

Caroço de algodão como fonte de fibra e proteína em dietas à base de palma forrageira para vacas em lactação: digestibilidade

Airon Aparecido Silva de Melo¹, Marcelo de Andrade Ferreira^{1*}, Antonia Sherlânea Chaves Verás¹, Mario de Andrade Lira¹, Luiz Evandro de Lima², Ricardo Alexandre Silva Pessoa¹, Safira Valença Bispo¹, Ana Maria Duarte Cabral¹ e Marcilio de Azevedo¹

¹Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, Pernambuco, Brasil. ²Empresa Pernambucana de Pesquisa em Agropecuária (IPA). *Autor para correspondência. e-mail: ferreira@ufrpe.br

RESUMO. O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de cinco níveis de caroço de algodão (0,00; 6,25; 12,50; 18,75; e 25,00%) em substituição parcial ao farelo de soja e silagem de sorgo, sobre a digestibilidade aparente dos nutrientes e absorção aparente de minerais. Cinco vacas da raça Holandesa foram distribuídas em quadrado latino (5X5). A digestibilidade aparente da matéria seca, matéria orgânica, carboidratos totais, carboidratos-não-fibrosos, fibra em detergente neutro e NDT estimado no ensaio de digestibilidade não foram influenciados pelo caroço de algodão (69,25; 69,33; 68,37; 81,42; 49,52; e 70,62%, respectivamente). A digestibilidade aparente da proteína bruta diminuiu e a do extrato etéreo aumentou linearmente com a inclusão do caroço de algodão. A absorção aparente dos minerais não foi influenciada (50,67; 35,7; 91,03; 86,38 e 29,17% para Ca, P, K, Na e Mg, respectivamente).

Palavras-chave: cactáceas, energia, fibra, minerais, semi-árido.

ABSTRACT. Whole cottonseed as fiber and protein source in forage-cactus-based diets for lactating dairy cows: digestibility. The aim of this work was to evaluate the effect of five levels of whole cottonseed (0.00; 6.25; 12.50; 18.75; e 25.00%) in partial replacement of soybean meal and sorghum silage, on the apparent nutrients digestibility and apparent minerals absorption. Five Holstein cows were assigned in one (5X5) latin square design. The apparent digestibility of dry matter, organic matter, total carbohydrates, nonfiber carbohydrates, neutral detergent fiber and TDN estimated in a digestibility trial was not affected by whole cottonseed levels (69.25; 69.33; 68.37; 81.42; 49.52; and 70.62%, respectively). The crude protein apparent digestibility decreased and ether extract apparent digestibility increased linearly by the increase of whole cottonseed. Minerals apparent absorption was not affected by whole cottonseed levels (50.67; 35.7; 91.03; 86.38; and 29.17% for Ca, P, K, Na e Mg, respectively).

Key words: cactus, energy, fiber, mineral, semi-arid.

Introdução

A alimentação dos rebanhos explorados para produção de leite na região semi-árida de Pernambuco fundamenta-se de forma predominante no pastejo de forrageiras cultivadas e nativas, aspecto que imprime características acentuadamente estacionais à produção de leite.

Por outro lado, a região utiliza como base da alimentação do rebanho leiteiro no período seco do ano a palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) como volumoso, cultivo largamente difundido nas principais bacias leiteiras da região, devido ser uma cultura adaptada às condições edafo-climáticas e apresentar altas produções de matéria seca por unidade de área

(Santos *et al.*, 1997); além de ser uma excelente fonte de energia, rica em carboidratos-não-fibrosos (Wanderley *et al.*, 2002) e nutrientes digestíveis totais (Magalhães, 2002; Melo *et al.*, 2003). Porém, a palma apresenta baixa porcentagem de constituintes da parede celular e, quando fornecida isoladamente como volumoso exclusivo, tem provocado distúrbios metabólicos, tais como: pouca ruminação e diarreias (Santana *et al.*, 1972); além de variação negativa do peso vivo dos animais (Santana *et al.*, 1972; Santos *et al.*, 1990), mesmo em dietas com nutrientes suficientes para as produções observadas. Quando do uso de dietas com elevada concentração de palma forrageira, eleva-se a porcentagem de carboidratos não-fibrosos, com isto diminuindo a digestibilidade

dos nutrientes (Andrade *et al.*, 2002).

Santos *et al.* (1997) relataram que a palma forrageira, apesar de ter um bom valor nutritivo, necessita ser complementada com outros volumosos a exemplo de silagens, feno e capins.

Porém, a produção de volumoso em quantidade e qualidade na região semi-árida torna-se difícil devido à irregularidade das chuvas e/ou anos de baixa precipitação pluviométrica, aumentando o risco de insucesso na criação e a busca de novas alternativas que venham complementar ou corrigir o déficit nutricional da palma forrageira, como é o caso do caroço de algodão, fonte de fibra não-forragem e proteína, nutriente extremamente oneroso na dieta de vacas em lactação, uma vez que, em geral, utiliza-se como fonte protéica o farelo de soja.

A digestibilidade do alimento é definida como o processo de conversão de macromoléculas da dieta em compostos mais simples, que podem ser absorvidos a partir do trato gastrointestinal (Van Soest, 1994). Essa conversão é expressa pelo coeficiente de digestibilidade do nutriente em apreço. Geralmente na avaliação de alimentos para ruminantes utiliza-se o coeficiente de digestibilidade aparente, o qual é definido como a parte de um determinado nutriente do alimento que não é excretada nas fezes (Silva e Leão, 1979).

O método convencional de coleta total de fezes é utilizado para quantificar a produção de matéria seca fecal (PMSF) e posteriormente determinação do coeficiente de digestibilidade aparente. Mas, a digestibilidade dos nutrientes pode ser estimada por meio da utilização de indicadores internos, presentes nos alimentos, possibilitando a predição da PMSF. Nesse contexto, a fibra indigestível em detergente neutro ou ácido, após 144 horas de incubação *in vitro*, ou *in situ*, tem sido largamente utilizada como indicadora em estudos de digestibilidade (Cochram *et al.*, 1986; Berchielli *et al.*, 2000).

A digestibilidade dos nutrientes é a forma primária de determinação do valor energético dos alimentos, na forma de nutrientes digestíveis totais (NDT), a partir dos quais pode-se estimar as concentrações de energia digestível, metabolizável e líquida. Outra maneira de conhecer o valor energético dos alimentos é por meio de equações utilizadas para sua estimativa, dentre as quais, a proposta pelo NRC (2001), que através de análises químicas laboratoriais estima os valores de NDT de manutenção.

Existem vários fatores que influenciam a digestibilidade dos nutrientes, entre eles o consumo de alimento, proporção da parede celular,

composição da dieta, preparo dos alimentos, teor e composição de gorduras na dieta. Segundo Jenkins *et al.* (1993), lipídios adicionados à dieta podem alterar a fermentação ruminal, causando redução na digestibilidade das fontes de energia não-lipídicas. A digestão ruminal dos carboidratos estruturais pode ser reduzida em 50% ou mais, com teor de lipídios na ração menor do que 10%, ou seja, acima dos 5 a 7% preconizados para animais ruminantes.

Nesse contexto, vários trabalhos foram realizados com o objetivo de determinar a digestibilidade aparente dos nutrientes, entre eles o de Villela *et al.* (1997), em que se avaliou o efeito de rações concentradas com diferentes níveis de caroço de algodão (0,00; 10,00; 20,00; e 30,00%), associados à silagem de milho, sobre a digestibilidade aparente dos nutrientes, quando fornecidas *ad libitum* para vacas em produção leiteira média de 25 kg/dia. Os referidos autores não observaram efeito significativo para as variáveis estudadas, exceto para a digestibilidade do extrato etéreo que aumentou linearmente.

Smith *et al.* (1981) realizaram estudo com o objetivo de determinar a digestibilidade aparente dos nutrientes em animais alimentados com dieta total. Foram utilizadas 4 vacas da raça Holandesa alimentadas com dietas contendo feno de alfafa, como volumoso exclusivo e quatro níveis de inclusão do caroço de algodão (0; 5; 15; e 25% da MS da dieta) em substituição à forragem. O consumo de matéria seca (CMS) (19,75 kg/dia) e a produção do leite (20,75 kg/dia) foram similares para todos os tratamentos, diferentemente das digestibilidades de extrato etéreo (EE) e nitrogênio (N) que aumentaram linearmente.

No mesmo sentido, Harvatini *et al.* (2002) conduziram experimento com vacas em lactação, objetivando avaliar a potencial interação na digestibilidade dos nutrientes quando a fibra em detergente neutro (FDN) da forragem foi substituída gradativamente pela FDN do caroço de algodão. O caroço de algodão foi incluído na dieta em substituição nos níveis de 5; 10; e 15% da MS total. A digestibilidade aparente da matéria orgânica não foi influenciada pelos tratamentos experimentais, com média de 70,90%, ao mesmo tempo em que a digestibilidade da FDN decresceu linearmente.

Experimento realizado por Bernard *et al.* (1997), com vacas da raça Holandesa em lactação, visaram avaliar o efeito do processamento do caroço de algodão na digestibilidade dos nutrientes e produção de leite, em que os tratamentos experimentais foram: a inclusão de 15% da MS da dieta de caroço

de algodão (CA); CA tostado; CA tostado e peletizado e farelo de soja e CA extrusado. As digestibilidades aparentes observadas para a dieta com CA para as variáveis MS, proteína bruta (PB) e FDN foram: 67,57; 68,35 e 51,39%, respectivamente.

Sullivan *et al.* (1993) desenvolveram experimento utilizando subprodutos do algodão na dieta de vacas leiteiras em lactação, em que foram incluídos 15% na MS da dieta. A digestibilidade observada para caroço de algodão foi de 59,6; 64,4; 37,00 e 78,8% para as variáveis MS; PB; FDN e EE, respectivamente. Ao mesmo tempo foi quantificada a excreção de semente de algodão nas fezes em relação ao consumo, observando-se perdas da ordem de 6,2% para dieta composta pelo caroço de algodão integral.

A palma forrageira contém alta porcentagem de minerais, com destaque para os macrominerais cálcio (Ca) e Potássio (K) em maior abundância e fósforo (P) em baixa concentração, portanto apresentando uma larga amplitude na relação Ca:P. Neste sentido, quando do fornecimento da palma forrageira na dieta de vacas em lactação deve-se atentar para o balanceamento dos macrominerais, principalmente da relação Ca:P, respeitando a amplitude de segurança sugerida pelo NRC (2001) de 1:1 a 7:1 e a interferência na absorção.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da inclusão do caroço de algodão em substituição de parte da silagem de sorgo e farelo de soja sobre os coeficientes de digestibilidade e absorção aparente dos nutrientes e dos teores de NDT, estimados segundo modelo proposto pelo NRC (2001), em ensaio de digestibilidade.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de São Bento do Una-PE, pertencente à Empresa Pernambucana de Pesquisa em Agropecuária - IPA, no período de agosto a novembro de 2002.

Foram utilizadas cinco vacas da raça Holandesa, em lactação, com peso vivo (PV) médio de 645 kg e período de lactação em torno de 50 dias com produção de leite inicial em torno de 35 kg por dia. Os animais foram alojados em baias individuais, com cerca de arame farpado e piso de terra batida, com área coberta de 3 m², dotadas de cocho para fornecimento de alimentos e bebedouro para fornecimento de água à vontade.

Os animais foram distribuídos em quadrado latino 5 x 5, sendo 5 animais, 5 níveis de caroço de

algodão (0,00; 6,25; 12,50; 18,75 e 25,00% da MS da dieta) em substituição à silagem de sorgo e farelo de soja, constituindo os tratamentos e 5 períodos experimentais. Cada período teve duração de 17 dias, sendo 10 para adaptação dos animais às dietas e 7 dias para coleta dos dados e amostras. O arraçãoamento foi feito três vezes ao dia, às 6; 14; e 18 horas, sendo 40%; 30%; e 30%, respectivamente, do total da matéria seca (MS) fornecida, na forma de ração completa, permitindo sobras de 5 a 10%.

Durante o período de coleta, amostras dos alimentos fornecidos, bem como das sobras, foram recolhidas diariamente pela manhã, pré-secas em estufa de ventilação forçada e armazenadas para posterior processamento, sendo que ao final do experimento foi feita uma amostra composta por período. Posteriormente, as amostras foram submetidas a análises bromatológicas e de macrominerais nos laboratórios de Nutrição Animal e Química do Solo dos Departamentos de Zootecnia e Agronomia, respectivamente, da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As determinações de MS, matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) e magnésio (Mg) foram efetuadas segundo metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). Para determinação das frações da parede celular (fibra em detergente neutro FDN e fibra em detergente ácido FDA) utilizou-se metodologia recomendada pelo fabricante do aparelho Ankom, com modificação em relação aos sacos, nos quais utilizaram-se sacos de nylon. Quanto às determinações de FDN dos ingredientes concentrados e da palma forrageira foram utilizadas alfa-amilase e uréia a 8 molar. Em todas as amostras, a FDN foi corrigida para cinza e proteína, o resíduo da digestão em detergente neutro foi incinerado em mufla a 600°C por 3 horas e a correção para proteína foi efetuada utilizando a proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN). Para determinação da lignina (LDA) foi usada metodologia descrita por Van Soest (1967), utilizando ácido sulfúrico a 72%. Na determinação de PIDN e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) foi empregada metodologia descrita por Licitra *et al.* (1996).

A coleta de amostras de fezes foi realizada diretamente na ampola retal dos animais no 12º dia pela manhã e 16º dia à tarde de cada período experimental. As fezes foram colocadas em estufa de ventilação forçada, pré-secas à 60°C e, posteriormente, moídas em moinho de peneira com crivo de 1 mm de diâmetro, para futuras análises. Na estimativa da produção de matéria seca fecal e determinação dos coeficientes de digestibilidade

aparente dos nutrientes foi utilizada a fibra em detergente ácido indigestível (FDAI) como indicador interno (Cochran *et al.*, 1986), sendo que amostras do alimento fornecido, fubá de milho, farelo de soja e palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) 1,0 g, silagem, sobras e fezes (0,5 g) foram acondicionadas em sacos de Ankon, incubadas *in situ* por 144 horas (Craig *et al.*, 1984), em bovino com fístula permanente no rúmen, determinando-se em seguida a FDA remanescente, que foi considerada FDAI.

Para estimativa dos carboidratos totais (CHT) foi usada equação proposta por Sniffen *et al.* (1992): $CHT = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$ e, para estimativa dos carboidratos-não-fibrosos (CNF), foi usada a equação preconizada por Hall *et al.* (1999): $CNF = \%CHT - \%FDNC_{cp}$, sendo a FDN corrigida para cinza e proteína (FDN_{cp}). Para o cálculo dos nutrientes digestíveis totais no ensaio de digestibilidade (NDT_{ED}), utilizou-se equação proposta por Weiss (1999): $NDT_{ED} = (PBD + CNFD + FDN_{cp}D + (EED * 2,25))$, onde PBD; CNFD; FDN_{cp}D e EED significam, respectivamente, consumos de PB, CNF, FDN e EE digestíveis, com a FDN corrigida para cinza e proteína.

Para estimativa dos teores de NDT de manutenção (NDT_{1x}) foram utilizadas as equações do programa computacional do NRC (2001). Para tal, foi estimado o NDT_{1x} dos alimentos fornecidos e calculado o NDT_{1x} da dieta, em seguida estimaram-se o NDT_{1x} das sobras e, por diferença, o NDT_{1x} consumido pelos animais. Utilizando-se o fator de desconto para nível de consumo acima da manutenção, determinaram-se os nutrientes digestíveis totais de produção (NDT_p) e, em seguida, a energia líquida de lactação (ELI). Para determinação da energia líquida de lactação no ensaio de digestibilidade

utilizaram-se as mesmas equações do NRC (2001), com exceção para determinação da energia digestível, que foi estimada sem subtrair 0,3 da energia metabólica fecal e sem utilização do fator de correção para o consumo acima da manutenção, uma vez que, já estão incluídos na estimativa da digestibilidade aparente.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas, respectivamente, as composições bromatológica e química dos ingredientes e as composições percentuais, bromatológica e química das dietas totais.

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão utilizando-se o sistema de Análise Estatística e Genética, SAEG (UFV, 1998). Os critérios utilizados para escolha do modelo foram a significância dos coeficientes de regressão observada por meio do teste F e o coeficiente de determinação (r^2), obtido pela relação entre a soma dos quadrados da regressão e a soma de quadrados dos tratamentos.

Resultados e discussão

As médias referentes aos coeficientes de digestibilidade aparente nas semanas de coleta, bem como os respectivos coeficientes de variação, equações de regressão e significância para os modelos linear e quadrático, em função dos níveis de inclusão do caroço de algodão nas dietas totais, são mostrados na Tabela 3.

Os coeficientes de digestibilidade aparente dos diferentes nutrientes estão próximos daqueles verificados na literatura consultada, indicando que a utilização do indicador interno fibra em detergente ácido indigestível (FDAi) estima com segurança a produção de matéria seca fecal, conforme sugerido por Berchielli *et al.* (2000).

Tabela 1. Composições química-bromatológica dos ingredientes das dietas.

Ingredientes	Palma	Silagem de sorgo	Caroço de algodão	Farelo de soja	Fubá de milho
MS (%)	8,00	26,51	92,60	88,86	86,47
MO ¹	90,50	95,03	96,40	94,18	98,71
PB ¹	5,09	6,26	21,03	51,24	10,07
PIDN ¹	1,75	2,01	1,93	2,17	1,67
PIDA ¹	0,58	1,15	1,59	1,53	0,86
EE ¹	1,94	1,78	21,20	2,94	4,21
CHT ¹	83,47	86,99	57,17	40,00	84,43
CNF _{cp} ¹	55,81	12,7	9,20	32,21	75,31
FDN _{cp} ¹	27,67	74,28	44,97	7,79	9,05
FDA ¹	22,31	49,83	33,32	5,12	3,19
LIGNINA ¹	5,20	7,80	10,12	1,99	1,44
NDT _{1x} ¹	65,56	51,00	84,33	82,16	84,15
Ca ¹	2,25	0,46	0,70	0,35	0,05
P ¹	0,28	0,36	0,73	0,60	0,30
K ¹	1,10	1,04	0,65	2,26	0,31
Na ¹	0,10	0,15	0,08	0,04	0,02
Mg ¹	1,07	0,59	0,75	0,67	0,20

FDN_{cp} = fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína; CNF_{cp} = carboidrato-não-fibroso corrigido para cinza e proteína; NDT_{1x} = nutrientes digestíveis totais ao nível de manutenção estimados pelo NRC (2001); 1 = % na MS.

Tabela 2. Composições percentual, química-bromatológica das dietas.

	Níveis de caroço de algodão (%)				
	0,00	6,25	12,50	18,75	25,00
	Ingredientes (% da matéria seca da dieta total)				
Palma	28,92	29,46	29,21	28,74	29,29
Silagem de sorgo	27,27	23,68	19,54	15,84	12,13
Caroço algodão	0,00	6,25	12,72	19,39	25,43
Farelo de soja	23,88	20,9	18,66	16,08	13,27
Fubá milho	18,91	18,7	18,86	18,93	18,58
Mistura mineral	1,02	1,01	1,02	1,02	1,01
	Composição química-bromatológica				
MS (%)	19,45	19,46	20,14	20,36	20,83
MO ¹	93,24	93,33	93,46	93,58	93,66
PB ¹	17,30	16,89	16,85	16,68	16,29
PIDN ¹	1,89	1,88	1,86	1,86	1,84
PIDA ¹	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07
EE ¹	2,25	3,73	4,97	6,24	7,38
CHT ¹	73,69	72,71	71,64	70,66	69,99
CNFcp ¹	41,54	40,84	40,17	39,27	38,66
FDNcp ¹	31,83	31,87	31,49	31,40	31,35
FDA ¹	22,58	22,67	22,60	22,67	22,72
LIGNINA	4,38	4,70	4,97	5,28	5,57
NDT _{1x} (%) ¹	68,40	69,57	71,04	72,41	73,36
Ca ¹	1,31	1,31	1,27	1,29	1,33
P ¹	0,50	0,54	0,54	0,58	0,63
K ¹	1,20	1,14	1,08	1,03	0,97
Na ¹	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Mg ¹	0,66	0,68	0,68	0,69	0,70

FDNc = fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína; CNFcp = carboidrato-não-fibroso corrigido para cinza e proteína; NDT_{1x} = nutrientes digestíveis totais ao nível de manutenção estimados pelo NRC (2001); 1 = % na MS.

Tabela 3. Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) médios, coeficientes de variação (CV), equações de regressão (ER) e probabilidade (P) referente aos efeitos linear (L) e quadrático (Q), em função do nível de inclusão do caroço de algodão.

CDA	Níveis de caroço de algodão (%)					CV (%)	ER	P	
	0,00	6,25	12,50	18,75	25,00			L	Q
MS	69,86	70,55	68,92	69,41	67,52	2,96	$\bar{Y} = 69,25$	NS	NS
MO	70,24	67,64	70,33	69,70	68,74	5,38	$\bar{Y} = 69,33$	NS	NS
PB	77,54	76,25	76,06	72,60	72,85	4,98	1	0,01	NS
EE	67,57	70,10	79,25	77,22	80,79	6,79	2	0,00	NS
CHT	68,29	70,31	68,62	68,39	66,26	4,44	$\bar{Y} = 68,37$	NS	NS
CNFcp	80,99	83,3	80,85	79,62	82,33	4,81	$\bar{Y} = 81,42$	NS	NS
FDNcp	49,05	49,93	50,73	52,75	45,10	10,29	$\bar{Y} = 49,52$	NS	NS

NS = não significativo; CNFcp = carboidrato-não-fibroso corrigido para cinza e proteína; FDNcp = fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína; 1 = $\bar{Y} = 78,49 - 0,24$ CA $r^2 = 0,83$; 2 = $\bar{Y} = 68,27 + 0,53$ CA $r^2 = 0,83$

Ao incluir caroço de algodão nas dietas em substituição de parte da silagem de sorgo e farelo de soja não foi verificada influência em relação aos coeficientes de digestibilidade aparente de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO) e carboidratos. Esse fato ocorreu, provavelmente, devido ao correto balanceamento dos nutrientes dietéticos (Tabela 2), principalmente os carboidratos-não-fibrosos e carboidratos estruturais fornecidos na dieta, que se encontravam dentro das sugestões do NRC (2001), que são de um mínimo de 29% de FDN, dos quais 59% oriundos de forragem, ou seja, de uma fonte de fibra efetiva e 19% de FDA, para uma dieta com teor máximo de 40% de CNF, para garantir ambiente favorável ao desenvolvimento dos microrganismos, principalmente bactérias celulolíticas; do percentual de extrato etéreo (EE), que ficou próximo da recomendação do NRC (2001) de, no máximo, 7% da matéria seca (MS) da dieta e do excesso de cálcio

(CA) que segundo Palmquist e Jenkins (1980), citados por Coppock *et al.* (1987), o excesso ou suplementação com cálcio são efetivos na prevenção do efeito inibitório da digestibilidade dos constituintes da parede celular. As digestibilidades aparentes médias observadas para MS e MO foram de 69,25 e 69,33%, respectivamente. Portanto, próximas às médias observadas por Smith *et al.* (1981) e Bernard *et al.* (1997), em relação à digestibilidade da MS (65,60 e 67,57%, respectivamente), e Harvatini *et al.* (2002), quanto à digestibilidade da MO (70,90%), quando incluíram caroço de algodão (CA) em dietas para vacas em lactação.

No entanto, foi observado efeito dos tratamentos com relação aos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE), sendo que a digestibilidade da PB apresentou comportamento linear

decrecente e a de EE linear crescente. Com relação ao coeficiente de digestibilidade da PB, esse fato ocorreu, possivelmente, devido à substituição de parte do farelo de soja pelo caroço de algodão inteiro, uma vez que o farelo de soja era fornecido desintegrado em moinho de martelo com peneira de fino crivo, aumentando a área de exposição da partícula do alimento para atuação dos microrganismos e enzimas digestivas. Fato que não ocorreu com o caroço de algodão, uma vez que, após lavagem das fezes dos animais em peneira de tela, observaram-se sementes inteiras, portanto carreando parte da proteína que seria fornecida pelo caroço de algodão. Essas perdas referentes ao caroço de algodão nas fezes foram quantificadas por Sullivan *et al.* (1993), que observaram perdas da ordem de 6,2 pontos percentuais em relação ao consumo, quando foram incorporados a dieta 15% de caroço de algodão, justificando o efeito linear decrescente verificado no presente trabalho.

Em relação ao coeficiente de digestibilidade do EE, a única certeza, quando da utilização do caroço de algodão em dietas para vacas em lactação, é o aumento do coeficiente de digestibilidade do EE, que segundo Coppock *et al.* (1987), ocorre devido à diluição do efeito da gordura metabólica fecal pelo aumento no consumo de EE.

Vale lembrar que o principal objetivo da digestibilidade dos nutrientes em dietas totais é a quantificação da energia disponível aos animais, por meio dos nutrientes digestíveis totais (NDT). Segundo Weiss (1999), apesar do conhecimento das limitações de seu uso, o NDT ainda é utilizado para calcular a maioria das formas de energia, tais como energia digestível e energia líquida de lactação.

Na Tabela 4 são apresentados os teores médios estimados dos nutrientes digestíveis totais e energia líquida de lactação das dietas, em função dos níveis de caroço de algodão.

Tabela 4. Estimativas dos nutrientes digestíveis totais (NDT) e energia líquida de lactação (ELI), coeficientes de variação (CV), equações de regressão (ER) e probabilidade (P) referente aos efeitos linear (L) e quadrático (Q), em função do nível de inclusão do caroço de algodão.

Estimativas	Níveis de caroço de algodão (%)					CV (%)	ER	P	
	0,00	6,25	12,50	18,75	25,00			L	Q
NDT _{ED} (%)	67,33	71,04	71,45	71,93	71,35	5,41	$\bar{Y} = 70,62$	NS	NS
ELI _{ED} (Mcal/kg MS)	1,64	1,75	1,75	1,76	1,73	6,97	$\bar{Y} = 1,72$	NS	NS
NDT _{IX}	69,73	70,48	74,47	73,25	74,95	3,80	1	0,00	NS
NDT _P	64,54	66,58	67,01	66,27	67,74	2,65	2	0,00	NS
ELI _P (Mcal/kg MS)	1,57	1,59	1,64	1,63	1,67	3,28	3	0,00	NS

NS = não significativo; NDT_{ED} = nutrientes digestíveis totais estimado no ensaio de digestibilidade; ELI_{ED} = energia líquida de lactação estimado no ensaio de digestibilidade; NDT_{IX} = nutrientes digestíveis totais ao nível de manutenção estimados pelo NRC (2001); NDT_P = nutrientes digestíveis totais de produção estimados segundo NRC (2001); ELI_P = energia líquida de lactação do NRC (2001). 1 = $\bar{Y} = 69,97 + 0,20CA$ $r^2 = 0,77$ 2 = $\bar{Y} = 64,71 + 0,11CA$ $r^2 = 0,82$; 3 = $\bar{Y} = 1,57 + 0,0038CA$ $r^2 = 0,86$

No presente trabalho não se verificaram efeito dos tratamentos sobre os teores de NDT_{ED} (Tabela 4). Esse fato ocorreu, provavelmente, devido às interações ocorridas entre alimento-animal, principalmente os nutrientes que são utilizados para estimar o teor de NDT, como proteína e carboidratos estruturais, pois, os teores de NDT de manutenção e de produção estimados através das equações do NRC (2001) (Tabela 4) foram influenciados pelos tratamentos experimentais, seguindo a mesma tendência da dieta fornecida aos animais (Tabela 2). Com base nos resultados dos NDT estimados foi efetuada regressão entre os valores dos NDT_{ED} e NDT_P, cuja equação foi $\hat{Y} = -17,314 + 1,3227 \text{ NDT}_P$ e coeficiente de correlação r de 0,84.

Esses efeitos diferentes ocorreram, provavelmente devido a fatores que interferem na digestibilidade dos nutrientes e não foram incluídos na equação proposta pelo NRC (2001), como por exemplo, o fato da proteína ligada ao caroço de algodão que escapa a digestão ou mesmo o efeito depressivo das gorduras nas digestibilidades aparentes de frações dos carboidratos estruturais, como a de FDN, que no presente experimento não foi influenciada pela inclusão do caroço de algodão, mas numericamente diminuiu 4,4 pontos percentuais no último tratamento em relação à média observada, ou seja, 10,89% a menos em relação a média dos quatro primeiros tratamentos.

Em relação à energia líquida de lactação, foi verificada a mesma tendência observada para o NDT, uma vez que foi estimada a partir dos respectivos valores.

Deve ser salientado que, as médias do NDT_{IX} e NDT_P encontram-se próximas à média do NDT_{ED}, podendo-se inferir que em condições de campo onde haja dificuldades para desenvolvimento de ensaio de digestibilidade, é possível utilizar a estimativa do NDT proposta pelo NRC (2001).

Tabela 5. Coeficientes de absorção aparente médios, coeficientes de variação (CV), equações de regressão (ER) e probabilidade (P) referentes aos efeitos linear (L) e quadrático (Q) em função do nível de inclusão do caroço de algodão.

Absorção aparente	Níveis de Caroço de algodão (%)					CV(%)	ER	P	
	0,0	6,25	12,5	18,75	25,0			L	Q
Ca	49,10	52,92	49,43	52,32	49,57	13,16	$\bar{y} = 50,67$	NS	NS
P	26,76	36,23	38,38	40,65	36,46	23,94	$\bar{y} = 35,70$	NS	NS
K	88,91	92,53	89,10	93,46	91,16	4,39	$\bar{y} = 91,03$	NS	NS
Na	86,74	87,89	83,86	89,02	84,41	5,45	$\bar{y} = 86,38$	NS	NS
Mg	31,75	28,37	27,64	28,95	29,15	16,29	$\bar{y} = 29,17$	NS	NS

NS = não significativo; Ca = cálcio; P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; Mg = magnésio.

Na Tabela 5 encontram-se as médias, os coeficientes de variação, equações de regressão e significância para os modelos linear e quadrático da absorção aparente dos macros minerais Cálcio (Ca), Fósforo (P), Potássio (K), Sódio (Na) e Magnésio (Mg), em função da inclusão do caroço de algodão na dieta.

Não foi verificado efeito da inclusão do caroço de algodão com relação à absorção aparente de Ca; P; K; Na e Mg. As absorções médias foram 50,67; 35,70; 91,03; 86,38 e 29,17%, respectivamente. Essa ausência de significância pode ser explicada pelo balanceamento das dietas experimentais (Tabela 2), uma vez que todas apresentaram teores próximos entre si e acima das exigências preconizadas pelo NRC (2001) para animais com 645 kg de peso vivo (PV), produzindo 40 kg de leite dia, com destaque para Ca (dobro) e Mg (triplo).

Conclusão

A inclusão de caroço de algodão na dieta de vacas da raça Holandesa em lactação influenciou a digestibilidade aparente da proteína bruta e do extrato etéreo sem, contudo, interferir na digestibilidade e absorção dos demais nutrientes.

A estimativa dos nutrientes digestíveis totais apresentou comportamento diferente quando estimados pelo ensaio de digestibilidade e pelo modelo mecanicista.

Referências

- ANDRADE, D.K.B. *et al.* Digestibilidade e absorção aparentes em vacas da raça Holandesa alimentadas com palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 2088-2097, 2002.
- BERNARD, J.K. *et al.* Response of lactating dairy cows to mechanically processed whole cottonseed. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 80, n. 9, p. 2062-2068, 1997.
- BERCHIELLI, T.T. *et al.* Avaliação de indicadores internos em ensaio de digestibilidade. *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 830-833, 2000.
- COCHRAN, R.C. *et al.* Predicting digestibility of different diets with internal markers: evaluation of four

potential markers. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v. 63, n. 5, p. 1476-1483, 1986.

COPPOCK, C.E. *et al.* A review of the nutritive value and utilization of whole cottonseed, cottonseed meal and associated by-products by dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.*, Amsterdam, v. 18, p. 89-129, 1987.

CRAIG, W.M. *et al.* *In vitro* inoculum enriched with particlecoated microorganisms for determining rates of fiber digestion and protein degradation. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 67, n. 12, p. 2902-2909, 1984.

HALL, M.B. *et al.* A method for partitioning neutral detergent soluble carbohydrates. *J. Sci. Food Agricult.*, London, v. 79, n. 9, p. 2079-2086, 1999.

HARVATINI, D.I. *et al.* Whole linted cottonseed as a forge substitute fed with ground or steam-flaked corn: digestibility and performance. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v. 85, n. 8, p. 1976-1987, 2002.

JENKINS, T.C. lipid Metabolism in the rumen. *In: Symposium: Advances in ruminant lipid metabolism. J. Dairy Sci.*, Savoy, v. 76, p. 3851-3863, 1993.

LICITRA, G. *et al.* Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, Amsterdam, v. 57 n. 11, p. 347-358, 1996.

MAGALHÃES, M.C. dos. *Cama de frango em dietas à base de palma forrageira (Opuntia ficus-induca Mill) para vacas mestiças em lactação.* 2002. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2002.

MELO, A.A.S. *et al.* Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira em dietas para vacas em lactação. Digestibilidade. *Acta Sci. Anim. Sci.*, Maringá, v. 25, n. 2, p. 339-345, 2003.

NRC-NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of the dairy cattle.* 7. ed. Washington, DC, 2001.

SANTANA, O.P. *et al.* Palma versus silagem na alimentação de vacas leiteiras. *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 31-40, 1972.

SANTOS, M.V.F. *et al.* Estudo comparativo das cultivares de palma forrageira gigante, redonda (*Opuntia ficus-indica* Mill) e miúda (*Nopalea cochenilleifera* Salm-Dyck) na produção de leite. *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 19, n. 6, p. 504-511, 1990.

SANTOS, D.C. *et al.* A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cochenilleifera* Salm Dyck) em Pernambuco: Cultivo e utilização: Recife: IPA, 1997. 23p. (Documentos do IPA; n. 25).

SILVA, J.F.C.; LEÃO, M.I. *Fundamentos de nutrição de ruminantes.* Piracicaba: Livrocere, 1979.

- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos*. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- SMITH, N.E. et al. Digestibility and effects of whole cottonseed fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.*, Savoy, v.64, n. 10, p. 2209-2215, 1981.
- SNIFFEN, C.J. et al. A net carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992.
- SULLIVAN, J.L. et al. Comparison of digestibility, nutritive value, and storage diets fed to lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v. 71, n. 5, p. 2837-2842, 1993.
- UFV-UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. SAEG- *Sistema de análise estatística e genética, versão 8.0*. Viçosa (manual do usuário), 1998.
- VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. *J. Anim. Sci.*, Champaign, v. 26, n.1, p. 119-128, 1967.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. New York: Cornell University Press, 1994.
- VILLELA, S.D.J. et al. Carço de algodão para vacas leiteiras. 2. Efeito da digestão total e parcial dos nutrientes, taxa de passagem da digesta ruminal e degradação da matéria seca e proteína bruta. *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 186-199, 1997.
- WANDERLEY, W.L. et al. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em substituição a silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na alimentação de vacas em lactação. *Rev. Bras. Zootec.*, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 273-281, 2002.
- WEISS, W.P. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: *CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURES*, 1999, Cornell. *Proceedings...* Cornell, 1999, p. 176-184.

Received on May 06, 2004.

Accepted on July 21, 2005.