

# Quantificação de carboidratos não-fibrosos e matéria orgânica residual em alimentos e dietas<sup>1</sup>

Análise de alimentos, sistema detergente, sistema proximal.

Edenio Detmann<sup>2\*</sup>

Malber Nathan Nobre Palma<sup>3</sup>

Luiz Carlos Sousa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Este artigo constitui revisão e atualização ao artigo originalmente publicado por DETMANN & VALADARES FILHO (2010).

<sup>2</sup> Zootecnista, D.Sc., Professor Titular, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. Pesquisador do CNPq e do INCT Ciência Animal. \*E-mail: detmann@ufv.br.

<sup>3</sup> Zootecnista, D.Sc., Bolsista PNPd/CAPES, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa.

<sup>4</sup> Zootecnista, Estudante de Mestrado em Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa.

## RESUMO

Os carboidratos não fibrosos e a matéria orgânica residual constituem componentes de pressupostos de composição de alimentos calculados por diferença. Embora não sejam analisados diretamente, esses possuem importância direta na interpretação das características nutricionais de alimentos e dietas ofertadas para animais ruminantes e não ruminantes. As formas de computá-los e os prováveis problemas associados às estimativas obtidas são apresentados e discutidos.

**Palavras-chave:** análise de alimentos, sistema detergente, sistema proximal.



Vol. 18, Nº 06, nov/dez de 2021

ISSN: 1983-9006

www.nutritime.com.br

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.

## QUANTIFICATION OF NON-FIBROUS CARBOHYDRATES AND RESIDUAL ORGANIC MATTER IN FEEDS AND DIETS

### ABSTRACT

The non-fibrous carbohydrates and the residual organic matter are components of different assumptions of feed composition that are calculated by difference. Although not directly analyzed, these components have a direct importance in interpreting the nutritional characteristics of feeds and diets offered to ruminant and non-ruminant animals. The ways to compute them and the likely problems associated with the estimates obtained are presented and discussed.

**Keyword:** detergent system, feed analysis, proximate analysis.

## INTRODUÇÃO

A partir do estabelecimento dos pressupostos para avaliação quantitativa de alimentos na Estação Experimental de Weende no século XIX, quatro grupos de compostos químicos foram adotados como análises laboratoriais de rotina para alimentos: cinzas ou matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), gordura bruta ou extrato etéreo (EE) e fibra bruta (FB).

Contudo, a avaliação quantitativa de um alimento deve se basear na pressuposição de que sua composição centesimal é inteiramente conhecida. Portanto, a união dos compostos químicos definidos acima em uma avaliação quantitativa de alimentos somente pode ser realizada se, e somente se, sua soma produzisse a composição total do alimento. Isto obviamente não é verificado. A partir disso, um quinto grupo químico foi estabelecido, o qual deveria compreender todas as características químicas que não fossem contempladas nos demais grupos. Este novo grupo de compostos químicos seria estimado como:

$$\text{ENN} = 100 - \text{MM} - \text{PB} - \text{EE} - \text{FB} \quad (1);$$

em que ENN é o extrativo não nitrogenado. Todos os termos são expressos como percentual da matéria seca (MS).

De um ponto de vista teórico, o ENN deveria compreender todos os compostos não nitrogenados, não gordurosos e não fibrosos do alimento e deveria apresentar alta digestibilidade (pois conteria amido, açúcares, etc). Adicionalmente, como o ENN é calculado por diferença (Equação 1), a soma dos cinco grupos de compostos químicos resultaria no alimento total (100%), fazendo com que a suposição básica para avaliação quantitativa fosse suprida.

Ao contrário do ENN, a FB deveria representar ou mensurar o material indigestível dos alimentos, notoriamente para animais não ruminantes. O conceito analítico FB foi baseado em características químicas da digestão (extração em ácido, simulando as condições estomacais, seguida por extração em base, simulando as condições de intestino delgado) (DETMANN, 2010). No entanto, a extração ácido-base causa a solubilização de hemicelulose e de lignina

solúvel em álcali (VAN SOEST, 1994).

Portanto, a FB é teoricamente formada por celulose, lignina insolúvel em álcali e por resíduos de hemicelulose. Assim, grande parte da hemicelulose e da lignina seria incluída no ENN<sup>1</sup>. A partir disso, o ENN, o qual deveria representar a fração facilmente digerível dos carboidratos, passa a apresentar digestibilidade menor e altamente variável entre alimentos (DETMANN, 2010). Este aspecto, em conjunto com a subestimação dos compostos fibrosos, constitui a principal limitação funcional para utilização da FB e do ENN na nutrição de ruminantes.

A partir do desenvolvimento do conceito analítico de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) por P.J. Van Soest na década de 1960, novas perspectivas foram geradas para a avaliação quantitativa de alimentos e dietas para animais ruminantes. A FDN representa uma aproximação química da fibra insolúvel em meio aquoso (como o rúmen) e corresponde à porção do alimento que efetivamente causa efeito de enchimento no rúmen ou em outros segmentos do trato gastrointestinal (DETMANN, 2010). A FDN é formada basicamente por celulose, hemicelulose e lignina e sua utilização elimina grande parte das distorções causadas pela solubilização de compostos fibrosos durante a análise por intermédio do conceito de FB.

A substituição da FB pela FDN representa uma opção lógica na nutrição de animais ruminantes, pois confere entendimento nutricional mais concreto e amplo de alimentos e dietas. Contudo, a alteração do conceito analítico aplicado à avaliação da fração fibrosa do alimento obviamente demanda a modificação da interpretação do grupo de compostos químicos calculado “por diferença”. Assim, quando utilizada a FDN, o conceito de ENN não deve ser utilizado, pois este deve somente ser associado ao uso do conceito analítico de FB.

Inicialmente, o novo grupo de compostos calculado “por diferença” foi denominado de carboidratos não

<sup>1</sup> Na prática, devido às interações entre os componentes da parede celular e à ação dos reagentes/condições de extração, uma pequena porção de celulose pode também compor o ENN.

estruturais (SNIFFEN et al., 1992). Contudo, uma inconsistência teórica foi observada com esta nomenclatura, pois a pectina (um composto fibroso solúvel com papel estrutural na planta) seria classificada como não estrutural. Posteriormente, essa nomenclatura foi alterada para carboidratos não fibrosos (CNF; MERTENS, 1997).

Neste contexto, o novo grupo de compostos químicos seria estimado como:

$$\text{CNF} = 100 - \text{MM} - \text{PB} - \text{EE} - \text{FDN} \quad (2).$$

Em sistemas mais recentes de avaliação quantitativa de alimentos, o amido contido nos alimentos passou a ser (ao lado de MM, PB, EE e FDN) a quinta entidade diretamente analisada (TEBBE et al., 2017; WHITE et al., 2017; NASEM, 2021). Dessa forma um novo componente calculado por diferença é definido pela separação entre amido e os demais componentes do CNF, o qual passa a ser formado essencialmente por fibra solúvel em detergente neutro e outros componentes minoritários como açúcares e ácidos orgânicos. Este passa a ser denominado de matéria orgânica residual (MOR; TEBBE et al., 2017), sendo definido por:

$$\text{MOR} = 100 - \text{MM} - \text{PB} - \text{EE} - \text{A} - \text{FDN} \quad (3);$$

em que A é a concentração de amido como percentual da MS.

Torna-se importante ressaltar que a equação (3) pode ser encontrada com outro formato na literatura, no qual o EE é substituído pelos ácidos graxos de cadeia longa (AGCL; i.e., ácidos graxos com cadeias maiores que quatro carbonos; TEBBE et al., 2017; NASEM, 2021). O uso de AGCL possui a vantagem inerente de deslocar a fração não-graxa do EE para a MOR. Isso é vantajoso, pois componentes como o glicerol, por exemplo, possuem potencial de contribuição energética parecido com os demais componentes da MOR (e.g., açúcares solúveis, fibra solúvel), mas inferior aos lipídeos. Isso aumenta a exatidão da interpretação energética dos alimentos/dietas. Contudo, a avaliação direta de AGCL possui base cromatográfica (SUKHIJA & PALMIQUIST, 1988; WEISS & WYATT, 2003), sendo de difícil acesso como análise de rotina na maioria

dos laboratórios de análise de alimentos no Brasil.

Desta forma, embora ciente do maior vício causado pelo uso do EE, sua utilização pode ser recomendada devido à maior acessibilidade de análise<sup>2</sup>.

Em termos de nutrição de ruminantes, a separação do amido dos CNF mostra-se extremamente funcional, haja vista que a MOR, composta basicamente por fibra solúvel, possui padrão de fermentação distinto. Assim, o entendimento em separado propicia melhor antecipação dos efeitos da dieta sobre o padrão de fermentação ruminal (e seus efeitos indiretos sobre saúde e desempenho animal) e sobre a eficiência energética da dieta em si (e.g., CORONA et al., 2006; SHEN et al., 2018). Por outro lado, para nutrição de animais não-ruminantes, a separação propicia a avaliação funcional da principal fonte energética para a produção animal (i.e., amido) e as fontes de polissacarídeos não-amiláceos solúveis (PNAS), os quais interferem efetivamente nos eventos de digestão e absorção no intestino delgado (e.g., ROJAS-BONZI et al., 2020; ZURAK et al., 2020).

Contudo, um problema básico se ergue a partir da utilização das equações (2) e (3). Como os CNF e a MOR são calculados por diferença, estes irão englobar todos os erros associados às estimativas dos componentes químicos que são analisados diretamente.

Equívoco característico é observado quando ureia é incluída em concentrados ou dietas. A despeito do fato de a PB da ureia ser estabelecida com base nos pressupostos do método de *Kjeldahl* ( $\text{PB} = \text{N} \times 6,25$ ), o elevado teor de nitrogênio da ureia faz com que seu conteúdo em PB seja maior que sua própria massa ( $45\% \text{ N} \times 6,25 = 281,25\% \text{ PB}$ ). Esse excesso

<sup>2</sup> Embora a linha de pensamento traçada neste artigo proponha a utilização do EE no lugar de AGCL devido à maior acessibilidade, o uso de AGCL não está descartado caso haja possibilidade de sua utilização. Isso é evidentemente mais verossímil para a interpretação das características nutricionais dos alimentos/dietas. O autor deve ter em mente que a opção por EE ou AGCL deve estar claramente descrita em seu artigo para que haja entendimento por parte do leitor.

de PB pode ser potencialmente transformado em massa real de PB a partir da assimilação do nitrogênio na forma de proteína microbiana no rúmen. Contudo, este excesso não existe no concentrado ou na dieta e implicará em subestimação do conteúdo de CNF e de MOR. Assim, em situações nas quais ureia (ou misturas como ureia e sulfato de amônio) é utilizada em concentrados ou na dieta, correção deve ser adotada para evitar a subestimação do teor de CNF (HALL, 2000), a qual é dada por:

$$\text{CNF} = 100 - \text{MM} - \text{EE} - \text{FDN} - (\text{PB} - \text{PBU} + \text{U}) \quad (4);$$

$$\text{MOR} = 100 - \text{MM} - \text{EE} - \text{A} - \text{FDN} - (\text{PB} - \text{PBU} + \text{U}) \quad (5);$$

em que: PBU = teor de PB oriunda da ureia (ou mistura ureia e sulfato de amônio); e U é o teor de ureia. Todos os termos são expressos como % da MS.

Em situações em que ureia não é utilizada percebe-se facilmente que as equações (4) e (5) convergirão exatamente para aquilo que é exposto nas equações (2) e (3), respectivamente.

Sob um ponto de vista analítico, os principais vícios associados às estimativas dos teores de CNF e MOR estão associados com problemas sobre as estimativas do teor de FDN. Em geral, estes problemas são causados pela presença de contaminantes no resíduo insolúvel em detergente neutro, os quais podem ser resultantes de erros nos procedimentos de análise ou de contaminações inerentes ao método analítico em si. Para todos os casos ocorrerá superestimação dos teores de FDN e subestimação dos teores de CNF e MOR.

Torna-se importante ressaltar que a FDN constitui um método analítico do tipo I de acordo com o Codex Alimentarius, ou seja, o resultado obtido é definido pelo método em si<sup>3</sup> (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2018). Assim, todo e qualquer método do tipo I (algumas vezes denomina-

<sup>3</sup> Considerando apenas a discussão deste artigo, esse raciocínio é também aplicado às análises de EE e MM, pois também constituem entidades analíticas obtidas por métodos do tipo I.

dos de métodos empíricos) deve ser seguido rigorosamente em todas as suas etapas metodológicas (MERTENS, 2003), pois qualquer desvio ou modificação arbitrária nos procedimentos implicará na definição de uma nova entidade analítica não comparável com aquela que deveria ser produzida pela aplicação do método original.

Os equívocos de procedimentos laboratoriais mais comuns irão superestimar o teor de FDN principalmente por contaminação por amido e/ou influência da gordura sobre a ação do detergente neutro (DETMANN, 2010; VALENTE et al., 2011). No primeiro caso, a utilização de uma  $\alpha$ -amilase termoestável deve ser vista como procedimento obrigatório na análise de FDN (MERTENS, 2002; VALENTE et al., 2011). Por outro lado, se amostras com alto teor de gordura são submetidas à extração com detergente neutro, pode ocorrer a formação de duas diferentes fases, formadas por compostos polares e apolares. Neste caso, pode ocorrer a migração do detergente para a fase apolar, que é formada pela gordura. Assim, a ação do detergente neutro se torna limitada na fase polar e o teor de FDN será superestimado. Amostras com teores de EE superior a 10% (com base na MS) devem ser parcialmente desengorduradas antes de serem submetidas à extração com detergente neutro (MERTENS, 2002; VALENTE et al., 2011).

Resíduos fibrosos mensurados gravimetricamente, como a FDN, estão sujeitos a contaminantes indesejados, porém inerentes ao método, os quais englobam, de forma geral, compostos nitrogenados e minerais, que levam à superestimação da fibra. Seguindo-se tal raciocínio, o teor de FDN somente pode ser adequadamente obtido considerando-se a contaminação pela proteína (PIDN) e pelas cinzas (CIDN) insolúveis em detergente neutro (DETMANN et al., 2008; DETMANN, 2010).

No entanto, as recomendações com relação às correções a serem realizadas sobre os teores de FDN são algumas vezes controversas e nem sempre seguem um padrão. As formas corrigidas de FDN com relação aos contaminantes descritos previamente são:

$$\text{FDN}_p = \text{FDN} - \text{PIDN} \quad (6);$$

$$FDNc = FDN - CIDN \quad (7);$$

$$FDNcp = FDN - (PIDN + CIDN) \quad (8);$$

em que: FDNp = FDN corrigida para proteína; FDNc = FDN corrigida para cinzas; e FDNcp = FDN corrigida para cinzas e proteína. Todos os termos são expressos como % da MS.

A FDNp (Equação 6) foi sugerida por HALL (2000) para que se procedesse à estimação dos CNF, incluindo-se dietas nas quais ureia for utilizada. Contudo, uma inconsistência química é observada devido ao fato de as CIDN serem parte da MM. Assim, a omissão da correção para cinzas levará a uma dupla subtração das CIDN na estimação dos teores de CNF.

Para ilustrar tal fato, a equação (2) pode ser reescrita utilizando-se duas pressuposições: 1. a FDN possui obrigatoriamente contaminação por minerais além da contaminação por proteína; e 2. a MM do alimento/dieta pode ser fracionada em duas porções, uma solúvel e outra insolúvel em detergente neutro. A partir disso, utilizando-se as equações (2) e (6), faz-se:

$$CNF = 100 - (CSDN + CIDN) - PB - EE - FDNp \quad (9a);$$

$$CNF = 100 - (CSDN + CIDN) - PB - EE - (FDNcp + CIDN) \quad (9b)$$

em que CSDN são as cinzas solúveis em detergente neutro (% da MS).

Reagrupando-se os termos da equação (9b):

$$CNF = 100 - CSDN - CIDN - PB - EE - FDNcp - CIDN \quad (9c);$$

$$CNF = 100 - CSDN - 2 \times CIDN - PB - EE - FDNcp \quad (9d).$$

Assim, se a correção para cinzas não for considerada, o teor de CNF apresentará vício negativo equivalente ao teor de CIDN. A mesma demonstração pode ser feita utilizando-se a equação (3) e a MOR (Tabela 1).

A utilização da FDNp foi sugerida pelo NRC (2001) em procedimento para se estimar o teor energético de alimentos e dietas para bovinos. Contudo, mais uma vez se observa inconsistência nutricional (além da questão da subestimação dos CNF), pois cinzas

não produzem energia (DETMANN et al., 2008). Logo, a correta utilização da FDN em modelos de produção de energia deve obrigatoriamente considerar a correção concomitante para CIDN.

Por outro lado, no método oficial para análise de FDN adotado pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC; MERTENS, 2002) somente a correção para cinzas foi considerada (FDNc; Equação 7). Pressupondo-se que a PB de um alimento pode ser fracionada em uma porção solúvel e outra insolúvel em detergente neutro e utilizando-se as equações (2) e (7), faz-se:

$$CNF = 100 - MM - (PSDN + PIDN) - EE - FDNc \quad (10a);$$

$$CNF = 100 - MM - PSDN - PIDN - EE - (FDNcp + PIDN) \quad (10b);$$

$$CNF = 100 - MM - PSDN - 2 \times PIDN - EE - FDNcp \quad (10c);$$

em que PSDN é a proteína solúvel em detergente neutro (% da MS).

Desta forma, a utilização da FDNc implicará subestimação dos CNF pois haverá dupla subtração da fração PIDN. Analogamente, a demonstração apresentada da equação (10) é facilmente aplicada à equação (3) e à MOR (Tabela 1).

**Tabela 1.** Exemplo teórico da estimação dos teores de CNF e MOR utilizando-se diferentes aproximações para a FDN

Item	Teor <sup>1</sup>	
MM	5,0	
PB	21,5	
EE	3,8	
Amido	48,5	
FDN	20,3	
PIDN	3,4	
CIDN	1,5	
FDNc <sup>2</sup>	18,8	
FDNp <sup>2</sup>	16,9	
FDNcp <sup>2</sup>	15,4	
	Estimativa	Vício
CNF (usando FDN)	49,4	-4,9 (PIDN + CIDN)
MOR (usando FDN)	0,9	
CNF (usando FDNc)	50,9	-3,4 (PIDN)
MOR (usando FDNc)	2,4	
CNF (usando FDNp)	52,8	-1,5 (CIDN)
MOR (usando FDNp)	4,3	
CNF (usando FDNcp)	54,3	
MOR (usando FDNcp)	5,8	

<sup>1</sup> % da MS. <sup>2</sup> c e p indicam correções para cinzas e proteína, respectivamente.

No método adotado pela AOAC não se considera o fato de a proteína ser o principal contaminante da fibra mensurada gravimetricamente (VAN SOEST, 1994). A despeito da inclusão de sulfato de sódio na solução de detergente (MERTENS, 2002), deve ser ressaltado que este composto químico não remove toda a proteína contaminante. Adicionalmente, o sulfato pode extrair parte da lignina e de outros componentes da fibra insolúvel (VAN SOEST et al., 1991; GOMES et al., 2012) e sua utilização não tem sido recomendada no Brasil (GOMES et al., 2012; DETMANN et al., 2016).

Em adição, a ausência de correções para cinzas e proteína poderá acarretar em distorções sobre os coeficientes de digestibilidade da FDN e dos CNF ou MOR em ensaios com animais (CHIZZOTTI et al., 2007; TEBBE et al., 2017). Portanto, a FDNcp (Equação 8) deve ser usada no processo de estimativa dos CNF e da MOR.

Considerando-se os argumentos até aqui apresentados, na avaliação de concentrados ou dietas contendo ureia os CNF e a MOR devem, portanto, ser estimados como:

$$\text{CNF} = 100 - \text{MM} - \text{EE} - \text{FDN}_{\text{cp}} - (\text{PB} - \text{PBU} + \text{U}) \quad (11);$$

$$\text{MOR} = 100 - \text{MM} - \text{EE} - \text{A} - \text{FDN}_{\text{cp}} - (\text{PB} - \text{PBU} + \text{U}) \quad (12).$$

Quando a ureia não for utilizada, as equações (11) e (12) convergirão para:

$$\text{CNF} = 100 - \text{MM} - \text{EE} - \text{FDN}_{\text{cp}} - \text{PB} \quad (13);$$

$$\text{MOR} = 100 - \text{MM} - \text{EE} - \text{A} - \text{FDN}_{\text{cp}} - \text{PB} \quad (14).$$

Deve ser novamente enfatizado que a não consideração da ureia causará subestimação dos CNF e da MOR (Tabela 2). Por outro lado, quando a correção para o teor de ureia é aplicada, verifica-se que a soma dos grupos de compostos químicos não produz 100% (Tabela 2;  $\text{MM} + \text{PB} + \text{EE} + \text{FDN}_{\text{cp}} + \text{CNF} = 103,2\%$ ). Contudo, isto não deve ser visto como vício, mas somente como um reflexo do entendimento mais correto da dieta avaliada.

**Tabela 2.** Exemplo teórico do processo de estimativa dos teores de CNF e MOR em uma dieta contendo ureia

Item	Teor <sup>1</sup>	
MM	6,0	
PB	13,2	
Ureia:Sulfato de amônio (9:1) (U)	2,0	
PBU <sup>2</sup>	5,2	
EE	2,6	
Amido	28,2	
FDNcp	40,5	
	Estimativa	Vício
CNF (não se considerando a ureia)	37,7	-3,2 (PBU - U)
MOR (não se considerando a ureia)	9,5	
CNF (considerando a ureia)	40,9	-
MOR (considerando a ureia)	12,7	

<sup>1</sup> % da MS. <sup>2</sup> Assumindo-se 260% de PB na mistura ureia:sulfato de amônio.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à CAPES, à FAPEMIG e ao INCT Ciência Animal pelo suporte.

## REFERÊNCIAS

- CHIZZOTTI, M.L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D.; CHIZZOTTI, F.H.M.; MARCONDES, M.I.; FONSECA, M.A. Consumo, digestibilidade e excreção de uréia e derivados de purinas em vacas de diferentes níveis de produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.138-146, 2007.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **Procedural manual**. 26th ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 253p.
- CORONA, L.; OWENS, F.N.; ZINN, R.A. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v.84, p.3020-3031, 2006.
- DETMANN, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras. In: PEREIRA, E.S.; PIMENTEL, P.G.; QUEIROZ, A.C. (Eds.) **Novilhas leiteiras**. Fortaleza: Graphiti, 2010. p.253-302.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, p. 980-984, 2010.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S.; HENRIQUES, L.T.; PAULINO, M.F.; MAGALHÃES, K.A.; SILVA, P.A.; CHIZZOTTI, M.L. Prediction of the energy value of cattle diets

- based on chemical composition of the feeds under tropical conditions. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.124-147, 2008.
- DETMANN, E.; SILVA, T.E.; VALADARES FILHO, S.C.; SAMPAIO, C.B.; PALMA, M.N.N. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of feeds. In: VALADARES FILHO; S.C.; COSTA E SILVA, L.F.; GIONBELLI, M.P.; ROTTA, P.P.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; PRADOS, L.F. (Org.). **Nutrient requirements of zebu and crossbred cattle BR-CORTE**. 3ed. Viçosa: DZO-UFV, 2016. p.85-118.
- GOMES, D.I.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; MEZZOMO, R.; SOUZA, N.K.P.; QUEIROZ, A.C.; DETMANN, K.S.C. Evaluation of sodium sulfite and protein correction in analyses of fibrous compounds in tropical forages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, p.225-231, 2012.
- HALL, M.B. **Neutral detergent-soluble carbohydrates**. Nutritional relevance and analysis. Gainesville: University of Florida, 2000. 76p.
- MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1463-1481, 1997.
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, p.1217-1240, 2002.
- MERTENS, D.R. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. **Journal of Animal Science**, v.81, p.3233-3249, 2003.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7 ed. Washington: Academic Press, 2001. 381p.
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE – NASEM. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 8 ed. Washington: National Academies Press, 2021. 365p. (prepublication copy).
- ROJAS-BONZI, P.; VANGSØE, C.T.; NIELSEN, K.L.; LÆRKE, H.N.; HEDEMANN, M.S.; KNUDSEN, K.E.B. The relationship between in vitro and in vivo starch digestion kinetics of breads varying in dietary fibre. **Foods**, v.9, p.1337, 2020.
- SHEN, Y.; ZHAO, F.; YU, L.; YANG, W.; WANG, M.; WANG, H. Starch sources and concentration in diet of dairy goats affected ruminal pH and fermentation, and inflammatory response. **Animal Production Science**, v.59, p.1640-1647, 2018.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, A.C.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3562-3577, 1992.
- SUKHIJA, P.S., PALMQUIST, D.L. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.36, p.1202-1206, 1988.
- TEBBE, A.W.; FAULKNER, M.J.; WEISS, W.P. Effect of partitioning the nonfiber carbohydrate fraction and neutral detergent fiber method on digestibility of carbohydrates by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.100, p.6218-6228, 2017.
- VALENTE, T.N.P.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F.; FIGUEIRAS, J.F.; SOUZA, M.A. Simulation of variations in the composition of samples in the evaluation of neutral detergent fiber contents by using cellulose standard in filter bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1596-1602, 2011.
- Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- Van SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A.S. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.
- WEISS, W.P.; WYATT, D.J. Effect of dietary fat and vitamin e on  $\alpha$ -tocopherol in milk from dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.3582-3591, 2003.
- WHITE, R.R.; ROMAN-GARCIA, Y.; FIRKINS, J.L.; VANDEHAAR, M.J.; ARMENTANO, L.E.; WEISS, W.P.; MCGILL, T.; GARNETT, R.; HANIGAN, M.D. Evaluation of the National Research Council (2001) dairy model and derivation of new prediction equations. 1. Digestibility of fiber, fat, protein, and nonfiber carbohydrate. **Journal of Dairy Science**, v.100, p.3591-3610, 2017.
- ZURAK, D.; KLJAK, K.; GRBEŠA, D. The composition of floury and vitreous endosperm affects starch digestibility kinetics of the whole maize kernel. **Journal of Cereal Science**, v.95, p.103079, 2020.