicelulose (HEM) estão dentro do espectro de variação dos valores médios encontrados na literatura (BATISTA et al., 2003; SILVA; SANTOS, 2007; TOSTO et al., 2007; MENEZES et al., 2009; GALVÃO JÚNIOR et al., 2014). No entanto, esses mesmos autores encontraram valores médios de proteína bruta (PB) muito inferiores ao valor médio obtido nesse trabalho, que foi de 7,51%, esse fato pode ter sido influenciado pela variação na idade das amostras de palma coletadas, que flutuou de 10 a 60 meses, além de diferentes manejos, resultando em ampla variação no percentual desse nutriente (2,38 a 15,89%). Os

resultados de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) variaram de 61,03 a 82,84%, se aproximando dos valores encontrados na literatura (BATISTA et al., 2003; BATISTA et al., 2009).

É importante ressaltar que a composição químico-bromatológica dos alimentos varia em função de alguns fatores inerentes ao próprio alimento e aos tratos culturais. No caso da palma forrageira, sua composição pode variar de acordo com a espécie, idade, época do ano, e também com a variedade (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010). Todos esses fatores foram levados em consideração para coleta das amostras e isso pode ser observado na variação dos resultados obtidos com as análises químicas das amostras. Neste caso, a maior amplitude e variação nas análises é uma característica desejável e que aumenta a previsibilidade do modelo, uma vez que toda a variabilidade está representada.

Os modelos de calibração com melhor desempenho, obtidos para os parâmetros avaliados e seus respectivos pré-tratamentos, estão apresentados na Tabela 2. Os modelos foram selecionados de acordo como recomendado, resultados mais baixos de erros e resultados mais elevados de  $R^2$  (WINDHAM; MERTENS; BARTON, 1989). Ainda nessa tabela, são apresentados também o número de amostras usadas para calibração após a detecção de amostras anômalas, os pré-tratamentos matemáticos usados nos dados espectrais que decorrem em melhores resultados nas calibrações e validações, o número de variáveis latentes ou número de fatores e o valor de correlação dos modelos.

Para os modelos de calibração *in natura* (Tabela 2), matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) foram os que apresentaram os melhores coeficientes de determinação de calibração, 0,87 e 0,95%, respectivamente. Já para os demais parâmetros o desempenho dos modelos foi menor, com coeficiente de determinação na calibração ( $R^2C$ ) chegando até 0,21 e com erros acima de 2,0%, no caso da hemicelulose (HEM). A água é um forte absorvente de radiação no infravermelho, incluindo a região do espectro NIR. além das moléculas de água livres na amostra, há também moléculas de água interagindo com outros componentes, dificultando assim a interpretação dos dados espectrais de amostras com teores de umidade acima de 80% (BÜNING-PFAUE, 2003). Isso pode estar relacionado ao baixo desempenho dos modelos para alguns parâmetros avaliados em amostras de palma forrageira *in natura*, as quais possuem teores de umidade próximos de 90%.

Na mesma tabela também são apresentados os resultados dos modelos para as amostras pré-secas e moídas. O pré-processamento melhorou o desempenho dos modelos, embora para o parâmetro de extrato etéreo tenha ocorrido o contrário, apresentando desempenho inferior ao modelo desenvolvido com amostras *in natura*. Para os demais parâmetros o  $R^2C$  ficou entre 0,68 e 0,91, e com  $R^2V$  de 0,52 a 0,86. Os erros-padrões dos modelos (RMSEC e RMSECV) para as amostras pré-processadas apresentaram um desempenho melhor, quando comparados aos resultados dos modelos das amostras *in natura*. O modelo desenvolvido para PB, tanto para amostras *in natura*, quanto para pré-processadas foi o que apresentou melhores resultados, indicando uma elevada acurácia do método NIRS para prever o conteúdo desse parâmetro na palma forrageira. Podem ser observados na Figura 1, os gráficos dos modelos desenvolvidos para o parâmetro de PB, ambos os modelos (*in natura* e pré-secas/moídas). Os resultados encontrados nesse estudo foram semelhantes com outros trabalhos que avaliaram a PB de vegetais e da soja (KOVALENKO; RIPPKE; HURBURGH, 2006; SZIGEDI et al., 2011; FERREIRA; PALLONE; POPPI, 2013). Com relação ao número de variáveis latentes (fatores), alguns modelos *in natura* mostraram-se bastante complexos atingindo até 16 fatores no PLS. Já os modelos pré-tratados o máximo foi de 9 fatores. Todos os modelos apresentaram boa correlação entre os valores de referência e os dados espectrais das amostras, com exceção de dois modelos, hemicelulose com amostras *in natura* (0,46) e extrato etéreo com amostras pré-processadas (0,50).

Tabela 2 – Parâmetros dos modelos NIR desenvolvidos para predição da composição químico-bromatológica da palma forrageira

Amostras/Instrumento	Parâmetro	N	Tratamentos	Nº Fatores	Correlação	R <sup>2</sup> C	RMSEC	R <sup>2</sup> V	RMSECV
<i>In natura</i>	MS	145	SNV+DT/SG2	7	0,93	0,87	0,99	0,82	1,16
	MO	140	MSC/SG2	15	0,93	0,87	1,68	0,64	2,81
	MM	137	SNV	15	0,93	0,87	0,64	0,64	2,79
	PB	144	MSC/SG2	16	0,97	0,95	0,71	0,74	1,57
	EE	115	SG2	4	0,71	0,51	0,63	0,16	0,83
	FDN	139	SNV+DT/SG1	7	0,78	0,62	2,51	0,33	3,33
	FDA	140	SG1	9	0,88	0,78	1,34	0,60	1,82
	HEM	139	SG2	5	0,46	0,21	2,07	0,01	2,23
	DIVMS	126	SNV/SG1	5	0,75	0,57	2,44	0,53	2,58
Pré-secas e Moídas	MS	140	SNV+DT/SG2	6	0,94	0,89	0,78	0,83	0,96
	MO	140	SNV/SG2	9	0,95	0,90	1,46	0,71	2,44
	MM	140	SNV+DT/SG2	8	0,94	0,89	1,54	0,71	2,51
	PB	148	SNV+DT/SG2	6	0,95	0,91	0,93	0,86	1,15
	EE	121	SNV+DT/DG2	2	0,50	0,25	0,87	0,17	0,93
	FDN	139	MSC/SG1	7	0,88	0,77	2,14	0,71	2,41
	FDA	140	SNV+DT/SG2	8	0,95	0,90	0,96	0,81	1,36
	HEM	141	SG2	6	0,82	0,68	1,52	0,52	1,87
	DIVMS	136	MSC/SG2	7	0,94	0,88	1,45	0,80	1,87

Matéria seca – MS; Matéria orgânica – MO; Matéria mineral – MM; Proteína bruta – PB; Extrato etéreo – EE; Fibra em detergente neutro – FDN; Fibra em detergente ácido – FDA; Hemicelulose – HEM; Digestibilidade *in vitro* da matéria seca – DIVMS; Número de amostras – N; *Multiplicative scatter correction* – MSC; *Standard normal variate* – SNV; *Standard normal variate* combinada *de-trending* – SNV+DT; Derivadas Savitzky-Golay – SG1 e SG2, primeira e segunda derivativa, respectivamente.

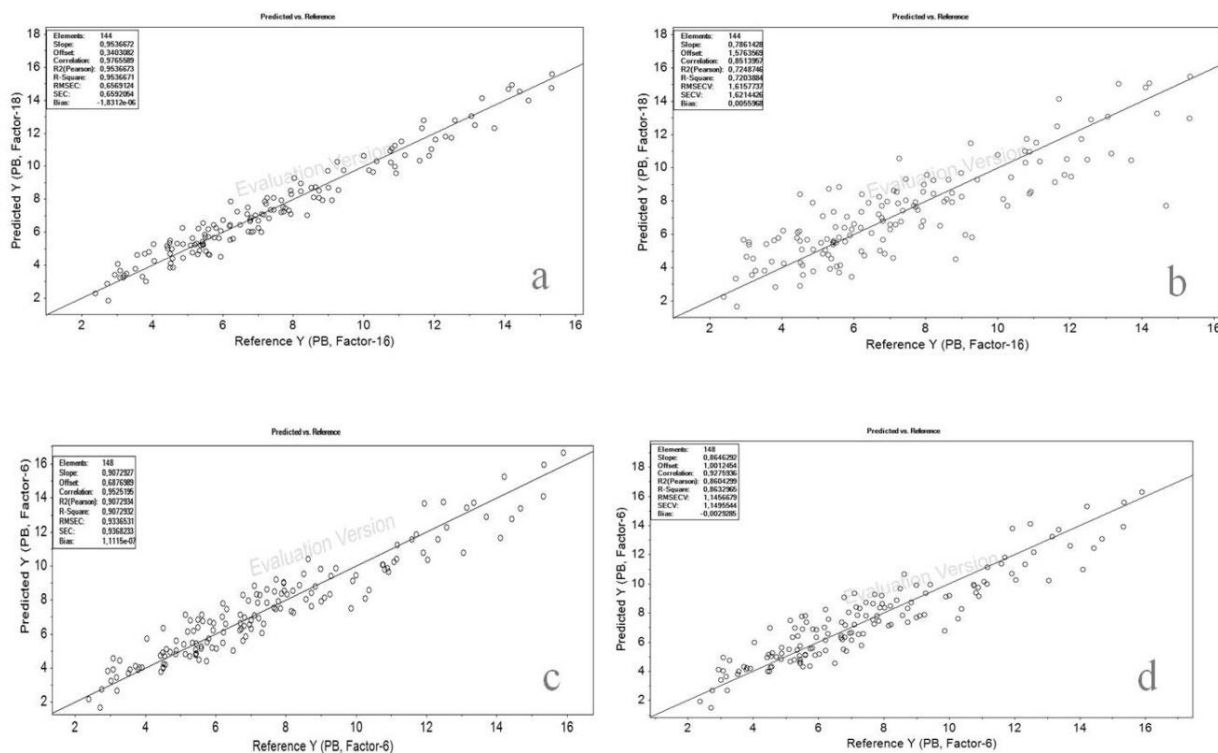


Figura 1 – Modelos de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) do teor de proteína bruta (PB) da palma forrageira *in natura* (a – modelo de calibração e b – modelo de validação) e pré-seca/moída (c – modelo de calibração e d – modelo de validação).

Na Figura 2, são apresentados os valores da relação de desempenho de desvios dos modelos (RPD).

Nos modelos de palma *in natura* somente o modelo de MS foi classificada na categoria A (modelo de excelência). Para os parâmetros de MO, MM, PB, FDA e DIVMS forma classificados como classe B (modelos ajustados). Já os de EE, FDN e HEM como classe C (modelos não confiáveis). Em comparação aos modelos com amostras pré-processadas, obteve-se em classe A (modelos ajustados) os parâmetros de MS, PB, FDA e DIVMS. Em classe B (modelos ajustados) os parâmetros de MO, MM, FDN e HEM. E apenas EE como um modelo não confiável, classe C.

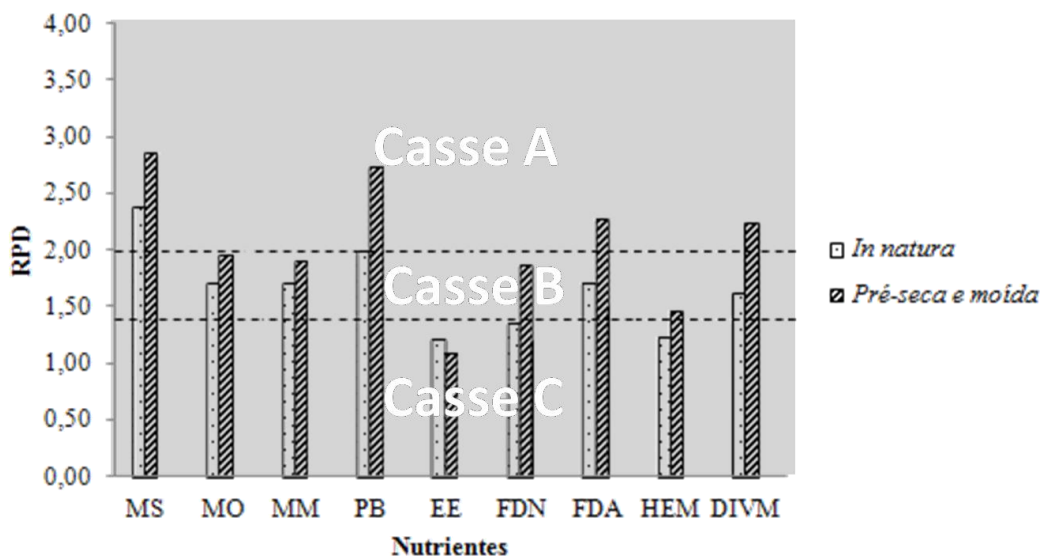


Figura 2 – Valores da Relação de Desempenho de Desvio dos modelos (Ratio of Performance to Deviation – RPD) dos modelos de palma forrageira *in natura* e pré-secas e moídas.

## Conclusão

Os modelos desenvolvidos para a previsão da composição químico bromatológica de palma forrageira se mostraram eficientes. Assim como também, o pré-processamento das amostras, aumentando a robustez dos modelos para os nutrientes avaliados, com exceção para proteína bruta e matéria seca, cujo desempenhos foram considerados como modelos de excelência, mesmo para amostras *in natura*.

## Conflitos de interesse

Não houve conflito de interesses dos autores.

## Contribuição dos autores

Antônio Marcos Ferreira Fernandes - trabalho da dissertação de mestrado, coleta de dados, interpretação, escrita; Marco Aurélio Delmondes Bomfim - orientador do primeiro autor, ideia original, revisão e correção; Sueli Freitas dos Santos - coleta de dados, revisão e correção; Carlos Mikael Mota - revisão e correção; Juliete de Lima Gonçalves - revisão e correção.

## Referências bibliográficas

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18<sup>a</sup> ed. Rev. Gaithersburg, Maryland, USA, 2010, 3000p.

ARAÚJO, G. G. L. Alternativas alimentares para caprinos e ovinos no Semiárido. *In: PECNORDESTE-2003*, 04, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, 2003, 18p.

BATISTA, A. M. V.; RIBEIRO NETO, A. C.; LUCENA, R. B.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. B.; MUSTAFA, A. F. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in northeast Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, v. 62, n. 3, p. 297-301, 2009. <https://doi.org/10.2111/07-099R1.1>

BATISTA, A. M.; MUSTAFA, A. F.; McALLISTER, T.; WANG, Y.; SOITA, H.; McKINNON, J. J. Effects of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 5, p. 440-445, 2003. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1393>

BELLUZO, C. E.; KANETO, C. N.; FERREIRA, G. M. **Curso de atualização em ovinocultura**. UNESP – Curso de Medicina Veterinária – Campus de Araçatuba – SP, 2001. <https://vdocuments.net/curso-de-atualizacao-em-ovino-cultura.html?page=110>

BISPO, S. V.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C.; BATISTA, A. M. V.; PESSOA, R. A. S.; BLEUEL, M. P. Palma forrageira em substituição ao feno de capim-elefante: efeito sobre consumo, digestibilidade e características de fermentação ruminal em ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1902-1909, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000800026>

BROWN, C. D.; VEGA-MONTOTO, L.; WENTZELL, P. D. Derivative preprocessing and optimal corrections for baseline drift in multivariate calibration. **Applied Spectroscopy**, v. 54, n. 7, p. 1055-1068, 2000. <https://doi.org/10.1366/0003702001950571>



- BÜNING-PFAUE, H. Analysis of water in food by near infrared spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 107-115, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00583-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00583-6)
- CHANG, C. W.; LAIRD, D. A.; MAUSBACH, M. J.; HURBURGH JUNIOR, C. R. Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 2, p. 480-490, 2001. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.652480x>
- CONZEN, J. P. **Multivariate Calibration. A practical guide for developing methods in the quantitative analytical chemistry**. Bruker, 2006.
- DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010. <https://doi.org/10.5039/agraria.v5i1a591>
- FERREIRA, D. S.; PALLONE, J. A. L.; POPPI, R. J. Fourier transform near-infrared spectroscopy (FT-NIRS) application to estimate Brazilian soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] composition. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 53-58, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.015>
- GALVÃO JÚNIOR, J. G. B.; SILVA, J. B. A.; MORAIS, J. H. G.; LIMA, R. N. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014. <https://doi.org/10.21708/avb.2014.8.2.3490>
- GELADI, P.; KOWALSKI, B. R. Partial least regression: a tutorial. **Analytica Chimica Acta**, v. 185, p. 1-17, 1986. [https://doi.org/10.1016/0003-2670\(86\)80028-9](https://doi.org/10.1016/0003-2670(86)80028-9)
- HARTWELL, B. W.; NIGUEZ, I.; MUELLER L.; WURZINGER, M.; KNAUS, W. F. Characterization of Awassi lamb fattening systems: a Syrian case study. *In: Improved Small Ruminant Production Diversification and Genetic Diversity Utilization in the Dry Areas. Workshop on Options for Improving Small Ruminant Production Diversification and Management of Genetic Diversity in the Dry Areas of Jordan, Syria and Tunisia, Aleppo, Syria. Proceedings... ICARDA*, p. 13-17, 2008.
- KOVALENKO, I. V.; RIPPKE, G. R.; HURBURGH, C. R. Determination of amino acid composition of soybeans (*Glycine max*) by near-infrared spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 10, p. 3485-3491, 2006. <https://doi.org/10.1021/jf052570u>
- MENEZES, D. R.; ARAÚJO, G. G. L.; SOCORRO, E. P. do; OLIVEIRA, R. L.; BAGALDO, A. R.; SILVA, T. M.; PEREIRA, L. G. R. Níveis de ureia em dietas contendo co-produto de vitivinícolas e palma forrageira para ovinos Santa Inês. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 3, p. 662-667, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000300020>
- OLIVEIRA, J. P. F.; BARRETO, M. L. J.; LIMA JUNIOR, D. M.; AGUIAR, E. M.; SILVA, T. O. Algarobeira (*Prosopis juliflora*): uma alternativa para alimentação de ovinos no nordeste brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 1-4, 2010.
- ONÓRIO, D. F.; SEIXAS, F. A. V. Uso de FT- NIR para a identificação e quantificação de microrganismos em alimentos. **Uningá Review**, v. 3, n. 1, p. 62-70, 2010. <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/495>
- RIHAWI, S.; IÑIGUEZ, L.; KNAUS, W. F.; ZAKLOUTA, M.; WURZINGER, M.; SOELKNER, J.; LARBI, A.; BOMFIM, M. A. D. Fattening performance of lambs of different Awassi genotypes, fed under cost-reducing diets and contrasting housing conditions. **Small Ruminant Research**, v. 94, n. 1/3, p. 38-44, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.06.007>
- SCHIBORRA, A.; BULANG, M.; BERK, A.; SUSENBETH, A.; SCHLECHT, E. Using faecal near-infrared spectroscopy (FNIRS) to estimate nutrient digestibility and chemical composition of diets and faeces of

- growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 210, p. 234-242, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.10.011>
- SENGER, C. C. D.; KOZLOSKI, G. V.; SANCHEZ, L. M. B.; MESQUITA, F. T.; ALVES, T. P.; CASTAGNINO, D. S. Evaluation of autoclave procedures for fiber analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, n. 1/2, p. 169-174, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.12.008>
- SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária – REDVET**, v. 8, n. 5, p. 1-11, 2007. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612669015.pdf>
- SZIGEDI, T.; LÉNÁRT, J.; DERNOVICS, M.; TURZA, S.; FODOR, M. Protein content determination in *Brassica oleracea* species using FT-NIR technique and PLS regression. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 2, p. 436-440, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02848.x>
- TEGEGNE, F.; KIJORA, C.; PETERS, K. J. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. **Small Ruminant Research**, v. 72, n. 2/3, p. 157-164, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.004>
- TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Grass and Forage Science**, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>
- TOSTO, M. S. L.; ARAÚJO, G. G. L.; OLIVEIRA, R. L.; BAGALDO, A. R.; DANTAS, F. R.; MENEZES, D. R.; CHAGAS, E. C. O. Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 8, n. 3, p. 239-249, 2007. <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/1936/1/782-3075-2-PB.pdf>
- WILLIAMS, P. C. Implementation of near-infrared technology. In: WILLIAMS, P. C.; NORRIS, K. H. (Eds.). **Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries**. 2<sup>nd</sup> ed. American Association of Cereal Chemists Inc., Saint Paul, MN, p. 145-169, 2001.
- WILLIAMS, P. C. Variables affecting near-infrared reflectance spectroscopic analysis. In: WILLIAMS, P. C.; NORRIS, K. H. (Eds.). **Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries**. American Association of Cereal Chemists Inc., Saint Paul, MN, p. 143-167, 1987.
- WILLIAMS, P. C.; SOBERING, D. C. Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seed. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 1, n. 1, p. 25-33, 1993. <https://doi.org/10.1255/jnirs.3>
- WINDHAM, W. R.; MERTENS, D. R.; BARTON, F. E. Protocol for NIRS calibration: sample selection and equation development and validation. In: MARTENS, G. C.; SHENK, J. S.; BARTON, F. E. (Eds.). **Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS): Analysis of Forage Quality**. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook N° 643, Washington, DC: US Government Printing Office, p. 96-103, 1989. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT89919964/PDF#page=98>

Recebido em 21 de novembro de 2022  
Retornado para ajustes em 13 de fevereiro de 2023  
Recebido com ajustes em 16 de fevereiro de 2023  
Aceito em 14 de março de 2023