



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA

ADIÇÃO DE FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO EM DIETAS À
BASE DE PALMA FORRAGEIRA PARA CAPRINOS

RICARDO MARTINS ARAUJO PINHO

AREIA – PB
JANEIRO-2016

RICARDO MARTINS ARAUJO PINHO

**ADIÇÃO DE FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO EM DIETAS À
BASE DE PALMA FORRAGEIRA PARA CAPRINOS**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, do qual participam a Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Edson Mauro Santos – Orientador Principal
Prof. Dra. Juliana Silva de Oliveira
Prof. Dr. Gleidson Giordano Pinto de Carvalho

**AREIA-PB
JANEIRO-2016**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA
UFPB – UFC – UFRPE

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE TESE

TÍTULO: “Adição de fibra em detergente neutro em dietas à base de palma forrageira para caprinos”

AUTOR: Ricardo Martins Araujo Pinho

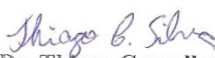
ORIENTADOR: Prof. Dr. Edson Mauro Santos

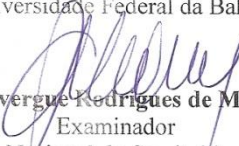
JULGAMENTO

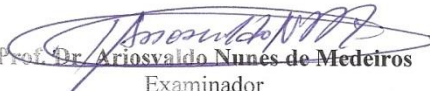
CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:


Prof. Dr. Edson Mauro Santos
Presidente
Universidade Federal da Paraíba


Prof. Dr. Thiago Carvalho da Silva
Examinador
Universidade Federal da Bahia


Dr. Geovergue Rodrigues de Medeiros
Examinador
Instituto Nacional do Semiárido – INSA


Prof. Dr. Ariosvaldo Nunes de Medeiros
Examinador
Universidade Federal da Paraíba


Dra. Alenice Ozino Ramos
Examinadora
Universidade Federal da Paraíba

Areia, 15 de janeiro de 2016

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RICARDO MARTINS ARAUJO PINHO, filho de José Ídis Martins Pinho e Antonia de Araújo Pinho, nasceu no dia 17 de junho de 1988, na cidade de Maracanaú, Estado do Ceará.

No ano de 2005 concluiu o ensino médio na Escola de Ensino Fundamental e Médio Murilo Serpa, na cidade de Acopiara, Ceará.

Em maio de 2007 iniciou o curso de Zootecnia, na Universidade Federal da Paraíba – CCA/UFPB, concluindo-o em dezembro de 2011.

Em março de 2012 iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, na área de Forragicultura, concluindo-o em março de 2013.

Em março de 2013 iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia no Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia. No período de março de 2014 a setembro de 2014 participou do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior na *University of Delaware* (USA), sob supervisão do Professor PhD Limin Kung Jr.

“Entrega teu caminho ao Senhor, confia nele, e Ele tudo fará.”
(Salmos 37:5)

“Há pessoas que transformam o sol numa simples mancha amarela, mas há aquelas que
fazem de uma simples mancha amarela o próprio sol.”
(Pablo Picasso)

Ao meu pai, José Ídis Martins Pinho, (*In memorian*), pelos ensinamentos transmitidos ao longo de sua vida, pelo amor, carinho e confiança de ontem, hoje e sempre, que me deram força e coragem para realização desta conquista.

À minha amada mãe, Antonia de Araújo Pinho, pelas doutrinas que me tornaram um bom filho e bom aluno, por sempre estar presente em todos os momentos de minha vida, por me amar, dar carinho, me apoiar, confiar e por tudo que fez para tornar possível a concretização deste sonho.

À minha namorada, Ana Cristina de Sales, pelo amor puro e sincero, carinho, confiança, compreensão e por sempre me apoiar nos momentos em que precisei.

À minha adorada irmã, Aparecida Isadora Martins Araújo Pinho, pelo amor, carinho, estímulo e confiança na realização desta conquista.

Ao **Senhor Jesus**, por sempre me iluminar e me guiar nos caminhos certos da vida.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por me abençoar, me amar e por me dar forças para vencer os obstáculos postos em minha vida.

Aos meus avós Aldelice Martins Pinho e Valentim Martins Cavalcante; Joana Glória de Araújo e João Pereira de Araújo (*In memoriam*), aos meus padrinhos de batismo (Francisca Pereira de Araújo e Sebastião Martins de Araújo) e de Crisma (Joaquim Martins de Araújo), aos meus tios (Edilson, Joaquim, Jacinto, Suely, Francisca, Valdeli, Edimilson, Antonia (Toinha), Vilenilson, José (Dedé), Glória (Dora), Antonio), pelo apoio e confiança.

Ao meu amigo e professor Edson Mauro Santos, pela orientação, respeito, dedicação, amizade, sinceridade, lealdade e pelos ensinamentos que me proporcionaram crescimento profissional e pessoal.

À professora Juliana Oliveira da Silva, pela amizade, respeito, sinceridade e pela co-orientação à realização deste trabalho.

Ao professor Gleidson Giordano pela co-orientação prestada à realização deste trabalho.

Aos professores Ossival Lolato Ribeiro, Ariosvaldo Nunes de Medeiros, Thiago Carvalho da Silva e aos doutores Geovergue Rodrigues de Medeiros e Alenice Ozino Ramos pela boa vontade e colaboração.

Ao meu grande amigo Alexandre Henrique Remígio Loureiro, por sua amizade sincera, companheirismo e pelo apoio na execução do experimento. E em nome deste grande homem agradeço a todos os funcionários da Empresa de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEPA – PB), Estação Experimental de Pendência, pela área e apoio cedido para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos de República, Flávio, Lucas e Magno pela amizade e companheirismo.

Aos meus pais adotivos José Miguel e Socorro (EJC) pelo carinho, amizade, respeito e apoio recebido.

Aos meus familiares residentes em Campina Grande, Alexandre, Tânia, Mateus e Talita, pela amizade, compreensão e apoio recebido.

Ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de realização do Doutorado em Zootecnia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Severino Gonzaga Neto e Fernando Guilherme Perazzo Costa pela colaboração e apoio como Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pelos ensinamentos.

À todos os integrantes do GEF (Grupo de Estudos em Forragicultura) pela amizade e ajuda na realização deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Alimentos, da Biblioteca e da Coordenação pela contribuição em minha vida acadêmica.

Aos meus primos: Rafael, Gleidson, João, Horlando, Rafaela, Kátia, Antonio, Hélio, Mardônio, Regilândio, Gidelândio, Gecilândia, Joana, Joyce, Lucieda, Lucilene, Lucelânia, Francisco, Carlos Eduardo, Igor, Sávio, Celso, Isaac, Dalva, Lucineide e Antonio, pela convivência ao longo destes anos.

Aos meus amigos Higor, Ana Jaqueline, Juraci, Flávio, Alexandre, pela amizade fiel desde a graduação.

Aos meus colegas de CCA: Diogo, Matias, Angelo, Cristina, Amanda, Francinilda, Guilherme (baianinho), Candice, Enoque, Natália, Aline.

Aos meus colegas de Acopiara: Ronniere, Josean, Gerlândio, Antonieta, Gilmara, Mazinho, Alailson, César, Rutiê, Zilnar, Tereza, Zé Wilson, Pedro Neto, Nadiely, Genaldo e Arleilma, por acreditarem nesta conquista.

E a todos que contribuíram de forma direta e indireta para que eu pudesse realizar este sonho.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Tabelas	xi
Lista de Figuras.....	xiii
Resumo Geral.....	xiv
Abstract	xvi
Introdução geral.....	1
Caprinocultura no Brasil e no Mundo	1
Palma forrageira	2
Utilização da palma forrageira na alimentação de caprinos	3
Consumo de água em ruminantes alimentados com palma forrageira	5
Efeito da mucilagem da palma no ambiente ruminal	7
Relação carboidratos não fibrosos (CNF) e fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) em dietas à base de palma forrageira	8
Efeito da fibra em detergente neutro fisicamente efetiva no comportamento ingestivo e no meio ambiente ruminal	10
Referências Bibliográficas	12

Capítulo 1

Efeito da mucilagem da palma forrageira sobre a fermentação ruminal <i>in vitro</i> da celulose, amido e proteína.....	19
Resumo	20
Abstract.....	21
Introdução.....	22
Material e Métodos.....	23
Resultados e Discussão.....	26
Conclusões.....	34
Referências Bibliográficas.....	35

Capítulo 2

Efeito da relação de fibra em detergente neutro advindo de forragem e carboidratos não fibrosos sobre os microrganismos ruminais e digestibilidade da fibra em detergente neutro em caprinos	38
Resumo	39
Abstract.....	40
Introdução.....	41
Material e Métodos.....	42
Resultados e Discussão.....	46
Conclusões.....	55
Referências Bibliográficas.....	56

Capítulo 3

Efeito da fibra em detergente neutro advindo de forragem sobre o desempenho e o comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de palma forrageira.....	61
---	-----------

Resumo	62
Abstract.....	63
Introdução.....	64
Material e Métodos.....	65
Resultados e Discussão.....	71
Conclusões.....	81
Referências Bibliográficas.....	82
Considerações finais e implicações	87

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1: Descrição dos componentes adicionados ao sistema <i>in vitro</i> em cada tratamento	25
Tabela 2: Valores médios da concentração de proteína microbiana (Ptn), nitrogênio amoniacal (N-NH ₃) e de pH durante fermentação <i>in vitro</i> em diferentes substratos associados com níveis de mucilagem de palma forrageira	31
Tabela 3: Valores médios da concentração dos principais ácidos graxos voláteis (AGV) e da proporção molar individual durante fermentação <i>in vitro</i> em diferentes substratos associados com níveis de mucilagem de palma forrageira	33

Capítulo II

Tabela 1: Composição bromatológica dos ingredientes experimentais, expresso com base na matéria seca	43
Tabela 2: Proporção dos ingredientes utilizados na formulação das mini-dietas	43
Tabela 3: Composição química das mini-dietas, expressas com base na matéria seca	44
Tabela 4: Efeito dos níveis de FDNf e CNF sobre a concentração de proteína microbiana (Ptn), nitrogênio amoniacal (N-NH ₃) e de pH durante fermentação <i>in vitro</i>	50
Tabela 5: Efeito dos níveis de FDNf e CNF sobre a concentração dos principais ácidos graxos voláteis (AGV) e da proporção molar individual durante fermentação <i>in vitro</i> ...	52
Tabela 6: Efeito dos níveis de FDNf e CNF sobre digestibilidade da FDN (DFDN) durante fermentação <i>in vitro</i>	54

Capítulo III

Tabela 1: Composição química dos ingredientes das rações experimentais com base na matéria seca (MS)	66
Tabela 2: Composição percentual e química das rações experimentais	67

Tabela 3: Valores médios dos consumos diários de nutrientes de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira	72
Tabela 4: Valores médios da digestibilidade dos nutrientes e teores de NDT de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira	73
Tabela 5: Valores médios dos parâmetros ruminais de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira	74
Tabela 6: Valores médios da concentração total de AGV, proporção molar individual e relação acetato:propionato de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira	76
Tabela 7: Comportamento ingestivo, subdivididos em quatro períodos do dia, de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma	78
Tabela 8: Comportamento ingestivo e eficiências de alimentação e ruminação em função do consumo de MS e FDN de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira ..	79

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1: Efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira (%) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meios de cultura contendo 150 mg de amido	27
Figura 2: Efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira (%) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meios de cultura contendo 150 mg de carboximetilcelulose	29
Figura 3: Efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira (%) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meios de cultura contendo 150 mg de trypticase	30

Capítulo II

Figura 1: Efeito dos níveis de carboidratos não fibrosos (CNF) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 10% de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) ...	47
Figura 2: Efeito dos níveis de carboidratos não fibrosos (CNF) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 19% de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) ...	48
Figura 3. Efeito dos níveis de carboidratos não fibrosos (CNF) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 29% de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) ...	49

Capítulo III

Figura 1: Efeito dos níveis de FDNf nas rações sobre o pH ruminal de caprinos alimentados em dietas à base de palma forrageira

76

ADIÇÃO DE FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO EM DIETAS À BASE DE PALMA FORRAGEIRA PARA CAPRINOS

RESUMO GERAL – Este estudo envolveu três experimentos. No primeiro, avaliou-se o efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira sobre a fermentação ruminal *in vitro* de celulose, amido e proteína. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, disposto em um esquema fatorial 5×3 , com cinco níveis de mucilagem de palma forrageira (0, 5, 10, 20 e 40%) e três substratos (carboximetilcelulose, amido e trypticase). Os tratamentos foram avaliados em ambiente ruminal, simulado por incubação *in vitro*, em diferentes tempos de incubação: 0, 3, 6, 12, 24 e 48 horas. Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de mucilagem e substratos para todos os parâmetros ruminiais avaliados, com exceção da concentração de proteína microbiana após 48 horas de fermentação e acetato e butirato à 0 hora de fermentação. Houve aumento quadrático ($P < 0,05$) para a concentração de nitrogênio amoniacal, após 48 horas de incubação nos meios, contendo carboxymetilcelulose e trypticase. Os valores de pH reduziram de forma quadrática ($P < 0,05$) em função dos níveis de mucilagem nos meios, contendo carboxymetilcelulose e trypticase. A produção de nitrogênio amoniacal por microorganismos ruminiais em meio, contendo amido, atingiu valor máximo às 6 horas de fermentação. A concentração de proteína microbiana por microorganismos ruminiais, em meio contendo trypticase, atingiu valor máximo às 24 horas de incubação, reduzindo significativamente até às 48 horas. A inclusão de até 40% de mucilagem de palma forrageira não afeta o padrão de fermentação do amido, celulose e proteína realizada por microorganismos ruminiais. No segundo experimento, avaliaram-se os efeitos resultantes das diferentes relações entre fibra em detergente neutro, advindo de forragem (FDNf) e carboidratos não fibrosos (CNF) sobre os produtos da fermentação ruminal e a digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro, em dietas para caprinos. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente

casualizado, disposto em um esquema fatorial 3×5 , com três níveis de FDNf (10, 19 e 29%) e cinco níveis de CNF (35, 40, 45, 50 e 55%), com base na matéria seca. Os tratamentos foram avaliados em ambiente ruminal simulado por incubação *in vitro*, em diferentes tempos de incubação: 0, 3, 6, 12, 24 e 48 horas. Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de FDNf e CNF para todas as variáveis de parâmetros ruminais estudadas. Não houve ajuste de modelos lineares ($P > 0,05$) para os valores de pH entre os níveis de FDNf, em função dos níveis de CNF. As concentrações de AGV totais às 48 horas de fermentação foram sempre superiores às concentrações à 0 hora, em todas as combinações de níveis de FDNf e CNF. Não houve ajuste de modelos lineares ($P > 0,05$) para a digestibilidade da FDN nos níveis de 10 e 19% de FDNf, em função da adição de CNF ao meio. No entanto, nas mini-dietas contendo 29% de FDNf, houve ajuste de modelo quadrático ($P = 0,0056$). As diferentes relações entre os níveis de fibra em detergente neutro e carboidratos não fibrosos afeta os produtos finais da fermentação e a digestibilidade *in vitro* das mini-dietas. No terceiro experimento avaliaram-se os efeitos da fibra em detergente neutro advindo de forragem sobre o consumo, digestibilidade, parâmetros ruminais e comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de palma forrageira. Os tratamentos consistiram de níveis de FDNf 0; 109; 221,8; 338,8; e 463,2 g/kg em dietas à base de palma forrageira. Os consumos de matéria seca (MS) e de fibra em detergente neutro (FDN), foram influenciados de forma quadrática ($P \leq 0,045$) pelos níveis de FDNf das rações. O consumo de água voluntária aumentou linearmente à medida que se elevaram os níveis de FDNf na dieta. Os coeficientes de digestibilidade de matéria orgânica (MO), FDN e extrato etéreo (EE) e o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foram afetados de forma quadrática ($P \leq 0,048$) pelos níveis de FDNf nas rações. A adição dos níveis de FDNf aumentou linearmente ($P < 0,05$) o pH ruminal, com variação de 5,44 a 5,81, para as dietas com 0 e 463,2 g/kg de FDNf. Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de FDNf para proteína microbiana com maior valor médio, observado quando a dieta continha 109 g/kg de FDNf (407,06 mg/dL). A concentração total de AGV e a proporção molar individual não foram influenciadas ($P > 0,05$) pelos níveis de FDNf da dieta. Observou-se efeito linear positivo ($P = 0,006$) para o tempo de mastigação total ao mesmo tempo em que o tempo em ócio reduziu linearmente ($P < 0,007$) com a inclusão dos níveis de FDNf. A inclusão de níveis de 109 a 339 g/kg de fibra em detergente neutro advindo de forragem promove condições favoráveis para as funções ruminais, digestibilidade e comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de

palma forrageira. Animais alimentados com dietas com fibra em detergente neutro advindo de forragem abaixo de 109 g/kg tiveram comprometimento na fermentação ruminal com redução drástica na ruminação e digestibilidade dos nutrientes.

Palavras-chave: ácidos graxos voláteis, nitrogênio amoniacal, fibra em detergente neutro advindo de forragem, fermentação ruminal, *Opuntia ficus indica*, proteína microbiana

ADDITON OF NEUTRAL DETERGENT FIBER IN DIETS CACTUS PEAR BASED FOR GOATS

ABSTRACT – This study consisted of three experiments. The first evaluated the effects of cactus pear mucilage levels on *in vitro* ruminal fermentation of cellulose, starch and protein. A 5×3 factorial scheme in a completely randomized design with 5 levels of cactus pear mucilage (0, 5, 10, 20 and 40%) and 3 substrates (carboxymethylcellulose, starch and trypticase) was used. The treatments were evaluated by *in vitro* simulated ruminal environment, following the incubation times: 0, 3, 6, 12, 24 and 48 h. There was interaction ($P < 0.05$) between mucilage and substrate levels for all ruminal parameters evalauted, except on concentration of microbial protein after 48 h of fermentation and for proportion of acetate and butyrate at 0 hour. There was a quadratic effect ($P < 0.05$) on concentration of ammonia nitrogen after 48 h of fermentation in the medium containing carboxymethylcellulose and trypticase. The pH values were quadratically decreased ($P < 0.05$) in function of mucilage levels in the medium containing trypticase and carboxymetilcelulose. Production of ammonia nitrogen by rumen microorganisms in medium containing starch, was maximum at 6 h of fermentation. The concentration of microbial protein by rumen microorganisms in medium containing trypticase, was maximum at 24 h of fermentation, reducing after this time. The inclusion of up to 40% of prickly pear cactus mucilage does not affect rumen fermentation pattern of cellulose, starch and protein by rumen microorganisms. The second experiment evaluated the effects of relationships between neutral detergent fiber from forage (fNDF) and non fibrous carbohydrates (NFC) on ruminal fermentation products and *in vitro* digestibility of neutral detergent fiber. A 3×5 factorial scheme in

a completely randomized design with three fNDF levels (10, 19 and 29%) and five levels of NFC (35, 40, 45, 50 and 55%) was used, all on dry matter basis. The treatments were evaluated by *in vitro* simulated ruminal environment, following the incubation times: 0, 3, 6, 12, 24 and 48 h. There was interaction ($P < 0.050$) between fNDF and NFC for all ruminal parameters variables studied. There was no adjustment of linear models ($P > 0.05$) for pH values between fNDF levels in function of NFC levels. Total volatile fatty acid (VFA) and individual molar proportions was affected ($P < 0.05$) among fNDF and NFC levels. NDF digestibility had no effect ($P > 0.05$) of fNDF and NFC levels, except for experimental diets containing 29% of fNDF which had quadratic effect ($P = 0.0056$). Different relationship among the levels of neutral detergent fiber and non fibrous carbohydrates affect fermentation end products and *in vitro* digestibility by experimental diets. The third experiment evaluated the effects of forage neutral detergent fiber on intake, digestibility, ruminal parameters and feeding behavior of goats fed diets with cactus pear. Treatments consisted of levels of fNDF 0, 109, 222, 339, and 463 g/kg in diets cactus pear based. Intakes of dry matter (DM) and neutral detergent fiber (NDF) were quadratically affected ($P \leq 0.045$) by fNDF levels. Voluntary water intake increased linearly as it was increased the fNDF levels in the diet. The digestibility coefficients of organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF), ether extract (EE) and total digestible nutrients (TDN) were affected quadratically ($P \leq 0.048$) with fNDF levels. Ruminal pH was linearly increased ($P = 0.001$) by fNDF levels, ranging from 5.44 to 5.81, for the diets containing 0 and 463 g/kg of fNDF, respectively. Microbial protein was quadratically affected ($P < 0.001$) of fNDF level, with highest average value observed when diet contained 109 g/kg of fNDF (407.06 mg/dL). On the other hand, the increase of fNDF levels did not affect ($P \geq 0.105$) the concentration of ruminal $\text{NH}_3\text{-N}$, rumen VFA concentration, and molar proportions of acetate, propionate, butyrate and acetate to propionate ratio. The fNDF levels promoted a linear increase ($P = 0.006$) on chewing time and linearly decreased ($P = 0.007$) on resting time. The inclusion of levels from 109 to 339 g/kg of forage neutral detergent fiber provides favorable conditions for ruminal function, digestibility and feeding behavior in goats fed diets cactus pear based. Animals fed diets with fNDF below 109 g/kg had compromising on ruminal fermentation with drastic decrease in the rumination and nutrients digestibility.

Keywords: volatile fatty acids, ammonia nitrogen, forage neutral detergent fiber, ruminal fermentation, *Opuntia ficus indica*, microbial protein

INTRODUÇÃO GERAL

- Caprinocultura no Brasil e no Mundo

O efetivo mundial de caprinos, segundo os últimos dados publicados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), é da ordem de 975,8 milhões de animais, sendo os continentes de maior rebanho a Ásia (58,5%) e a África (35,7%), respectivamente. As Américas correspondem com 3,7% do efetivo mundial total, seguidos pela Europa (1,7%) e Oceania (0,4%) (FAO, 2013).

O Brasil possui um rebanho efetivo de caprinos de, aproximadamente, 8,85 milhões de animais, dos quais cerca de 90% se concentra no Nordeste brasileiro (IBGE, 2014). Nesta região, os sistemas de produção variam de acordo com a aptidão do rebanho. No caso de produção de animais de corte, o sistema predominante é o extensivo com predomínio de baixos índices zootécnicos, abate tardio de animais, qualidade da carne incompatível com a demanda e irregularidade de oferta. Por outro lado, os sistemas de produção de leite são baseados em sistemas intensivos (Costa et al., 2010), com maior controle dos índices zootécnicos e dos padrões de alimentação. Apesar de grande parte dessas explorações se caracterizarem como uma atividade de subsistência, realizadas muitas vezes por produtores desprovidos de capital financeiro e recursos tecnológicos, esse tipo de atividade representa grande importância socioeconômica e cultural (Costa et al., 2008).

Na região Nordeste do Brasil a alimentação desses animais baseia-se, geralmente, no consumo de espécies nativas da caatinga. Por ser de natureza caducifólia, a caatinga não fornece, nas épocas secas do ano, alimentos que possam suprir, quantitativa e qualitativamente, as necessidades dos animais (Dantas Neto et al., 2000). A estrutura de suporte alimentar dos rebanhos nordestinos é fragilizada devido à baixa capacidade de suporte alimentar dos pastos nativos, particularmente da caatinga, além de uma reduzida utilização de pastos cultivados (Lima e Maciel, 2006).

Com a crescente demanda por alimentos para os animais ao longo do ano, aumenta-se a procura por espécies forrageiras que permitam um bom desempenho animal e que por sua vez represente uma atividade econômica aos sistemas de produção. Em função disso, a adoção da palma forrageira vem se destacando como importante recurso alimentar na composição da dieta dos animais (Bispo et al., 2007; Vieira et al., 2008a; Tegegne et al., 2007; Costa et al., 2009).

- Palma forrageira

A origem da palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* é o continente americano. Desde o período pré-hispânico a palma forrageira tem assumido uma importante função na cultura mexicana. Essa espécie forrageira foi utilizada na alimentação humana no México, assumindo um papel importante na economia agrícola do Império Asteca (Reynolds e Arias, 2001). Segundo os mesmos autores, a palma forrageira pode ser utilizada para ambos os segmentos, como uma cultura de subsistência para alimentação animal e recurso alimentar para a população.

A ideia do uso da palma na alimentação de ruminantes não é recente. Griffiths (1905) descreveu em seu livro que já existiam registros do uso da palma forrageira na alimentação de rebanhos na Guerra Civil dos Estados Unidos, em meados do século XIX. Nas últimas décadas essa espécie forrageira tem se tornado uma importante fonte de alimento em diversas partes do mundo, como no México, Etiópia, Brasil, dentre outros (Nefzaoui e Ben Salem, 2001; Tegegne et al., 2007; Costa et al., 2009).

A palma forrageira é uma cactácea bastante difundida na região Nordeste do Brasil. Seu crescente uso como recurso alimentar para ruminantes nesta região se deve às características de elevada produção de biomassa (Andrade-Montemayor et al., 2011), persistência ao estresse hídrico (Costa et al., 2009; Silva et al., 2007), além de constituir uma fonte de água e alimento durante a estação seca do ano (Tegegne et al., 2007). No entanto, essa espécie forrageira possui alguns fatores quanto sua composição bromatológica que restringem o seu uso como fonte exclusiva de volumoso.

Embora essa forrageira possua valores de fibra em detergente neutro (FDN) que geralmente variam de 23,9 a 35% na MS (Bispo et al., 2007; Tosto et al., 2007; Cavalcanti et al., 2008; Costa et al., 2009; Wanderley et al., 2012), verifica-se que os animais ruminantes que a consomem como única fonte de volumoso apresentam perda de peso e diarreia (Tegegne et al., 2005; Melo et al., 2006), além de alguns distúrbios metabólicos (Tegegne et al., 2005) devido à baixa efetividade da fibra. Outras características como o reduzido teor de MS, variando de 8,3 a 21,8% (Vieira et al., 2008a; Villegas-Díaz et al., 2008; Bispo et al., 2007; Misra et al., 2006), e o elevado teor de minerais que varia entre 11,4 a 25,5%, com base na matéria seca (Vieira et al., 2008a; Cordova-Torres et al., 2009; Tegegne et al., 2007; Villegas-Díaz et al., 2008), são fatores que merecem atenção quanto ao uso exclusivo ou em elevadas proporções da

palma forrageira na alimentação de ruminantes, devido aos possíveis efeitos laxativos e distúrbios metabólicos que esse tipo alimento pode causar aos animais. Por outro lado, a inclusão de fontes de fibra provenientes de forragem pode reduzir os impactos causados quando do uso de elevadas proporções desta espécie forrageira na alimentação animal (Wanderley et al., 2002; Albuquerque et al., 2002).

- Utilização da palma forrageira na alimentação de caprinos

Em caprinos, tanto na produção de leite quanto na produção de carne, o objetivo dos produtores é de melhorar a produtividade e a estabilidade da produção ao longo do ano. Apesar disso, o desempenho dos animais é geralmente limitado pela disponibilidade de forragem.

Nas últimas décadas tem se observado em grande escala o uso da palma forrageira na alimentação de ruminantes em diversas partes do mundo (Tegegne et al., 2007; Costa et al., 2009; Bispo et al., 2007; Andrade-Montemayor et al., 2011). No Nordeste do Brasil é notável a intensificação do uso dessa forrageira na alimentação de caprinos (Costa et al., 2009; Costa et al., 2010; Vieira et al. 2008a).

Costa et al. (2009) avaliando o efeito da substituição do farelo de milho pela palma forrageira em cabras leiteiras durante a lactação, observaram que esta forrageira substituiu o farelo de milho nas dietas dos animais, sem afetar a produção de leite. Neste trabalho, o máximo de palma forrageira utilizada na dieta foi de 28% com base na MS, substituindo em 100% o farelo de milho. Por outro lado, Almeida et al. (2015) avaliando o efeito da substituição do milho pela palma em suplementos para fêmeas leiteiras em crescimento a pasto nos níveis de 0, 33, 66 e 100% não a recomendaram, já que ocorreu redução no desempenho dos animais e aumentou a relação custo/benefício. Neste caso, a redução no desempenho foi devido ao menor consumo de NDT com o aumento no nível de substituição do milho pela palma, resultando em menor fornecimento de energia.

Em estudo conduzido com objetivo de determinar o nível mínimo de feno de Tifton exigido para maximizar o consumo de palma forrageira sem comprometer a utilização de nutrientes ou a fermentação ruminal de caprinos, Vieira et al. (2008a) avaliaram a adição de níveis de feno de Tifton em dietas à base de palma forrageira e observaram que o consumo de matéria seca foi maximizado na inclusão de 25% de feno, com base na matéria seca. Os mesmos autores concluíram que, a inclusão de no mínimo 15% de

feno de Tifton em dietas à base de palma aumentou o consumo de alimentos pelos caprinos, sem efeitos prejudiciais na utilização dos nutrientes *in vivo*.

Atti et al. (2009) observaram que a inclusão da palma forrageira na alimentação de caprinos aumentou o consumo de matéria seca e reduziu o consumo de concentrado. Nesse mesmo estudo, não foi observada diferença significativa quanto ao ganho médio diário dos animais. Deste modo, os resultados demonstram que a palma forrageira representa um importante recurso alimentar para os animais em regiões semiáridas e que a redução no consumo de concentrado sem, no entanto, comprometer o desempenho dos animais, resulta em diminuição dos custos, além de elevar a receita dos produtores.

Com relação ao uso desta cactácea na alimentação animal, os produtores devem ter maior atenção quanto ao nível de inclusão dessa forrageira na formulação da dieta. Um problema evidenciado quando ovinos, caprinos e bovinos são alimentados com elevada proporção de palma forrageira na dieta é sua severa ação laxativa. Essa ação laxativa não é um sintoma de doença e, em diversas vezes, não causa efeito prejudicial à saúde do animal (Kock, 2001). Segundo esse autor, o efeito laxativo é resultado da rápida taxa de passagem através do trato digestivo.

A elevada palatabilidade e digestibilidade da MS (Cordova-Torres et al., 2009; Tegegne et al., 2007; Bispo et al., 2007; Santos et al., 2001) e baixo teor de MS (Vieira et al., 2008a; Bispo et al., 2007) da palma forrageira induzem a um consumo de elevadas quantidades por parte dos animais. Estes fatores, combinados com seu baixo conteúdo de fibra e elevados níveis de minerais, induzem a desequilíbrios nutricionais, sendo, talvez, a provável causa para a ocorrência comum de efeitos laxativos em animais alimentados com grande quantidade desta forrageira (Santos e Albuquerque, 2001).

Alguns autores chegaram a recomendar que, tendo em vista o controle de desequilíbrios nutricionais, a quantidade de palma forrageira não poderia exceder 40% do total de matéria seca da dieta (Santos et al., 1990 apud Santos e Albuquerque, 2001). Porém, em pesquisas mais recentes sobre o estudo do nível ótimo de palma forrageira na alimentação de ovinos, Tegegne et al. (2007) reportaram que nenhum indício de sérios distúrbios digestivos foram observados quando as dietas dos ovinos continham até 70% dessa espécie forrageira com base na MS, embora nenhum ganho de peso adicional tenha sido observado pelos animais quando submetidos a estas dietas. Os mesmos autores ainda concluíram que, com base nos resultados de desempenho, o uso

de 52,5% de palma forrageira, com base na MS, foi o nível ótimo observado dentre os tratamentos estudados.

Devido aos problemas ocasionados pela inclusão de elevadas proporções de palma forrageira na dieta dos animais, pesquisas com a adição de fontes de fibra na alimentação de ruminantes têm alcançado resultados positivos e promissores quanto ao uso desse recurso forrageiro na alimentação animal (Vieira et al., 2008a). Dessa forma, torna-se evidente que para alcançar o nível ótimo de utilização da palma forrageira na formulação de dietas para ruminantes, se faz necessário ter conhecimento de suas características e da associação ou combinação da mesma a outros tipos de alimentos que promovam condições adequadas ao aproveitamento da dieta no rúmen e, conseqüentemente, melhorias no desempenho animal.

- Consumo de água em ruminantes alimentados com palma forrageira

Os longos e constantes períodos de estiagem no semiárido do Nordeste brasileiro têm prejudicado a criação de pequenos ruminantes, principalmente pela falta de forragem e água. Em função disso, atualmente vem crescendo o número de pesquisas com alimentos alternativos adaptados a essa região, que além de suprir as necessidades em alimentos, também contribui para o atendimento das exigências de água por parte dos animais (Costa et al., 2009; Bispo et al., 2007; Misra et al., 2006). Dentre diversos recursos forrageiros, a palma forrageira constitui uma importante fonte de água e alimentos durante a estação seca do ano (Tegegne et al., 2007), podendo ser utilizada como estratégia para reduzir os efeitos negativos sobre o desempenho animal.

O elevado teor de umidade presente na palma forrageira é uma característica positiva, uma vez que nas regiões semiáridas o fornecimento de água pode ter sérias limitações qualiquantitativas, inclusive para a espécie humana (Vieira, 2006). Desta maneira, a utilização desta cactácea na alimentação dos ruminantes pode reduzir a necessidade de suprimento hídrico para esses animais. Diversos estudos têm mostrado que o aumento do consumo de palma forrageira por parte dos animais, resultou em redução da ingestão de água (Vieira et al., 2008b; Bispo et al., 2007; Costa et al., 2009; Tegegne et al., 2007; Gebremariam et al., 2006), demonstrando a importância dessa espécie forrageira como fonte de água para os animais, principalmente em regiões que sofrem constantemente com as irregularidades das chuvas, caso da região semiárida do Nordeste.

Segundo o NRC (2001), a exigência de água pode ser atendida por meio de três fontes diferentes: consumo voluntário de água, ingestão de água proveniente dos alimentos e água proveniente do metabolismo dos nutrientes no organismo. Deste modo, fica constatado que os animais podem substituir o consumo voluntário de água pela ingestão de água via alimentos. Esse tipo de substituição é comumente observado quando os animais são submetidos à dietas que contém palma forrageira na sua formulação. Diversos estudos têm sido desenvolvido com o intuito de verificar o papel da palma forrageira, tanto como fonte de alimento quanto como fonte de água.

Avaliando o consumo de água de ovinos, alimentados com dietas contendo palma forrageira, Costa et al. (2012) observaram que a ingestão voluntária de água diminuiu ($P < 0,01$) em torno de 25,6 g/dia para cada unidade percentual de palma adicionada na dieta. Os mesmos resultados mostraram que a ingestão voluntária de água reduziu de 4,9 para 2,31 kg de água/dia, para os tratamentos com 0 e 100% de inclusão da palma em substituição ao milho, respectivamente. Também é possível observar aumento no consumo de água total, em que, para cada unidade percentual de palma forrageira adicionada na dieta, houve um aumento de 5,2 g/dia. Do mesmo modo, Bispo et al. (2007) observaram efeito linear positivo do consumo de água total, à medida que se elevaram os níveis de palma forrageira na dieta de ovinos. Tal comportamento foi explicado com base no maior consumo de água, via palma. Gebremariam et al. (2006) e Tegegne et al. (2007) também observaram diminuição do consumo voluntário de água por ovinos alimentados com níveis crescentes de palma forrageira na dieta.

Em pesquisas recentes sobre o estudo do nível ótimo de palma forrageira na alimentação de ovinos, Tegegne et al. (2007) reportaram que a exigência de água poderia ser atendida, quase que na sua totalidade, pela água proveniente dos alimentos. Atti et al. (2009) observaram que a inclusão dessa espécie forrageira reduziu o consumo voluntário de água e aumentou o consumo de água, via alimento, aumentando sobretudo o consumo de água total, quando a palma forrageira foi adicionada à dieta dos animais. Tal comportamento também foi observado por Vieira et al. (2008b).

Costa et al. (2009), avaliando o efeito de níveis de palma forrageira na alimentação de cabras leiteiras, observaram que o consumo voluntário de água reduziu linearmente, ao passo que o consumo de água, via dieta, foi observado comportamento inverso. Os autores ainda observaram que não houve diferença quanto a produção de leite, justificando que a palma forrageira pode ser utilizada na alimentação dos animais, sem

comprometer o desempenho animal, ressaltando sua importância como fonte de água para cabras em lactação.

Em estudos com vacas leiteiras, Carvalho et al. (2005) e Arnaud et al. (2005) obtiveram menor consumo voluntário de água à medida que se elevaram os níveis de palma na dieta, em decorrência do maior consumo de água proveniente da palma. Da mesma forma, Cavalcanti et al. (2008), avaliando o consumo de nutrientes de vacas em lactação com substituição do feno de capim tifton por palma forrageira, verificaram que o consumo voluntário de água reduziu em 1,37 kg/dia para cada unidade percentual de palma forrageira, adicionada na dieta.

Como mencionado nos trabalhos anteriores, fica evidente que a utilização de palma forrageira na alimentação de ruminantes pode reduzir a necessidade de suprimento hídrico para essas espécies, uma vez que o consumo de palma forrageira por bovinos, caprinos e ovinos resulta em redução da ingestão de água, reforçando a importância dessa espécie forrageira como fonte de água para os animais, principalmente em regiões que passam por períodos prolongados de seca.

- Efeito da mucilagem da palma no ambiente ruminal

Problemas como a redução no teor de gordura do leite (Costa et al., 2010), diminuição do consumo e digestibilidade dos nutrientes (Andrade et al. 2002), perda de peso e ocorrência de distúrbios digestivos, principalmente fezes amolecidas (Tegegne et al., 2005; Melo et al., 2006), têm sido observados quando elevadas proporções de palma forrageira foram adicionadas na alimentação de ruminantes. Além desses problemas, Amorim et al. (2008) constataram que a utilização de dietas ricas em palma forrageira ocasionam a formação do timpanismo espumoso, resultante da rápida fermentação da mucilagem e de carboidratos no rúmen. Estes fatores são decorrência da rápida fermentação dos carboidratos não fibrosos, da natureza hidrofílica e do reduzido teor de MS, contidos na mucilagem. Estas características favorecem a produção de ácidos graxos voláteis (AGV) resultando em redução do pH. Este, por sua vez, atua como moderador do desenvolvimento de classes de microrganismos que, na maioria das vezes, promovem alterações ruminais não favoráveis ao correto funcionamento do rúmen e, portanto, há melhorias na digestibilidade da dieta.

A palma forrageira, assim como outros tipos de cactáceas, contém quantidades significativas de mucilagem. Esta mucilagem é considerada um complexo de

carboidratos e sua composição tem sido objeto de diversos estudos. De uma maneira geral, a mucilagem contém a presença de vários açúcares neutros como L-arabinose, D-galactose, manose, xilose, dentre outros (Yahia et al., 2009). Além dessas características intrínsecas à mucilagem, a palma forrageira também se destaca quanto a sua concentração em carboidratos solúveis que variam de 29,1 a 57,9% na matéria seca (Santos et al., 2006), além de possuir em torno de 12% de amido (Batista et al., 2003). Desta forma, a composição da palma forrageira, em especial a mucilagem, constitui-se de componentes que podem explicar alguns efeitos causados quando do uso dessa fonte de alimentos aos animais, principalmente aqueles relacionados a elevada concentração de CNF.

Outra característica importante da mucilagem é a sua natureza hidrofílica. Esta característica resulta em maior retenção de água e, uma vez consumida em elevadas quantidades por parte dos animais, pode resultar na ocorrência de fezes amolecidas. Vale ressaltar que, na maioria das vezes, a presença de fezes amolecidas não é um resultado de diarreia, mas sim do efeito de uma grande quantidade de água que não foi absorvida no trato gastrointestinal dos animais (Waal et al., 2006).

Estudos têm relatado que algumas substâncias contidas na mucilagem da palma forrageira apresentam atividade antimicrobiana sobre diversos microrganismos associados ao trato gastrointestinal dos animais. Castillo et al. (2011) observaram efeito bactericida da mucilagem da palma sobre o crescimento de *Campylobacter jejuni* e *Campylobacter coli* e e Sánchez et al. (2010) o efeito bactericida sobre a *Vibrio cholerae*. Ambos os trabalhos foram realizados com microrganismos isolados do trato gastrointestinal de seres humanos. No entanto, estudos sobre o efeito bactericida e/ou relacionados a outras características da mucilagem da palma forrageira sobre o ambiente ruminal são inexistentes na literatura.

- Relação carboidratos não fibrosos (CNF) e fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) em dietas à base de palma forrageira

É de conhecimento dos nutricionistas que os ruminantes requerem quantidades mínimas de fibra na dieta para manutenção adequada da fermentação ruminal e, conseqüentemente, a saúde do animal. Segundo publicação do NRC (2001), recomenda-se um mínimo 25% de FDN total e que cerca de 75% do total desta fibra seja oriunda de forragem. A inclusão de fontes de fibra proveniente de forragem se faz necessário

devido a FDNf estimular a atividade de mastigação e produção de saliva, auxiliando na manutenção da capacidade tamponante do rúmen (NRC, 2001), características essas que estão associadas à fibra em detergente neutro, fisicamente efetiva (FDNfe). De acordo com Mertens (1997), a FDNfe refere-se especificamente às características físicas da fibra (principalmente, tamanho de partículas) que influenciam a atividade de mastigação e a natureza bifásica dos conteúdos ruminiais. Já a fibra em detergente neutro efetiva (FDNe) está relacionada ao somatório das habilidades totais de um alimento em substituir a forragem e/ou volumoso na ração, tanto que a porcentagem de gordura do leite produzido por vacas consumindo tal dieta, seja mantida. Desta maneira, a efetividade da fibra pode ser referida como a habilidade da fibra em manter a produção de gordura do leite e a saúde do animal. No entanto, em dietas que contêm palma forrageira como ingrediente principal, verificou-se que a fibra da palma não possui efetividade o suficiente capaz de manter o desempenho animal e uma boa saúde ruminal. Diante disso, surge a necessidade de inclusão de outras fontes de FDNf na dieta (Wanderley et al., 2002; Albuquerque et al., 2002).

O balanceamento dos carboidratos dietéticos deve considerar a fração destes de degradação lenta e que ocupam espaço no rúmen e a fração de carboidratos com alta velocidade de degradação. O conceito de FDN e de CNF visa separar os carboidratos em frações com digestibilidade e metabolização previsíveis. Dietas com alta relação FDN/CNF são predominantemente de baixa digestibilidade, o oposto de dietas com baixa relação FDN/CNF.

Animais alimentados com quantidades elevadas de palma, comumente, são acometidos por possíveis efeitos laxativos, o que, provavelmente, está associado à baixa quantidade de fibra dessa forrageira. A baixa concentração de fibra fisicamente efetiva e elevada concentração de carboidratos não fibrosos, baixa relação FDN/CNF na dieta, compromete o bom funcionamento do rúmen e, provavelmente, contribui para a ocorrência de fezes amolecidas, observadas em animais alimentados exclusivamente com palma forrageira ou com elevada participação da mesma na ração. A interação entre a fibra e os carboidratos não fibrosos, contidos na dieta total, irá promover fermentação adequada em função da efetividade física da fibra provocar maior mastigação e ruminação, garantindo as condições normais de rúmen, produção e teor de gordura do leite satisfatórios (Slater et al., 2000).

Bispo et al. (2007), avaliando os efeitos da substituição do feno de capim-elefante por palma forrageira sobre o consumo e desempenho de ovinos, verificaram que o

consumo de matéria seca, nas três formas em que foi expresso (g/dia; % Peso Vivo; e g/kg^{0,75}), aumentou linearmente com a substituição do feno de capim-elefante por palma forrageira, que segundo os mesmos autores ocorreu, provavelmente, em decorrência do efeito crescente da digestibilidade da MS e pela manutenção dos níveis recomendados de FDN e CNF (NRC, 2001).

Llorente et al. (2008) trabalhando com ovinos Rambouillet × Dorper machos, com peso inicial médio de 19,0 kg recebendo diferentes níveis de palma (0; 10; 20; 30 e 40%) observaram que o ganho médio diário de cordeiros foi significativamente diferente entre as dietas com médias de 329; 254; 213; 185 e 227 g/dia, respectivamente. O consumo de MS diminuiu à medida que acrescentou palma na dieta com valores médios de 1344; 1153; 1099; 955 e 982 (g/dia), para os respectivos níveis. A queda no desempenho dos animais alimentados com níveis maiores de palma forrageira na dieta, pode ser consequência do desbalanço na relação FDN/CNF, o que pode ter comprometido uma melhor utilização do alimento pelos microrganismos ruminais.

Em dietas utilizando o bagaço de cana, alimento rico em fibra efetiva e pobre em CNF, a inclusão de palma poderá ser bem maior que, por exemplo, em dietas com silagem de milho. De maneira semelhante, em dietas com maior nível de alimentos concentrados, menor proporção de palma deverá ser usada. Todas essas premissas confluem para um só objetivo: a eliminação de problemas como efeitos laxativos, baixo consumo de matéria seca e perda de peso, na maioria das vezes, oriundos de uma combinação irracional dos alimentos na dieta à base de palma forrageira (Ferreira et al., 2010), que por sua vez são resultados de um desbalanço nutricional entre os níveis de CNF e FDN.

De uma maneira geral, a associação da palma a fontes de fibra de maior efetividade, via FDNf, contribuem para uma maior otimização do uso da palma forrageira como fonte alimentar sem, no entanto, ocasionar efeitos negativos ao desempenho animal.

- Efeito da fibra em detergente neutro advinda de forragem no comportamento ingestivo e no meio ambiente ruminal

O comportamento ingestivo é utilizado como importante ferramenta na avaliação de dietas, pois através desse tipo de conhecimento é possível ajustar o manejo alimentar dos animais para obtenção de melhor desempenho produtivo (Cardoso et al., 2006). Nas

dietas formuladas com a participação de forragens, o conhecimento do comportamento ingestivo do animal se faz necessário na preparação do volumoso, tendo em vista o entendimento prévio de futuros problemas relacionados a possíveis alterações no consumo (Canizares et al., 2014). O comportamento ingestivo de ruminantes tem sido estudado por um longo tempo (Domingue et al., 1991; Dado e Allen, 1994; Abijaoudé et al., 2000; Ramos et al., 2007; Branco et al., 2011; Canizares et al., 2014) e o conjunto de informações geradas por estes estudos tem permitido o entendimento de diversas ocorrências observadas no desempenho dos animais que estão associadas a decorrentes mudanças na alimentação.

De acordo com Van Soest (1994), o tempo de ruminação pode ser influenciado pela natureza da dieta e parece ser diretamente proporcional ao conteúdo de carboidratos fibrosos da dieta. Desse modo, a forma física da dieta influencia o tempo despendido nos processos de mastigação e ruminação, de forma que alimentos concentrados, finamente moídos ou peletizados reduzem a ruminação, ao passo que volumosos com elevada quantidade de parede celular e grosseiramente moídos contribuem para o aumento no tempo de ruminação.

As forragens têm concentração de fibra elevada e a disponibilidade ou digestibilidade da FDN nestes alimentos depende do tipo de planta (gramíneas ou leguminosas), grau de processamento (tamanho de partículas) e estágio de maturidade (Nussio et al., 2000). Apesar da palma forrageira ser considerada como uma fonte de forragem, foi evidenciado que sua fibra não apresenta efetividade semelhante quando comparada a outras fontes de volumosos como gramíneas, leguminosas, dentre outros (Wanderley et al., 2002; Albuquerque et al., 2002). Tavares et al. (2005) ao estudar os efeitos de níveis de feno em dietas à base de palma forrageira para caprinos, observaram um efeito linear positivo no tempo despendido em ruminação com o aumento da quantidade de FDNfe nas dietas, evidenciando o papel da efetividade da fibra oriunda do feno em relação a fibra da palma forrageira.

Com relação ao ambiente ruminal e a resposta produtiva dos animais, sabe-se que os ruminantes requerem um mínimo de fibra efetiva na dieta para o funcionamento normal do rúmen. O funcionamento do rúmen está associado à adequada ruminação, que produz quantidade suficiente de substâncias tamponantes, por meio da salivação e, com isso, mantém pH ótimo para ação dos microrganismos celulolíticos, os quais promovem aumento na relação acetato: propionato no líquido ruminal (Santini et al., 1992).

A resposta animal associada à FDNfe é a atividade de mastigação e, portanto, está diretamente relacionada à saúde animal e à redução do teor de gordura do leite, em função do pH ruminal. Segundo Lammers et al. (1996), é necessário adequado conteúdo de FDNfe para que haja bom funcionamento do rúmen. Reduções no teor de FDNfe da dieta promovem decréscimo no tempo gasto com mastigação (comendo e ruminando), acarretando declínio no pH ruminal, como resultado do menor fluxo de saliva para o rúmen, e diminuindo o fluxo de substâncias tamponantes, o que pode comprometer a saúde e a produtividade animal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIJAOUDE, J. A.; MORAND-FEHR, P.; TESSIER, J. et al. Diet effect on the daily feeding behaviour, frequency and characteristics of meals in dairy goats. **Livestock Production Science**, v.64, p.29–37, 2000.
- ALBUQUERQUE, S. S. C.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. et al. Utilização de três fontes de nitrogênio associadas à palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, mill.) cv. gigante na suplementação de vacas leiteiras mantidas em pasto diferido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1315-1324, 2002.
- ALMEIDA, G. A. P.; CAMPOS, J. M. S.; FERREIRA, M. A. et al. Palma (*Opuntia ficus indica* mill) cv. gigante em suplementos para fêmeas leiteiras em crescimento a pasto. **Revista Caatinga**, v.28, n.2, p.161-171, 2015.
- AMORIM, G. L.; BATISTA, A. M. V.; CARVALHO, F. F. R. Substituição do milho por casca de soja: consumo, rendimento e características de carcaça e rendimento da buchada de caprinos. **Acta Scientiarum. Animal Science**, v.30, n.1, p.41-49, 2008.
- ANDRADE, D. K .B.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. 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). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2088- 2097, 2002.
- ANDRADE-MONTEMAYOR, H. M.; CORDOVA-TORRES, A. V.; GRACÍA-GASCA, T. et al. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* ssp.) and Nopal (*Opuntia* ssp.) **Small Ruminant Research**, v.98, p.83-92, 2011.

- ARNAUD, B. L.; VÉRAS, A. S. C.; FERREIRA, M. A. et al. Efeitos da substituição do feno de capim-tifton e do farelo de milho pela palma forrageira e pelo farelo de soja sobre a ingestão de alimentos e parâmetros fisiológicos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.27, n.4, p.475-482, 2005.
- ATTI, N.; MAHOUACHI, M.; ZOUAGHI, F. et al. Incorporation of cactus (*Opuntia ficus indica* f. inermis) in young goats diets: 1. Effects on intake, digestion, growth and carcass composition. **Livestock Research for Rural Development**, v.21, n.12, p.1-13, 2009.
- BATISTA, A. M.; MUSTAFA, A. F.; TIM, M. et al. Effects of variety of chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. **Journal Science Food Agriculture**, v.83, p.440-445, 2003.
- BISPO, S. V.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. et al. 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.
- CARVALHO, C.C.; FERREIRA, M. A.; CAVALCANTI, C. V. A. et al. Efeito da substituição do feno de capim Tifton (*Cynodon* spp) por palma forrageira (*Opuntia Ficus indica* Mill) sobre o comportamento ingestivo de vacas em Holandesas em lactação. **Acta Scientiarum**, v.27, n.4, p.505-512, 2005.
- CASTILLO, S. L.; HEREDIA, N.; CONTRERAS, J. F. et al. Extracts of edible and medicinal plants in inhibition of growth, adherence, and cytotoxin production of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. **Journal of Food Science**, v.76, n.6, p.421-426, 2011.
- CAVALCANTI, C. V. A.; FERREIRA, M. A.; CARVALHO, M. C. et al. Palma forrageira enriquecida com uréia em substituição ao feno de capim-tifton 85 em rações para vacas da raça Holandesa em lactação. **Revista brasileira de Zootecnia**, v.37, n.4, p.689-693, 2008.
- CORDOVA-TORRES, A., GUTIERREZ-BERROETA, L., KAWAS, J. R., et al. El Nopal (*Opuntia ficus indica*) puede ser una alternativa de suplementación para caprinos en regiones semiáridas: Efecto del tamaño o madurez de la penca en la digestibilidad *in vivo* y composición. **In:** Congreso Latinoamericano de la Asociación

- de especialistas en pequeños rumiantes y camelidos sudamericanos, 6, 2009. XXIV Reunión de la AMPCA. Querétaro, México, p. 143–151, 2009.
- COSTA, R. G.; ALMEIDA, C. C.; PIMENTA FILHO, E. C. et al. Caracterização do sistema de produção caprino e ovino na região semi-árida do estado da Paraíba. Brasil. **Archivos de Zootecnia**, v.57, n.218, p.195-205, 2008.
- COSTA, R. C.; BELTRÃO FILHO, E. M.; MEDEIROS, A. N. et al. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. **Small Ruminant Research**, 82:65-65. 2009.
- COSTA, R. C.; BELTRÃO FILHO, E. M.; QUEIROGA, R. C. R. E. et al. Chemical composition of milk from goats fed with cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in substitution to corn meal. **Small Ruminant Research**, v.94, p.214-217, 2010.
- COSTA, R. G.; HERNANDEZ, T. I.; MEDEIROS, G. R. et al. Consumo de agua de ovinos alimentados con diferentes niveles de nopal (*Opuntia ficus indica*) en brasil. **Archivos de Zootecnia**, v.61, n.234, p.301-304, 2012.
- DANTAS NETO, J.; SILVA, F.A.S.; FURTADO, D.A. et al. Influência da precipitação e idade da planta na produção e composição química do capim-buffel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.9, p.1867-1874, 2000.
- DOMINGUE, B. M. F.; DELLOW, D. W.; BARRY, T. N. The efficiency of chewing during eating and ruminating in goats and sheep. **The British Journal of Nutrition**, v.65, p.355–363, 1991.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION – FAOSTAT. [2013]. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/E>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- FERREIRA, M. A.; PESSOA, R. A. S.; BISPO, S. V. Otimização de dietas a base de palma forrageira e outras alternativas de suplementação para regiões semi-áridas. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 7., 2010, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- GEBREMARIAM, T.; MELAKU, S.; YAMI, A. Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusion on feed intake, digestibility and body weight gain in

- tef (*Eragrostis tef*) straw-based feeding of sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.131, p.42-51, 2006.
- GRIFFITHS, D. 1905. **The prickly pear and other cacti as food for stock**. USDA Bulletin, 74. 48 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. [2014]. Estatísticas sobre pecuária, rebanho e produção. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br> >. Acesso em: 26 out. 2015.
- KOCK, G. C. The use of *Opuntia* as a fodder source in arid areas of Southern Africa. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PEREZ-GONZALEZ, S.; ARIAS, E. R. (Eds.). et al. **Cactus (*Opuntia* sp.) as Forage**, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. p.101-105 (FAO Plant production and protection paper, 169).
- LIMA, G.F.C.; MACIEL, F.C. Conservação de forrageiras nativas e introduzidas. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 16., 2006, Recife. **Anais...** Recife: ZOOTECA, 2006. p. 1-28.
- LLORENTE, F. M.; LOZANO, R. G. R.; SOTO, J. I. A. et al. **Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*)**. Tropentag 2008. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. 2008.
- MELO, A. A. S.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. et al. Desempenho leiteiro de vacas alimentadas com caroço de algodão em dieta à base de palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1165-1171, 2006.
- MERTENS, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.80, p.1463-1481, 1997.
- MISRA, A. K.; MISRHA, A. S.; TRIPATHI, M. K. et al. Intake, digestion and microbial protein synthesis in sheep on hay supplemented with prickly pear cactus [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] with or without groundnut meal. **Small Ruminant Research**, v.63, p.125-134, 2006.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. 450p.
- NEFZAOU, A., BEN SALEM. H. *Opuntia* sp.: A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.;

- PEREZ-GONZALEZ, S.; ARIAS, E. R. (Eds.). et al. **Cactus (*Opuntia* sp.) as Forage**, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. p.73-90 (FAO Plant production and protection paper, 169).
- NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P.; AGUIAR, R. N. S. et al. Silagem do excedente de produção das pastagens para suplementação na seca. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE GADO DE CORTE, Goiânia, 2000. **Anais**. Goiânia: CBNA, 2000. p.121-138.
- REYNOLDS, S. G.; ARIAS, E. Introduction. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PEREZ-GONZALEZ, S.; ARIAS, E. R. (Eds.). et al. **Cactus (*Opuntia* spp.) as forage**, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. p.1-4 (FAO Plant production and protection paper, 169).
- SÁNCHEZ, E.; GARCÍA, S.; HEREDIA, N. Extracts of Edible and Medicinal Plants Damage Membranes of *Vibrio cholerae*. **Applied and Environmental Microbiology**, v.76, n.20, p.6888–6894, 2010.
- SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; FARIAS, I., et al. Estudo do comportamento das cultivares de palma forrageira gigante, redonda (*Opuntia ficus-indica*) e miúda (*Nopalea cochellinifera*) na produção de leite. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.19, n.6, p.504-511, 1990
- SANTOS, D. C.; ALBUQUERQUE, S. G. Fodder nopal use in the semi-arid northeast of Brazil. In: MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PEREZ-GONZALEZ, S.; ARIAS, E. R. (Eds.). et al. **Cactus (*Opuntia* spp.) as forage**, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001. p. 37-49 (FAO Plant production and protection paper, 169).
- SANTOS, D. G.; FARIAS, I.; LIRA, M. A. et al. **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco**. Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, Recife, documentos 30, 2006, 33p.
- SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v.8, n.5, 2007.

- SLATER, A. L.; EASTRIDGE, M. L.; FIRKINS, J. L. et al. Effects of starch source and level of forage neutral detergent fiber on performance by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.83, n.2, p.313-321, 2000.
- TEGEGNE, F.; PETERS, K. J.; KIJORA, C. Cactus pear (*Opuntia ficus-indica*): a strategic crop in combating food and feed insecurity and desertification in Tigray, northern Ethiopia. **Proceedings of the Society of Nutrition Physiology**, v.15, 2005. 60p.
- 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, p.157-164, 2007.
- TOSTO, M. S. L.; ARAÚJO, G. G. L.; OLIVEIRA, R. L. et al. 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.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.Ed. London. Constock Publishing Associates, USA, 1994. 476p.
- VIEIRA, E. L. Adição de fibra em dietas contendo palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) para caprinos. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2006. 53f.
- VIEIRA, E. L.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A. et al. Effects of hay inclusion on intake, in vivo nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. **Animal and Feed Science Technology**, v.141, p.199-208, 2008a.
- VIEIRA, E. L. ; BATISTA A. M. V; MUSTAFA, A. F. et al. Effects of feeding high levels of cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) cladodes on urinary output and electrolyte excretion in goats. **Livestock Science**. n. 114, p.354-357, 2008b.
- VILLEGAS-DÍAZ, J. L. O.; AGUILAR-BORJAS, J. H.; ANDRADE-MONTEMAYOR, H. M. et al. Efecto del tamaño de la penca de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre la degradabilidad in situ y cinetica de degradación de la proteína cruda en caprinos. XXII Reunión Nacional sobre caprinocultura. Zacatecas. México. 2008.

- WAAL, H. O.; ZEEMAN, D. C.; COMBRINCK, W. J. Wet feces produced by sheep fed dried spineless cactus pear cladodes in balanced diets. **South African Journal of Animal Science**, v.36, n.5, p.10-13, 2006.
- WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. A.; ANADRADE, D. K. B. et al. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) moench) na alimentação de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.273-281, 2002.
- WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. et al. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e fenos em associação à palma forrageira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.2, p.444-456, 2012.
- YAHIA, E. M.; ORNELAS, J. J.; ANAYA, A. Extraction and chemical characteristics of mucilage from Mesquite, *Aloe Vera*, Maguey and Prickly pear cactus cladodes (Nopal) and evaluation of its prebiotic effect on the growth of 2 probiotic bacteria. **Acta Horticulturae**, v.841, p.625-628, 2009.

Capítulo 1

**Efeito da mucilagem da palma forrageira sobre a fermentação ruminal
in vitro da celulose, amido e proteína**

Efeito da mucilagem da palma forrageira sobre a fermentação ruminal *in vitro* da celulose, amido e proteína

Resumo: Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira sobre a fermentação ruminal *in vitro* de celulose, amido e proteína. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, disposto em um esquema fatorial 5×3 , com cinco níveis de mucilagem de palma forrageira (0, 5, 10, 20 e 40%) e três substratos (carboximetilcelulose, amido e trypticase). Os tratamentos foram avaliados em ambiente ruminal simulado por incubação *in vitro* em diferentes tempos de incubação: 0, 3, 6, 12, 24 e 48 horas. O procedimento de incubação foi repetido três vezes, perfazendo-se o total de três avaliações por tempo de incubação para cada tratamento. Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de mucilagem e substratos para todos os parâmetros ruminiais avaliados, com exceção da concentração de proteína microbiana após 48 horas de fermentação e para as proporções de acetato e butirato às 0 hora de fermentação. Houve aumento quadrático ($P < 0,05$) para a concentração de nitrogênio amoniacal após 48 horas de incubação nos meios, contendo carboxymetilcelulose e trypticase. Os valores de pH reduziram de forma quadrática ($P < 0,05$) em função dos níveis de mucilagem nos meios contendo carboxymetilcelulose e trypticase. A produção de nitrogênio amoniacal por microrganismos ruminiais, em meio contendo amido, atingiu valor máximo às 6 horas de fermentação. Após 48 horas de fermentação os níveis de nitrogênio amoniacal no meio foram reduzidos a valores abaixo de 2 mg/dL. A concentração de proteína microbiana por microrganismos

ruminais, em meio contendo trypticase, atingiu valor máximo às 24 horas de incubação, reduzindo significativamente até às 48 horas. Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de mucilagem e substratos para a concentração total de ácidos graxos voláteis (AGV) e as proporções molares individuais, com exceção da proporção de acetato e butirato à 0 hora. De maneira geral, não foram observadas alterações expressivas entre as proporções molares individuais de acetato, propionato e butirato com a adição dos níveis de mucilagem de palma forrageira aos diferentes substratos. A inclusão de até 40% de mucilagem de palma forrageira não afeta o padrão de fermentação do amido, celulose e proteína realizada por microrganismos ruminais.

Palavras-chave: ácidos graxos voláteis, nitrogênio amoniacal, microrganismos ruminais, pH, proteína microbiana.

Effect of cactus pear mucilage on *in vitro* fermentation of cellulose, starch and protein by rumen microorganisms

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effects of cactus pear mucilage levels on *in vitro* ruminal fermentation of cellulose, starch and protein. A 5×3 factorial scheme in a completely randomized design with five levels of cactus pear mucilage (0, 5, 10, 20 and 40%) and three substrates (carboxymethylcellulose, starch and trypticase) was used. The treatments were evaluated by *in vitro* simulated ruminal environment, following the incubation times: 0, 3, 6, 12, 24 and 48 h. The procedure was repeated three times, totaling three evaluations by incubation time for each treatment. There was interaction ($P < 0.05$) between mucilage and substrate levels for all ruminal parameters evaluated, except on concentration of microbial protein after 48 h of fermentation and for concentration of acetate and butyrate at 0 h. There was a quadratic effect ($P < 0.05$) on concentration of ammonia nitrogen after 48 h of fermentation in the medium containing carboxymethylcellulose and trypticase. The pH values were quadratically decreased ($P < 0.05$) in function of mucilage levels in the medium containing trypticase and carboxymethylcellulose. Production of ammonia nitrogen by rumen microorganisms in medium containing starch, was maximum at 6 h of fermentation. After 48 h of fermentation the concentration of ammonia nitrogen were reduced to below 2 mg/dL. The concentration of microbial protein by rumen microorganisms in medium containing trypticase, was maximum at 24 h of fermentation, reducing after this time. In general, significant changes were not observed

among individual molar proportions of acetate, propionate and butyrate when mucilage levels were increased to different substrates. The inclusion of up to 40% of cactus pear mucilage does not affect rumen fermentation pattern of cellulose, starch and protein by rumen microorganism.

Keywords: volatile fatty acid, ammonia nitrogen, rumen microorganism, pH, microbial protein.

INTRODUÇÃO

Diversos são os estudos sobre o efeito dos níveis de palma forrageira na alimentação de ruminantes, dentre os quais podem ser citados aqueles relacionados à utilização da palma como fonte energética e fonte de água (Andrade-Montemayot et al., 2011; Tegegne et al., 2007; Costa et al., 2009), assim como as implicações do seu uso sobre o desempenho e manutenção das condições normais do rúmen (Bispo et al. 2007; Tegegne et al., 2010; Costa et al., 2010).

Vários fatores tem sido associados à utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes, a exemplo da redução no teor de gordura do leite (Costa et al., 2010), diminuição do consumo e digestibilidade dos nutrientes (Andrade et al. 2002), além de perda de peso (Tegegne et al., 2005; Melo et al., 2006). A utilização de dietas ricas em palma forrageira também ocasiona a formação do timpanismo espumoso, resultante da rápida fermentação da mucilagem e de carboidratos no rúmen (Amorim et al., 2008). A elevada concentração de CNF e a baixa efetividade da fibra na palma forrageira favorecem a rápida fermentação dos componentes da dieta, resultando em maior produção de ácidos graxos voláteis com consequente redução do pH. Tais efeitos, associado ao aumento na taxa de passagem, são fatores que contribuem para a redução no desempenho e na manutenção da gordura do leite. No entanto, a formulação de dietas respeitando as recomendações propostas pelos diversos sistemas de exigências nutricionais com relação aos níveis de CNF e de fontes de fibra advinda de forragem,

reduzem os impactos causados pela inclusão de elevadas proporções desta cactácea na alimentação de ruminantes.

Alguns cactos e outros tipos de plantas contém quantidades significativas de mucilagem, considerada como um complexo de carboidratos. A composição dessa mucilagem tem sido objeto de diversos estudos nos quais, de uma maneira geral, foram detectadas a presença de diversos açúcares neutros como L-arabinose, D-galactose, manose, xilose, dentre outros (Yahia et al., 2009). A palma forrageira também se destaca quanto à sua concentração em carboidratos solúveis que variam de 29,1 a 57,9% na matéria seca (Santos et al., 2006), além de possuir em torno de 12% de amido (Batista et al., 2003). Sendo assim, a composição da palma forrageira, em especial a mucilagem encontrada abaixo da superfície externa, constitui-se de componentes que podem explicar alguns efeitos causados quando do uso desse alimento na dieta dos animais.

Sendo a mucilagem o constituinte de maior expressividade na composição da palma forrageira, com características intrínsecas à sua constituição como elevado teor de água e CNF e sua natureza hidrofílica (Yahia et al., 2009; Santos et al., 2006; Waal et al., 2006)), além da presença de substâncias que apresentam atividade antimicrobiana (Castillo et al., 2011; Sánchez et al., 2010), o estudo da mesma em trabalhos *in vitro* possibilita o entendimento de alguns mecanismos associados à fermentação da palma forrageira no ambiente ruminal.

No entanto, existem pouca ou nenhuma informação sobre o real impacto dos níveis de mucilagem de palma forrageira sobre a dinâmica ruminal microbiana na degradação da celulose, amido e proteína.

Deste modo, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira sobre a fermentação ruminal *in vitro* de celulose, amido e proteína.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento *in vitro* foi realizado no Laboratório de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus II. A forragem utilizada nos procedimentos de avaliação *in vitro* foi proveniente de amostras de palma forrageira (*Opuntia ficus indica*), coletadas no campo experimental da Estação

Experimental de Pendência pertencente à Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba – EMEPA/PB. A palma forrageira foi triturada em cubos de aproximadamente 3 a 5 cm de comprimento, de modo que houvesse uma redução de partícula para facilitar a maceração da mesma. O material foi macerado com auxílio de bastões de madeira e filtrado em quatro camadas de gaze para separação da mucilagem da parte sólida. Após a extração da mucilagem, a mesma foi processada em liquidificador por 1 minuto para melhor homogeneização. O líquido advindo deste processo foi utilizado para incubação.

Um novilho mestiço fistulado no rúmen, pertencente ao Setor de Bovinocultura de Leite do Departamento de Zootecnia da UFPB, foi utilizado como animal doador de líquido ruminal. O mesmo foi alimentado com silagem de milho e concentrado à base de milho moído, farelo de soja e suplemento mineral.

O líquido ruminal foi coletado 2 horas após o arraçoamento da manhã, filtrado em quatro camadas de gaze, acondicionado em garrafa térmica com fechamento hermético e transportado imediatamente para o laboratório. Em seguida, o líquido ruminal foi transferido para frascos erlenmeyer de 500 mL, sendo saturados com gás carbônico (CO₂) e vedados com papel filme, ficando em repouso durante 30 minutos em estufa B.O.D (SP LABOR, modelo SP-500) mantida a 39°C. Após formação das interfaces do líquido, retirou-se o líquido intermediário para obtenção do inóculo contendo população microbiana mais ativa (Oliveira et al., 2012).

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 × 3 (cinco níveis de mucilagem e três substratos) com três repetições. Os substratos utilizados foram: carboximetilcelulose (PA, ACS, NEON); amido de milho comercial (PA, ACS, F. Maia S/A); e trypticase (Becton Dickinson, Sparks, MD 21152-EUA). A carboximetilcelulose foi utilizada como fonte de celulose e a trypticase como fonte de proteína.

Os tratamentos avaliados foram compreendidos da seguinte forma:

1. Amido;
2. Amido + 5% de mucilagem de palma;
3. Amido + 10% de mucilagem de palma;
4. Amido + 20% de mucilagem de palma;
5. Amido + 40% de mucilagem de palma;
6. Carboximetilcelulose;
7. Carboximetilcelulose + 5% de mucilagem de palma;

8. Carboximetilcelulose + 10% de mucilagem de palma;
9. Carboximetilcelulose + 20% de mucilagem de palma;
10. Carboximetilcelulose + 40% de mucilagem de palma;
11. Trypticase;
12. Trypticase + 5% de mucilagem de palma;
13. Trypticase + 10% de mucilagem de palma;
14. Trypticase + 20% de mucilagem de palma;
15. Trypticase + 40% de mucilagem de palma;

As quantidades dos componentes adicionados ao sistema *in vitro*, visando atender os tratamentos descritos acima, podem ser visualizados na Tabela 1. Os percentuais de mucilagem foram baseados em relação à inclusão da palma forrageira como parte da dieta dos animais, segundo recomendações expressas na literatura.

Tabela 1. Descrição dos componentes adicionados ao sistema *in vitro* em cada tratamento

Componente	Níveis de mucilagem (%)				
	0	5	10	20	40
Mucilagem de palma (mL)	0	0,25	0,50	1,0	2,0
Solução de McDougall (mL)	5,0	4,75	4,50	4,0	3,0
Amido (mg)	150	150	150	150	150
Carboximetilcelulose (mg)	150	150	150	150	150
Trypticase (mg)	150	150	150	150	150
Líquido ruminal (mL)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

As alíquotas, descritas acima, foram acondicionadas em frascos de vidro, tipo "penicilina", com 50 mL de volume total. A solução de McDougall (1948) foi preparada em frascos de erlenmeyer, procedendo-se o ajuste do pH para 6,8 por aspersão com dióxido de carbono. Após a adição dos componentes no frasco procedeu-se imediatamente à saturação com dióxido de carbono e à vedação dos mesmos. Em seguida, estes foram incubados em estufa B.O.D (SP LABOR, modelo SP-500) mantida a 39°C por 48 horas.

Foram avaliados os tempos de 0, 3, 6, 12, 24 e 48 horas de incubação. O procedimento de incubação foi repetido três vezes, perfazendo-se o total de três avaliações por tempo de incubação para cada tratamento. O fator medidas repetidas não foi utilizado para obtenção dos modelos, visto que o mesmo foi empregado apenas

como critério de observação do comportamento do pH, nitrogênio amoniacal ruminal e proteína microbiana.

Ao final de cada tempo de incubação, alíquotas do conteúdo presentes em cada frasco foram colhidas com o uso de seringas contendo agulhas 0,80 mm × 25 mm, de modo a manter a anaerobiose dentro dos tubos (Lana et al., 2000). Procederam-se as colheitas de amostras (1,0 mL), para a mensuração do pH, determinação de nitrogênio amoniacal e proteína microbiana em todos os tempos de incubação. Para análise dos ácidos graxos voláteis (AGVs), apenas os tempos de 0 e 48 horas foram considerados. O pH do meio foi determinado através de peagâmetro digital (TECNOPON, modelo mPA-210, Piracicaba, SP).

O líquido colhido dos tubos de fermentação foi colocado em tubos eppendorf de 2,0 ml e centrifugados em centrífuga (HETTICH, modelo Mikro 200), a 5200 g por 10 minutos, retirando-se o sobrenadante. Para análise de AGV, 0,5 mL do sobrenadante foi colocado em tubo eppendorf de 1,0 mL adicionando-se 0,5 mL de solução de ácido metafosfórico 25%, e congelado para posterior análise. O restante do sobrenadante foi colocado em outro tubo eppendorf para análise de NH_3 , os quais foram mantidos a -20°C para posterior análise, utilizando o método colorimétrico de Chaney e Marbach (1962). O sedimento bacteriano (pellet), resultante da centrifugação do líquido ruminal, foi submetido a duas sucessivas ressuspensões e centrifugações em solução de NaCl a 0,9% (p/v), e, em seguida, uma alíquota de 1,5 mL foi armazenada a -20°C para posterior análise de proteína microbiana. A concentração de proteína microbiana foi realizada pelo método de Bradford (1976). Ambas as análises de nitrogênio amoniacal e proteína microbiana foram realizadas utilizando-se de aparelho espectrofotômetro (BIOSPECTRO, modelo SP-22).

As análises dos ácidos acético, propiônico e butírico foram realizadas em HPLC (Cromatografia Líquida de Alto desempenho), marca SHIMADZU, modelo SPD-10A VP acoplado ao Detector Ultra Violeta (UV) em comprimento de ondas de 210 nm.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e regressão utilizando-se o procedimento GLM do SAS (2001). Os modelos de regressão dos diferentes substratos foram submetidos ao teste de identidade de modelos. A escolha das equações de regressão baseou-se no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t, adotando-se $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações máximas de nitrogênio amoniacal após 48 horas de incubação no meio contendo carboxymetilcelulose e trypticase foram estimadas em 23,31 e 75,34 mg/dL, com os níveis de 32,38 e 28,20% de mucilagem de palma forrageira, respectivamente. A elevada concentração de nitrogênio amoniacal observadas no meio contendo trypticase pode ser resultante dos peptídeos provenientes deste substrato, indicando que os peptídeos foram utilizados como fonte de energia liberando amônia para o meio (Lana et al., 2000), uma vez que os mesmos são fonte de energia para bactérias proteolíticas (Oliveira et al., 2004).

A produção de nitrogênio amoniacal por microrganismos ruminais, em meio contendo amido, atingiu valor máximo às 6 horas de fermentação (Figura 1a). É possível observar que após 48 horas de fermentação os níveis de nitrogênio amoniacal no meio foram reduzidos a valores abaixo de 2 mg/dL. Essa redução nas concentrações de nitrogênio amoniacal pode ser proveniente tanto da acidificação do meio (Figura 1c), exercendo papel fundamental no metabolismo do nitrogênio, reduzindo a produção de amônia (Lana et al., 2000) quanto da sua utilização para síntese de proteína microbiana (Figura 1b). A concentração de proteína microbiana foi modificada pelos níveis de mucilagem, de forma que maiores valores de concentração de proteína microbiana foram observados nos tratamentos com maiores concentrações de mucilagem no meio, resultado esse decorrente do maior fornecimento de nutrientes via adição de mucilagem. A concentração de proteína microbiana não foi afetada pela acidez, corroborando com os resultados descritos por Lana et al. (2000), no qual concluíram que a queda acentuada do pH não afeta o crescimento microbiano. A queda acentuada observada no pH do meio contendo amido, ocorreu devido essa fonte de substrato ser rapidamente fermentável pelos microrganismos ruminais, favorecendo a produção de ácidos e, consequentemente, a queda do pH.

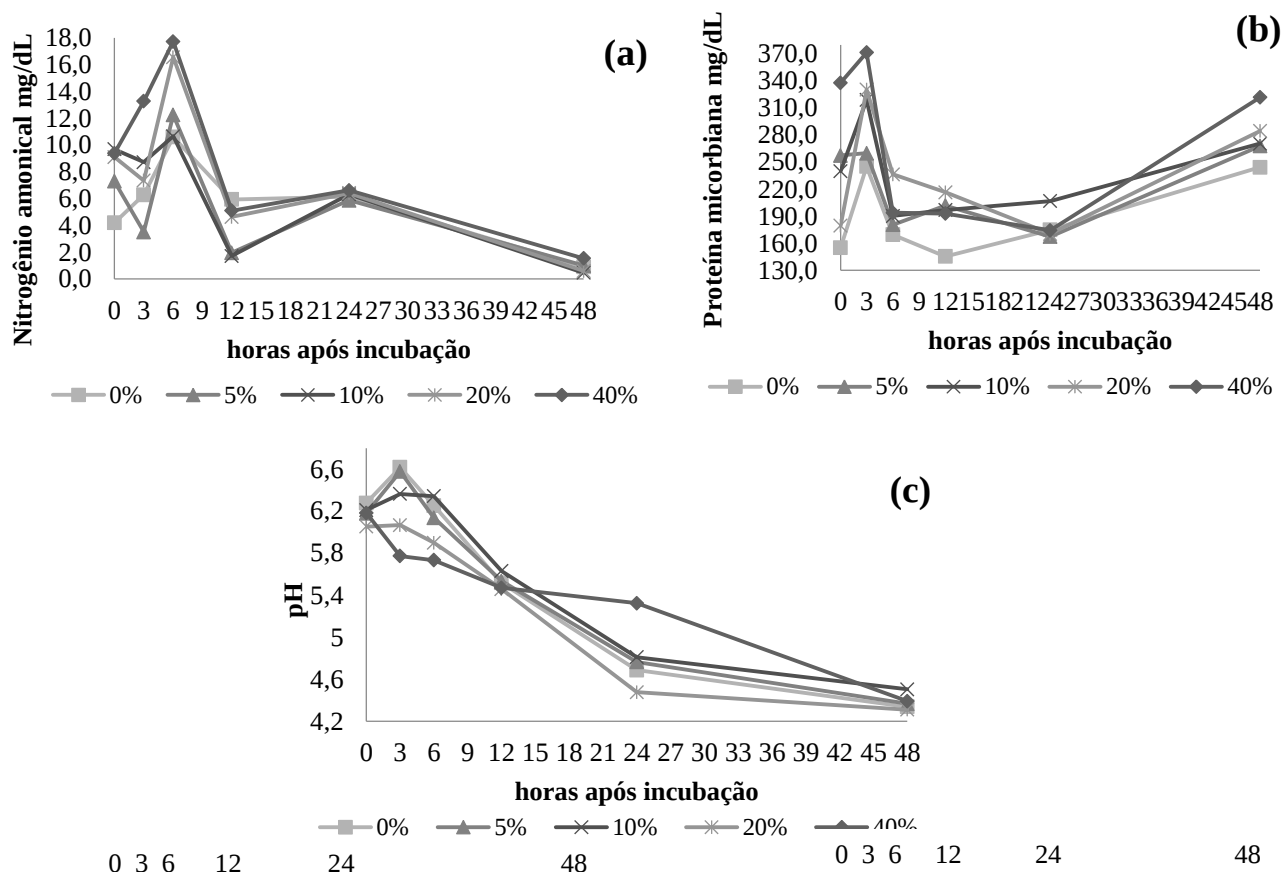


Figura 1. Efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira (%) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 150 mg de amido.

Existem vários estudos sobre os potenciais efeitos da atividade antimicrobiana da mucilagem da palma forrageira sobre diversos microrganismos associados ao trato gastro intestinal dos animais, sendo objeto de interesse na área farmacêutica. Castillo et al. (2011) verificaram efeito bactericida da mucilagem da palma sobre o crescimento de *Campylobacter jejuni* e *Campylobacter coli*, já Sánchez et al. (2010) observaram o efeito bactericida sobre a *Vibrio cholerae*. Todavia, tal efeito bactericida não foi verificado nos microrganismos ruminais. Vale ressaltar que tal efeito antimicrobiano verificado na mucilagem não pode ser compreendido apenas do lado negativo, pois dependendo de quais grupos microbianos ocorra essa ação, a utilização da mucilagem pode ser utilizada como efeito benéfico na alimentação de ruminantes, caso atuem na diminuição da emissão de gases do efeito estufa, a exemplo dos ionóforos.

A produção de nitrogênio amoniacal por microrganismos ruminais em meio contendo carboximetilcelulose atingiu valor máximo às 6 horas de fermentação nos

tratamentos com os níveis de 20 e 40% de mucilagem de palma (Figura 2a). A produção de nitrogênio amoniacal permaneceu quase constante após 6 horas de fermentação para os tratamentos contendo 5 e 10% de mucilagem de palma. Todos os tratamentos contendo níveis de mucilagem apresentaram valores superiores de nitrogênio amoniacal quando comparados ao tratamento com ausência da mucilagem. Isso evidencia que a mucilagem influenciou de forma positiva no provimento de fontes de nitrogênio ao meio, uma vez que o substrato utilizado não fornece substrato para produção de nitrogênio amoniacal, constituído apenas de glicose. O pico de utilização dos nutrientes para crescimento microbiano parece ter ocorrido entre 12 e 24 horas após incubação, visto o aumento observado nas concentrações de proteína microbiana após 24 horas de fermentação. A partir desse ponto, possivelmente devido à redução na disponibilidade de nutrientes, houve uma diminuição na taxa de crescimento microbiano, observado no período de período de 48 horas. Esta explicação se justifica quando observado o comportamento quase constante do pH após 24 horas de incubação (Figura 2c), não atuando como fator inibitório para o desenvolvimento dos microrganismos (Lana et al., 2000).

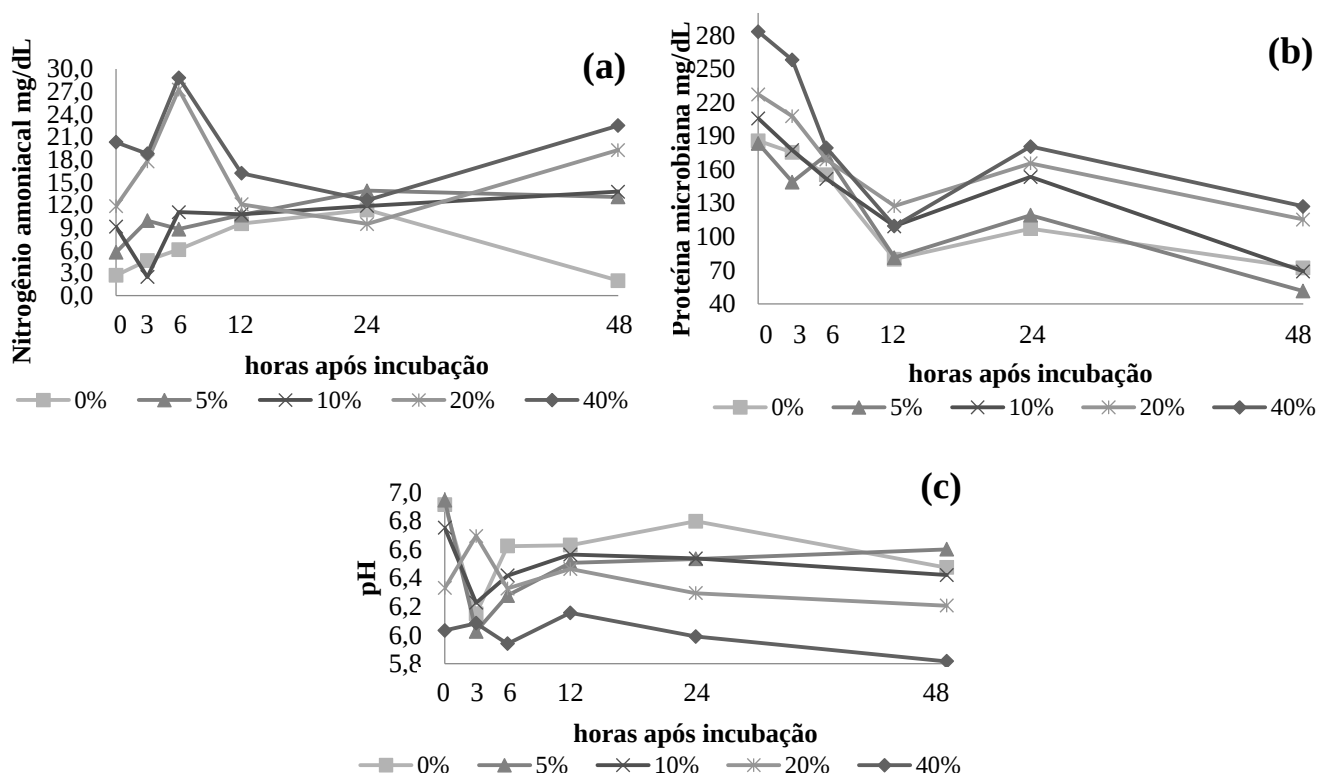


Figura 2. Efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira (%) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 150 mg de carboxymetilcelulose.

A produção de nitrogênio amoniacal por microrganismos ruminais em meio contendo trypticase atingiu valores máximos durante 3 e 6 horas de fermentação em todos os níveis de mucilagem de palma forrageira (Figura 3a), devido à rápida degradação da trypticase e liberação de aminoácidos e peptídeos ao meio. Após 48 horas de incubação a concentração de nitrogênio amoniacal permaneceu com valores superiores a 5mg/dL, considerado o nível mínimo de nitrogênio amoniacal ruminal necessário para manutenção das funções normais do rúmen (Satter e Styler, 1974). A concentração de proteína microbiana atingiu valor máximo às 24 horas de incubação, reduzindo significativamente até às 48 horas. O máximo crescimento microbiano, observado entre 12 e 24 horas de incubação (Figura 3b), pode ter resultado da diminuição do aporte de nutrientes no meio para continuação ou manutenção do crescimento microbiano após esse tempo de fermentação.

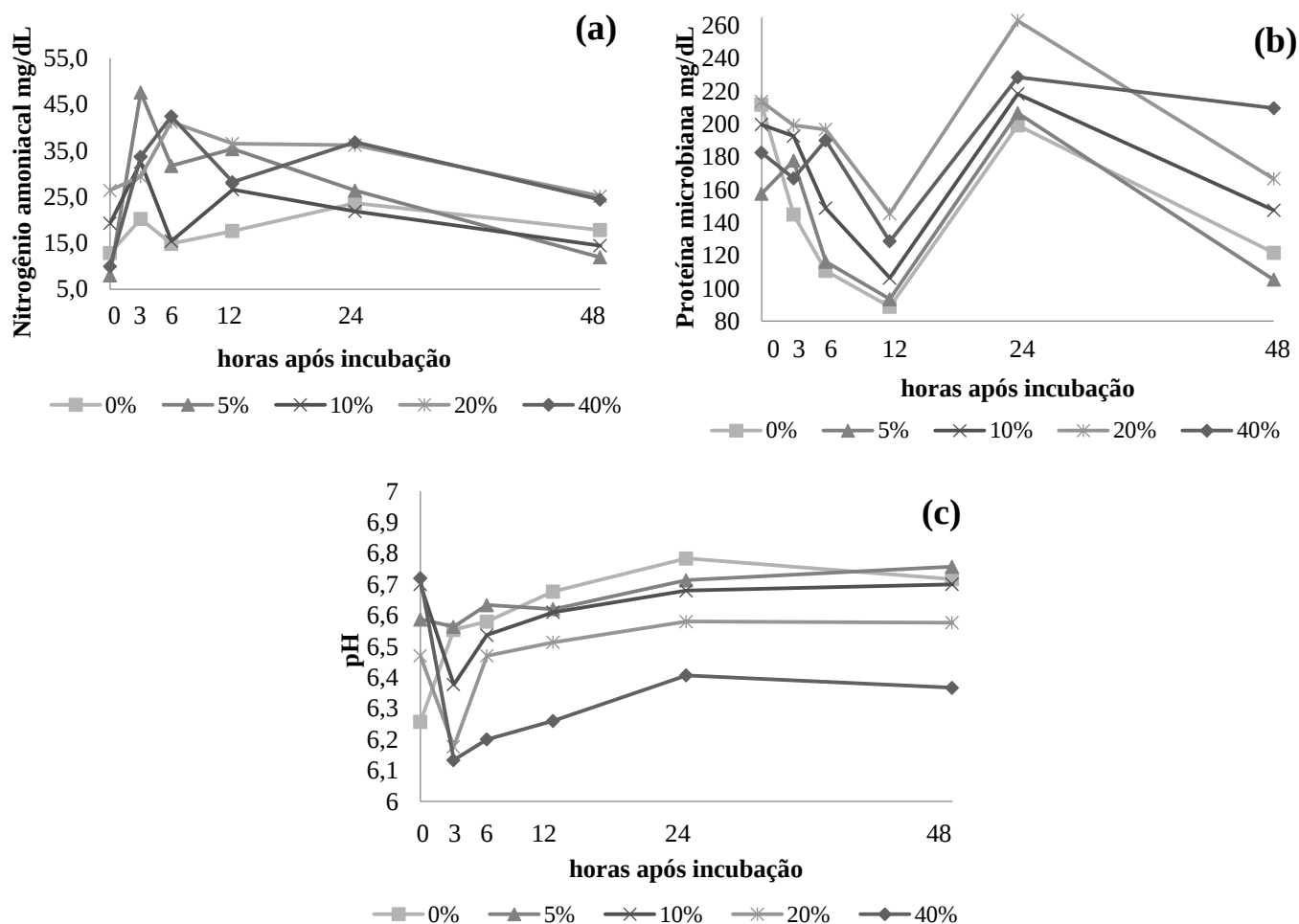


Figura 3. Efeito dos níveis de mucilagem de palma forrageira (%) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 150 mg de trypticase.

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de mucilagem e substratos para todos os parâmetros ruminais estudados, com exceção da concentração de proteína microbiana após 48 horas de fermentação e acetato e butirato à 0 hora (Tabelas 2).

Apesar da ausência de ajustes de modelos entre os níveis de mucilagem e os substratos utilizados, é possível observar, em valores absolutos, um acréscimo na concentração de proteína microbiana no tempo de 48 horas, de 77,6; 55,06; e 88 mg/dL, quando subtraído os valores correspondentes aos níveis de 40 e 0% de mucilagem, para os meios contendo amido, carboxymetilcelulose e trypticase, respectivamente (Tabela 2). Observou-se que a produção de proteína microbiana à 48 horas de incubação no meio contendo amido de milho comercial foi superior aos demais substratos, ressaltando o papel do amido como fonte de energia para os processos de síntese de proteína microbiana (Lana et al., 2000). O amido como fonte de substrato associado ao aumento

na quantidade de mucilagem de palma forrageira, que também possui quantidades consideráveis de amido (12%) (Batista et al., 2003), favoreceram a formação de um ambiente propício ao crescimento bacteriano, principalmente àqueles envolvidos na fermentação de amido e pectina, microrganismos fermentadores de carboidratos não fibrosos, que possuem taxa de crescimento maior que os microrganismos fermentadores de carboidratos fibrosos (Russell et al., 1992).

Tabela 2. Valores médios da concentração de proteína microbiana (Ptn), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e de pH durante fermentação *in vitro* em diferentes substratos associados com níveis de mucilagem de palma forrageira

Variáveis	Substrato	Níveis de mucilagem (%)					CV (%)	P	
		0	5	10	20	40		L	Q
Ptn 48h, mg/dL	A	244,2	267,9	270,6	284,4	321,8	10,73	ns	ns
	C	72,04	51,39	69,00	115,3	127,1		ns	ns
	T	121,6	105,3	147,5	166,7	209,6		ns	ns
N-NH ₃ 48h, mg/dL	A	0,91	1,01	0,47	0,61	1,55	7,84	ns	ns
	C ¹	1,99	13,05	13,76	19,27	22,51		<0,001	0,009
	T ²	24,76	53,48	50,62	71,32	67,47		<0,001	<0,001
pH 48h	A	4,34	4,37	4,50	4,31	4,39	2,19	ns	ns
	C ³	6,47	6,60	6,42	6,21	5,82		<0,001	0,006
	T ⁴	6,72	6,76	6,70	6,57	6,37		0,006	0,047

A – amido; C – carboxymethylcellulose; e T – trypticase

CV = Coeficiente de variação; P = probabilidade; ns: não significativo; L = linear; Q = quadrático

$$^1\hat{Y} = 4,1214 + 1,1851x - 0,0183x^2 \quad r^2 = 0,9255$$

$$^2\hat{Y} = 28,9795 + 3,2881x - 0,0583x^2 \quad r^2 = 0,8978$$

$$^3\hat{Y} = 6,5464 - 0,0106x - 0,0002x^2 \quad r^2 = 0,9462$$

$$^4\hat{Y} = 6,7460 - 0,0047x - 0,0001x^2 \quad r^2 = 0,9688$$

Os níveis de mucilagem de palma forrageira afetaram de forma quadrática ($P < 0,05$) a concentração de nitrogênio amoniacal nos meios contendo carboxymetilcelulose e trypticase, o mesmo não acontecendo no meio contendo amido. Ao realizar-se o teste de identidade de modelos, observou-se que o modelo quadrático dos níveis de mucilagem de palma no substrato carboxymetilcelulose, quando comparado com o modelo quadrático dos níveis de palma no substrato trypticase foi diferente ($P < 0,05$), visto que os níveis de mucilagem de palma afetaram de forma diferente os valores de nitrogênio amoniacal no tempo de 48 horas dentro de cada substrato.

No meio contendo amido, observaram-se concentrações de nitrogênio amoniacal próximas de 0 mg/dL no tempo de 48 horas, fato esse justificado pelos baixos valores de pH (Tabela 2 e Figura 1c), uma vez que a acidez atua na redução da taxa de produção de nitrogênio amoniacal (Lana et al., 2000). Outro fator que pode ter contribuído para as baixas concentrações de nitrogênio amoniacal no meio contendo amido, pode estar

relacionado com a utilização da amônia como fonte de nitrogênio pelos microrganismos ruminais, fato evidenciado pelas maiores concentrações de proteína microbiana observadas no meio contendo amido (Tabela 3). A amônia juntamente com o esqueleto de carbono proveniente do amido foram utilizados pelos microrganismos para síntese de aminoácidos que deram origem a proteína microbiana.

O aumento nos níveis de mucilagem de palma forrageira promoveu efeito quadrático ($P < 0,05$) no pH dos meios contendo carboxymetilcelulose e trypticase. Ao comparar o modelo quadrático dos níveis de palma no substrato carboxymetilcelulose com o modelo quadrático dos níveis de palma no substrato trypticase, observou-se que os modelos diferiram ($P < 0,05$), visto que os níveis de mucilagem de palma afetaram de forma diferente os valores de pH dentro de cada substrato. No meio contendo amido é possível verificar que os valores de pH, com média de 4,38, estão muito abaixo dos verificados com os outros substratos e abaixo do valor de pH considerado como limite mínimo para adequada fermentação da fibra (Orskov, 1988). Segundo Hu et al. (2004), pH ruminal abaixo de 4,8, observado no meio contendo amido como substrato, ocorre a completa cessação da digestão da fibra.

O aumento na inclusão da mucilagem proveniente da palma forrageira diminuiu de forma quadrática ($P < 0,05$) o pH dos meios contendo carboxymetilcelulose e trypticase, possivelmente devido ao aumento no fornecimento de carboidratos de rápida fermentação, carboidratos não fibrosos, presente em elevadas quantidades na palma forrageira (Vieira et al., 2008; Bispo et al., 2007; Santos et al., 2006), o que resulta em maior produção de AGV e, conseqüentemente, a redução do pH do meio. Entretanto, os níveis de mucilagem não promoveram alterações no pH capazes de diminuir a degradabilidade da celulose e proteína nos meios supracitados.

As concentrações de AGV totais às 48 horas foram sempre superiores as concentrações à 0 hora, em todas as combinações de níveis de mucilagem de palma e substrato (Tabela 3). Esse aumento observado na produção de AGV totais ao longo do período de incubação se deve a produção destes ácidos via metabolismo microbiano durante a fermentação, e como o procedimento *in vitro* são considerados um sistema fechado, não existe a absorção dos ácidos como ocorre no rúmen, por exemplo, e o acúmulo desses ácidos resulta em maior concentração ao longo do tempo.

Tabela 3. Valores médios da concentração dos principais ácidos graxos voláteis (AGV) e da proporção molar individual durante fermentação *in vitro* em diferentes substratos associados com níveis de mucilagem de palma forrageira

Variáveis	Substrato	Níveis de mucilagem (%)					CV (%)	P	
		0	5	10	20	40		L	Q
AGV totais 0h, mM	A ¹	119,5	142,7	127,6	140,5	186,2	9,16	0,006	ns
	C	141,8	126,7	153,7	143,6	155,6		ns	ns
	T ²	198,7	212,5	217,2	201,3	186,3		ns	0,033
AGV totais 48h, mM	A	263,0	197,7	241,7	298,7	250,2	4,26	ns	ns
	C	227,6	150,9	152,4	169,3	188,4		ns	ns
	T ³	201,4	221,8	232,7	243,9	270,3		<0,001	ns
Acetato 0h, mol/100 mol	A	52,55	57,84	55,71	59,03	63,99	6,28	ns	ns
	C	54,91	54,73	51,94	59,70	61,30		ns	ns
	T	64,85	68,19	68,42	65,76	62,08		ns	ns
Acetato 48h, mol/100 mol	A	70,77	70,44	70,03	73,36	68,42	3,21	ns	ns
	C	75,11	66,75	64,15	69,85	69,58		ns	ns
	T ⁴	68,81	66,34	68,62	66,92	71,97		ns	<0,040
Propionato 0h, mol/100 mol	A ⁵	34,11	28,51	29,87	25,35	22,29	10,43	0,001	ns
	C ⁶	27,23	30,38	32,50	27,59	23,89		ns	0,005
	T	24,33	21,88	22,02	22,77	26,19		ns	ns
Propionato 48h, mol/100 mol	A ⁷	21,33	20,17	18,91	18,08	21,27	10,25	ns	0,050
	C	14,70	21,03	22,72	18,65	20,08		ns	ns
	T ⁸	19,09	22,62	22,06	22,72	17,97		ns	0,003
Butirato 0h, mol/100 mol	A	13,34	13,65	14,43	15,62	13,72	14,28	ns	ns
	C	17,85	14,89	15,56	12,70	14,82		ns	ns
	T	10,81	9,93	9,57	11,47	11,72		ns	ns
Butirato 48h, mol/100 mol	A	7,91	9,38	11,06	8,56	10,30	10,45	ns	ns
	C ⁹	10,20	12,22	13,13	11,49	10,34		ns	0,007
	T ¹⁰	12,09	11,03	9,32	10,36	10,06		0,039	ns

CV = Coeficiente de variação; P = probabilidade; ns: não significativo; L = linear; Q = quadrático

$$^1\hat{Y} = 120,7954 + 1,5002x \quad r^2 = 0,8452$$

$$^2\hat{Y} = 204,3573 + 0,9146x - 0,0350x^2 \quad r^2 = 0,7309$$

$$^3\hat{Y} = 210,3920 + 1,5753x \quad r^2 = 0,9431$$

$$^4\hat{Y} = 68,4656 - 0,1944x + 0,0070x^2 \quad r^2 = 0,7905$$

$$^5\hat{Y} = 31,9593 - 0,2621x \quad r^2 = 0,8511$$

$$^6\hat{Y} = 28,6434 + 0,2371x - 0,0091x^2 \quad r^2 = 0,6963$$

$$^7\hat{Y} = 21,4236 - 0,3265x + 0,0081x^2 \quad r^2 = 0,9945$$

$$^8\hat{Y} = 19,7843 + 0,3681x - 0,0104x^2 \quad r^2 = 0,8832$$

$$^9\hat{Y} = 10,9205 + 0,1726x - 0,0048x^2 \quad r^2 = 0,5635$$

$$^{10}\hat{Y} = 11,7495 - 0,1740x - 0,0034x^2 \quad r^2 = 0,6056$$

De uma maneira geral, não foram detectadas alterações expressivas entre as proporções molares individuais de acetato, propionato e butirato com a adição dos níveis de mucilagem de palma forrageira aos diferentes substratos. Já em estudos com avaliações *in vivo* têm se observado efeito do uso da palma forrageira sobre as proporções dos principais ácidos graxos voláteis. Misra et al. (2006) observaram que ao adicionarem palma forrageira na dieta de ruminantes houve alterações nas proporções dos principais AGV, com diminuição da produção de acetato e aumento na produção de propionato. Os mesmos autores justificaram esse comportamento devido a adição de carboidratos rapidamente fermentáveis quando a palma forrageira é adicionada às

rações, uma vez que essa espécie forrageira é rica em carboidratos não fibrosos (Cavalcanti et al., 2008; Tegegne et al., 2007). Por outro lado, estudos *in vivo* com caprinos desenvolvidos em paralelo a esta pesquisa, não foram verificadas alterações no perfil dos ácidos graxos voláteis quando a palma forrageira era adicionada na alimentação dos animais.

Apesar do aumento dos carboidratos não fibrosos impulsionar a produção de propionato, existe uma particularidade em relação a palma forrageira que pode não promover esse aumento na produção de propionato. Quanto a sua composição, no que diz respeito aos carboidratos não fibrosos, a palma forrageira é rica no componente pectina, que mesmo sendo considerada como um carboidrato estrutural possui taxa e extensão de degradação similar aos carboidratos não estruturais, que por sua vez favorece a produção de acetato (Hatfield e Weimer, 1995). Desta forma, o aumento na produção de acetato via fermentação da pectina, simultâneo a produção de propionato, via demais carboidratos não fibrosos, não permite alterações quanto a relação desses ácidos.

Deste modo, os resultados apontam que a inclusão de níveis de até 40% de mucilagem de palma forrageira não altera a proporção molar dos principais ácidos graxos voláteis produzidos pelos ruminantes.

A inclusão dos níveis de mucilagem afeta o pH do meio, porém a alteração na acidez não parece ser suficiente para alterar o crescimento microbiano e a produção de ácidos graxos voláteis. Apesar de alguns estudos considerarem que a mucilagem da palma forrageira possui algumas substâncias com atividade antimicrobiana (Castillo et al., 2011; Sánchez et al. 2010), de acordo com os resultados obtidos neste estudo não foram observados indícios desse tipo de atividade sobre os microrganismos ruminais.

CONCLUSÕES

A inclusão de até 40% de mucilagem de palma forrageira no sistema *in vitro* não afeta o padrão de fermentação do amido, celulose e proteína realizada por microrganismos ruminais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, G. L.; BATISTA, A. M. V.; CARVALHO, F. F. R. Substituição do milho por casca de soja: consumo, rendimento e características de carcaça e rendimento da buchada de caprinos. **Acta Scientiarum. Animal Science**, v.30, n.1, p.41-49, 2008.
- ANDRADE, D. K .B.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. 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). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2088- 2097, 2002.
- ANDRADE-MONTEMAYOR, H. M.; CORDOVA-TORRES, A. V.; GRACÍA-GASCA, T. et al. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* ssp.) and Nopal (*Opuntia* ssp.) **Small Ruminant Research**, v.98, p.83-92, 2011.
- BATISTA, A. M.; MUSTAFA, A. F.; TIM, M. et al. Effects of variety of chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. **Journal Science Food Agriculture**, v.83, p.440-445, 2003.
- BISPO, S. V.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. et al. 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.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal Biochemical**, v.72, p.248-254, 1976.
- CASTILLO, S. L.; HEREDIA, N.; CONTRERAS, J. F. et al. Extracts of edible and medicinal plants in inhibition of growth, adherence, and cytotoxin production of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli*. **Journal of Food Science**, v.76, n.6, p.421-426, 2011.
- CAVALCANTI, C. V. A.; FERREIRA, M. A.; CARVALHO, M. C. et al. Palma forrageira enriquecida com uréia em substituição ao feno de capim-tifton 85 em

- rações para vacas da raça Holandesa em lactação. **Revista brasileira de Zootecnia**, v.37, n.4, p.689-693, 2008.
- CHANEY, A.L., MARBACH, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, v.8, p.130-132, 1962.
- COSTA, R. C.; BELTRÃO FILHO, E. M.; MEDEIROS, A. N. et al. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. **Small Ruminant Research**, 82:65-65. 2009.
- COSTA, R. C.; BELTRÃO FILHO, E. M.; QUEIROGA, R. C. R. E. et al. Chemical composition of milk from goats fed with cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in substitution to corn meal. **Small Ruminant Research**, v.94, p.214-217, 2010.
- HATFIELD, R. D.; WEIMER, P. J. Degradation characteristics of isolated and *in situ* cell wall Lucerne pectic polysaccharides by mixed ruminal microbes. **Journal of Science and Food Agriculture**, v.69, n.2, p.185-196, 1995.
- HU, ZHEN-HU.; WANG, G.; YU, HAN-QING. Anaerobic degradation of cellulose by rumen microorganisms at various pH values. **Biochemical Engineering Journal**, v.21, p.59-62, 2004.
- LANA, R. P.; CUNHA, L. T.; BORGES, A. C. et al. Desenvolvimento de uma técnica para determinação da degradabilidade da proteína dos alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.2119-2127, 2000.
- McDOUGALL, E. I. Studies on ruminant saliva. I. The composition and output of sheep's saliva. **Journal of Biochemical**, v.43, p. 99-109, 1948.
- MELO, A. A. S.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. et al. Desempenho leiteiro de vacas alimentadas com caroço de algodão em dieta à base de palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1165-1171, 2006.
- MISRA, A. K.; MISRHA, A. S.; TRIPATHI, M. K. et al. Intake, digestion and microbial protein synthesis in sheep on hay supplemented with prickly pear cactus [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] with or without groundnut meal. **Small Ruminant Research**, v.63, p.125-134, 2006.
- OLIVEIRA, J. S.; LANA, R. P.; BORGES, A. C. et al. Efeito da monensina e extrato de própolis sobre a produção de amônia e degradabilidade *in vitro* da proteína bruta de

- diferentes fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.2, p.504-510, 2004.
- OLIVEIRA, J. S.; QUEIROZ, A. C.; MANTOVANI, H. C. et al. Evaluation of whey fermented by *Enterococcus faecium* in consortium with *Veilonella parvula* in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.1, p.172-180, 2012.
- ORSKOV, E. R. **Nutrición proteica de los rumiantes**. Zaragoza: Acribia, 178p.1988.
- RUSSELL, B. J.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.
- SÁNCHEZ, E.; GARCÍA, S.; HEREDIA, N. Extracts of Edible and Medicinal Plants Damage Membranes of *Vibrio cholerae*. **Applied and Environmental Microbiology**, v.76, n.20, p.6888–6894, 2010.
- SANTOS, D. G.; FARIAS, I.; LIRA, M. A. et al. **Mane850 e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, Recife, documentos 30, 2006, 33p.
- SATTER, L. D.; SLYTER, L. L. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. **British Journal Nutrition**, v.32, n.2, p.199-208, 1974.
- TEGEGNE, F.; KIJORA, C. PETERS, K.J. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep an52d its contribution as source of water. **Small Ruminant Research**, v.72, p.157-164, 2007.
- VIEIRA, E. L.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A. et al. Effects of hay inclusion on intake, in vivo nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. **Animal and Feed Science Technology**, v.141, p.199-208, 2008.
- YAHIA, E. M.; ORNELAS, J. J.; ANAYA, A. Extraction and chemical characteristics of mucilage from Mesquite, *Aloe Vera*, Maguey and Prickly pear cactus cladodes (Nopal) and evaluation of its prebiotic effect on the growth of 2 probiotic bacteria. **Acta Horticulturae**, v.841, p.625-628, 2009.

Capítulo 2

Efeito da relação de fibra em detergente neutro advindo de forragem e carboidratos não fibrosos sobre os microrganismos ruminais e digestibilidade da fibra em detergente neutro em caprinos

Efeito da relação de fibra em detergente neutro advindo de forragem e carboidratos não fibrosos sobre os microrganismos ruminais e digestibilidade da fibra em detergente neutro em caprinos

Resumo: Objetivou-se com esta pesquisa avaliar os efeitos resultantes das diferentes relações entre fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) e carboidratos não fibrosos (CNF) sobre os produtos da fermentação ruminal e a digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro em dietas para caprinos. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, dispostos em um esquema fatorial 3×5 , com três níveis de FDNf (10, 19 e 29%) e cinco níveis de CNF (35, 40, 45, 50 e 55%), com base na matéria seca. Os tratamentos foram avaliados em ambiente ruminal simulado por incubação *in vitro* em diferentes tempos de incubação: 0, 3, 6, 12, 24 e 48 horas. O procedimento de incubação foi repetido três vezes, perfazendo-se o total de três avaliações por tempo de incubação para cada tratamento. Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de FDNf e CNF para todas as variáveis de parâmetros ruminais estudadas. Houve efeito linear positivo ($P < 0,05$) para a concentração de proteína microbiana após 48 horas de fermentação dos níveis de FDNf em função do aumento nos níveis de CNF, com exceção do meio contendo 19% de FDNf. A concentração de nitrogênio amoniacal após 48 horas de fermentação foi afetada de forma linear ($P < 0,05$) entre os níveis de CNF nos meios contendo 10 e 29% de FDNf. Não houve ajuste de modelos lineares ($P > 0,05$) para os valores de pH. Não foram verificadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os valores de pH em função do tempo com o aumento nos níveis de CNF. Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de FDNf e CNF para a concentração total de ácidos graxos voláteis (AGV) e as proporções molares individuais. As concentrações de AGV totais às 48 horas foram sempre superiores as concentrações à 0 hora, em todas as combinações de níveis de FDNf e CNF. Não houve ajuste de modelos lineares ($P > 0,05$) para a digestibilidade da FDN nos níveis de 10 e 19% de FDNf em função da adição de CNF ao meio, no entanto, nas mini-dietas contendo 29% de FDNf houve ajuste de modelo quadrático ($P = 0,056$). As diferentes relações entre os níveis de fibra em detergente neutro e carboidratos não fibrosos afeta os produtos finais da fermentação e a digestibilidade *in vitro* das mini-dietas.

Palavras-chave: ácidos graxos voláteis, fermentação *in vitro*, pH, proteína microbiana.

Effects of relationships between forage neutral detergent fiber and non fibrous carbohydrates on rumen microorganism and digestibility of neutral detergent fiber for goats

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effects of relationships between forage neutral detergent fiber (fNDF) and non fibrous carbohydrates (NFC) on ruminal fermentation products and *in vitro* digestibility of neutral detergent fiber for goats. A 3×5 factorial scheme in a completely randomized design with three fNDF levels (10, 19 and 29%) and five NFC levels (35, 40, 45, 50 and 55%) was used, all on dry mater basis. The treatments were evaluated by *in vitro* simulated ruminal environment, following the incubation times: 0, 3, 6, 12, 24 and 48 h. The procedure was repeated three times, totaling three evaluations by incubation time for each treatment. There was interaction ($P < 0.050$) between fNDF and NFC on all ruminal parameters studied. Microbial protein concentration after 48 h of fermentation had a linear effect ($P < 0.05$) on all fNDF levels as a function of increases NFC levels, except for diets containing 19% of fNDF. Increasing NFC levels in diets containing 10 and 29% of fNDF had a linear increase ($P < 0.05$) on concentration of ammonia nitrogen after 48 h of fermentation. There was no adjust of linear models ($P > 0.05$) for pH values. No significant differences ($P > 0.05$) were observed between pH values in function of time with increment of CNF levels. There was interaction ($P < 0.05$) between fNDF and NFC levels for total volatile fatty acid (VFA) and individual molar proportions. Total volatile fatty acid (VFA) and individual molar proportions was affected ($P < 0.05$) among fNDF and NFC levels. VFA concentrations at 48 h were always higher than 0 h, for all combinations among fNDF and NFC levels. NDF digestibility had no effect ($P > 0.05$) of fNDF and NFC levels, except for experimental diets containing 29% of fNDF which had adjust for a quadratic model ($P = 0.0056$). Diffferents relationship among neutral detergent fiber and non-fibrous carbohydrates levels affect fermentation end products and *in vitro* digestibility by experimental diets.

Keywords: volatile fatty acids, *in vitro* fermentation, pH, microbial protein.

INTRODUÇÃO

As recomendações quanto ao mínimo de fibra em detergente neutro (FDN) total e o mínimo advindo de forragem (FDNf), 25% de FDN total e 19% de FDNf, respectivamente, foram definidas através de uma compilação de resultados de pesquisa, avaliando o desempenho de vacas leiteiras em condições específicas de alimentação (NRC 2001).

Enquanto existe um compreensivo entendimento da função que a fibra representa como um nutriente em bovinos, a digestão da fibra e seu papel no desempenho animal não tem recebido igual atenção em caprinos (Lu et al., 2008). Caprinos diferem no comportamento ingestivo, nível de consumo e capacidade de seleção da dieta quando comparado aos bovinos (Reid et al., 1990). Tratando como exemplo o consumo voluntário de matéria seca, sabe-se que a demanda por energia e a capacidade física do trato digestório são determinantes quanto ao nível de consumo de um determinado animal. Desta forma, o conhecimento obtido em outras espécies de ruminantes não deveria ser extrapolado para caprinos.

Entre as diversas linhas de pesquisa relacionadas à nutrição de ruminantes, o estudo da relação entre FDN e carboidratos não fibrosos (CNF) é de grande importância. Adequados níveis de FDN em dietas para animais ruminantes em produção são normalmente ajustados com o objetivo de manter o funcionamento normal do rúmen, manutenção da síntese de proteína microbiana (Xu et al., 2014), otimizar o consumo e a digestibilidade (Oliveira et al., 2011). Da mesma forma, o teor de CNF tem sido considerado em formulação de rações para ruminantes como critério de ajuste nutricional em relação à fração fibrosa dos alimentos (NRC, 2001), de maneira que sua implementação está relacionada com o aumento nos níveis de concentrado na dieta, que por sua vez melhora o consumo de alimentos, digestibilidade dos nutrientes e a síntese de proteína microbiana no rúmen (Ramos et al., 2009). No entanto, resta saber qual destes componentes, FDNf e CNF, mais afeta os microrganismos ruminais de caprinos, se o mínimo de FDNf ou o máximo de CNF.

De fato, a definição de um ótimo balanço entre fibra fisicamente efetiva e carboidratos rapidamente fermentáveis na dieta é difícil, mas não apenas para manutenção das propriedades metabólicas do rúmen (Zebeli et al., 2006a; Plaizier et al., 2008), também para a manutenção do status da saúde metabólica como um todo, além de aumentos no desempenho animal (Ametaj et al., 2010; Zebeli et al., 2011).

No caso de caprinos, não existem recomendações sobre os valores máximo e mínimo de fibra e carboidrato não fibroso na dieta que maximize o consumo, desempenho animal e/ou manutenção das condições normais do ambiente ruminal. Desta maneira, a avaliação de dietas com diferentes relações de FDNf e CNF em condições de fermentação *in vitro* podem ser utilizadas como importante ferramenta quanto ao uso de quantidades mínimas e máximas de FDNf e CNF na alimentação de caprinos, uma vez que resultados dessa natureza são escassos na literatura corrente.

Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos resultantes das diferentes relações entre FDNf e CNF sobre os produtos da fermentação ruminal e a digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro em dietas para caprinos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento *in vitro* foi realizado no Laboratório de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Um caprino fistulado no rúmen, mantido no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia da UFPB, foi utilizado como animal doador de líquido ruminal. O mesmo foi alimentado com silagem de milho e concentrado à base de milho moído, farelo de soja e suplemento mineral, na proporção 70% volumoso: 30% concentrado.

O líquido ruminal foi coletado 2 horas após o arraçoamento da manhã, filtrado em quatro camadas de gaze, acondicionado em garrafa térmica com fechamento hermético e transportado imediatamente para o laboratório. Em seguida, o líquido ruminal foi transferido para frascos erlenmeyer de 500 mL, no qual foram saturados com CO₂ e vedados com papel filme, sendo deixados em repouso durante 30 minutos em estufa B.O.D (SP LABOR, modelo SP-500) mantida à temperatura constante de 39°C. Após formação das interfaces do líquido, retirou-se o líquido intermediário para obtenção do inóculo contendo população microbiana mais ativa (Oliveira et al., 2012).

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, disposto em um esquema fatorial 3 × 5 (três níveis de FDNf e cinco níveis de CNF) com três repetições. As mini-dietas foram compostas por feno de capim-tifton 85, milho moído, farelo de soja, farelo de trigo, ureia e amido (Tabela 1). As diferentes combinações dos níveis de FDNf e CNF foram alcançados através do uso de mini-dietas formuladas para serem isoprotéicas de acordo com recomendações do NRC (2007) (Tabela 2 e 3).

Tabela 1. Composição bromatológica dos ingredientes experimentais, expresso com base na matéria seca

	Ingredientes (g/kg de MS)					
	Feno	Milho moído	F. soja	F. trigo	Ureia	Amido ¹
Matéria seca	858,8	876,4	883,7	880,0	975,7	887,7
Matéria orgânica	946,0	988,4	944,1	946,8	-	91,3
Matéria Mineral	54,0	11,6	55,9	53,2	-	8,7
Proteína bruta	88,0	95,2	464,1	160,0	2810	4,9
Extrato etéreo	7,7	38,0	15,6	35,3	-	2,6
FDN	731,0	283,3	133,6	440,0	-	-
FDNcp	712,5	247,5	96,1	394,3	-	-
CNF	3,61	582,0	300,0	303,6	-	990,6

¹Dados oriundos das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos (CQBAL 3.0)

Tabela 2. Proporção dos ingredientes utilizados na formulação das mini-dietas (g/kg de MS)

Ingredientes	FDNf (%MS)	CNF (g/kgMS)				
		35	40	45	50	55
Feno de tifton	10	133,2	133,2	133,2	133,2	133,2
Milho moído		22,38	22,38	22,38	22,38	200,0
Farelo de soja		0,00	0,00	0,00	0,00	1,60
Farelo de trigo		643,0	590,0	525,0	440,0	364,0
Ureia		0,00	0,00	4,0	8,0	10,0
amido		0,00	53,0	114,0	195,0	276,8
Feno de tifton	19	253,1	253,1	253,1	253,1	253,1
Milho moído		250,0	250,0	250,0	250,0	250,0
Farelo de soja		35,0	35,0	40,0	40,0	40,0
Farelo de trigo		451,9	380,0	296,0	216,9	140,0
Ureia		0,00	1,9	5,9	10,0	14,0
Amido		10,0	80,0	155,0	230,0	302,9
Feno de tifton	29	386,3	386,3	386,3	386,3	386,3
Milho moído		290,0	290,0	290,0	125,0	0,00
Farelo de soja		63,0	63,0	63,0	105,0	108,0
Farelo de trigo		228,7	147,7	70,0	20,0	0,00
Ureia		0,00	5,0	8,7	10,0	14,5
Amido		32,0	108,0	182,0	353,7	491,2

Tabela 3. Composição química das mini-dietas, expressas com base na matéria seca

Ingredientes	FDNf (%MS)	CNF (g/kgMS)				
		35	40	45	50	55
Matéria seca		873,7	829,7	877,6	878,6	882,2
Matéria orgânica		953,2	905,8	957,2	957	960,5
Proteína bruta		135,4	127,4	128,8	126,9	126,4
Extrato etéreo	10	32,1	30,4	28,1	25,1	21,8
Cinzas		43,8	41,2	38,8	35	32,5
FDN		442,4	420,4	391,8	354,4	317,6
CNF		365,8	400,6	443,8	498,2	545,2
CNF/FDN		8,3	9,5	11,3	14,1	17,1
Matéria seca		873,9	874,7	875,6	876,6	877,6
Matéria orgânica		957,3	958,6	958,1	957,6	957
Proteína bruta		134,7	128,8	129,3	128,6	127,9
Extrato etéreo	19	27,9	25,4	22,5	19,7	17
Cinzas		42,7	39,5	36	32,4	29
FDN		459,3	427,7	391,4	356,6	322,8
CNF		349,9	400,6	450,3	495	533,2
CNF/FDN		7,7	9,4	11,5	14	17
Matéria seca		871,2	872,3	873,2	875,4	878,3
Matéria orgânica		959,8	958,4	958,2	957,5	955,1
Proteína bruta		127,6	129,1	127,4	127,7	127,7
Extrato etéreo	29	23,1	20,2	17,4	10,1	4,7
Cinzas		40,2	36,6	33,1	32,5	31,4
FDN		473,6	437,9	403,7	340,6	296,9
CNF		349,9	400,6	450,3	495	533,2
CNF/FDN		7,4	9,1	11,2	14,5	18

Amostras de feno, milho, soja e trigo utilizados na formulação das mini-dietas, foram pré-secas em estufa de ventilação forçada (60°C) e, em seguida, processadas em moinho de facas (1 mm). Posteriormente, determinou-se a composição em matéria seca (método 930,15; AOAC, 2000), matéria orgânica (método 932,05; AOAC, 2000), cinzas (método 942,05; AOAC, 2000), proteína bruta ($N \times 6,25$; método 984,13; AOAC, 2000) e extrato etéreo (método 973,18; AOAC, 2000). Para a fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) utilizou-se metodologia descrita por Mertens (2002). As correções de FDN para cinzas e proteína (FDN_{cp}) foram realizadas de acordo com Licitra et al. (1996) e Mertens (2002). A concentração em carboidratos não-fibrosos (CNF) foi estimada a partir da equação: $CNF = 100 - (\%PB + \%EE + \%Cinzas + \%FDN)$ de acordo com Sniffen et al. (1992). Nas dietas que continham ureia na composição adotou-se o cálculo dos CNF, através da equação proposta por Hall (2000):

$CNF = 100 - [(\%PB - \%Pbu + \%U) + \%EE + \%Cinzas + \%FDNcp]$; em que: Pbu = teor de PB, proveniente da ureia (%); e U = teor de ureia (%).

Alíquotas das mini-dietas (350 mg de MS) foram acondicionadas em frascos de vidro tipo "penicilina" com 50 mL de volume total. A solução de McDougall (1948) foi preparada em frascos de erlenmeyer, procedendo-se o ajustamento do pH para 6,8 por aspersão com dióxido de carbono. A cada frasco foram adicionados 28 mL da saliva artificial e 7 mL de inóculo ruminal, procedendo-se imediatamente a saturação com dióxido de carbono e a vedação dos frascos. A relação final para os tratamentos foi de 100 mg de MS de forragem/10 mL de solução final e 1 mL de inóculo ruminal/4 mL de solução tampão (Tilley e Terry, 1963). Em seguida, os frascos foram incubados em estufa B.O.D (SP LABOR, modelo SP-500), mantida à temperatura constante de 39°C durante 48 horas. A incubação foi realizada de acordo com metodologia parcial de Tilley e Terry (1963).

Foram avaliados os tempos de 0, 3, 6, 12, 24 e 48 horas de incubação. O procedimento de incubação foi repetido três vezes, perfazendo-se o total de três avaliações por tempo de incubação para cada tratamento.

Ao final de cada tempo de incubação, alíquotas do conteúdo presentes em cada frasco foram colhidas com o uso de seringas contendo agulhas 0,80 mm x 25 mm, de modo a manter a anaerobiose dentro dos tubos (Lana et al. 2000). As colheitas de amostras (1,0 mL), para a mensuração do pH, determinação de nitrogênio amoniacal e proteína microbiana foram realizadas em todos os tempos de incubação. Para análise dos ácidos graxos voláteis (AGVs), foram considerados apenas os tempos de 0 e 48 horas. O pH do meio foi determinado através de peagâmetro digital (TECNOPON, modelo mPA-210).

O líquido colhido dos tubos de fermentação foi colocado em tubos eppendorf de 2,0 mL, centrifugados em centrífuga (HETTICH, modelo Mikro 200), a 5200 g por 10 minutos, retirando-se o sobrenadante. Para análise de AGV, 0,5 mL do sobrenadante foi colocado em tubo eppendorf de 1,0 mL adicionando-se 0,5 mL de solução de ácido metafosfórico 25%, e congelado para posterior análise. O restante do sobrenadante foi colocado em outro tubo ependdorf para análise de N-NH₃, os quais foram mantidos a -20°C para posterior análise, utilizando o método colorimétrico de Chaney e Marbach (1962). O sedimento bacteriano (pellet), resultante da centrifugação do líquido ruminal, foi submetido a duas sucessivas ressuspensões e centrifugações em solução de NaCl a 0,9% (p/v), e em seguida, uma alíquota de 1,5 mL foi armazenada a -20°C para posterior

análise de proteína microbiana. A concentração de proteína microbiana foi realizada pelo método de Bradford (1976). Ambas as análises de nitrogênio amoniacal e proteína microbiana foram realizadas utilizando-se de aparelho espectrofotômetro (BIOSPECTRO, modelo SP-22).

As análises dos ácidos acético, propiônico e butírico foram realizadas em HPLC (Cromatografia Líquida de Alto desempenho), marca SHIMADZU, modelo SPD-10A VP acoplado ao Detector Ultra Violeta (UV), utilizando-se um comprimento de ondas: 210 nm.

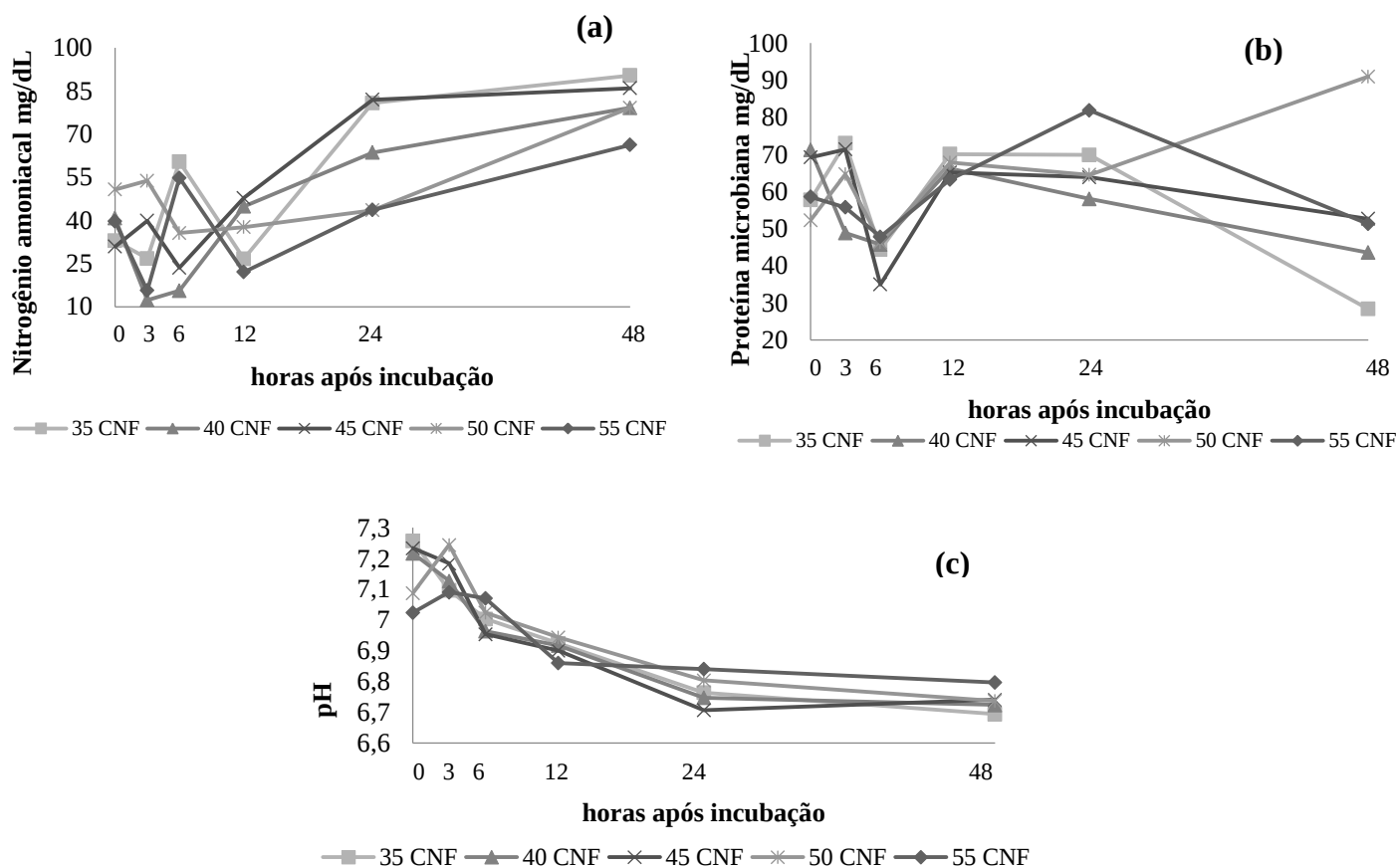
Ao final do último tempo de incubação, o resíduo proveniente de cada frasco foi filtrado sob vácuo em cadinhos filtrantes (porosidade grossa), sendo a parte líquida descartada. Os cadinhos foram então acondicionados em frascos de polietileno (120 mL), aos quais se adicionaram 50 mL de detergente neutro (Mertens, 2002). Depois de vedados, os frascos foram autoclavados (105°C/1 hora), de forma a se extraírem todos os componentes solúveis em detergente neutro (método de micro extração; Pell e Schofield, 1993). Após esse tratamento, procedeu-se novamente a filtração sob vácuo e lavagem sequencial do resíduo com água quente e acetona. A FDN residual foi obtida após secagem do material em estufa não-ventilada (105°C/16 horas). O coeficiente de digestibilidade da FDN foi obtido por meio da seguinte equação: $CD_{FDN} = (\text{quantidade de FDN presente na amostra extraída dos frascos} - \text{quantidade de FDN na amostra pós lavagem}) / \text{quantidade de FDN presente na amostra extraída dos frascos} \times 100$.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando-se o procedimento GLM do SAS. Os modelos de regressão dos diferentes níveis de FDNf foram submetidos ao teste de identidade de modelos. A escolha das equações de regressão baseou-se no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t, adotando-se $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

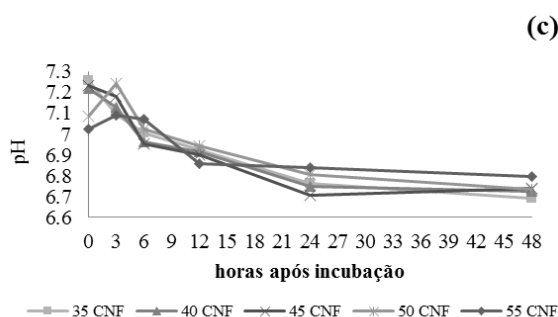
A concentração de nitrogênio amoniacal apresentou variação semelhante nos três níveis de FDNf estudados em função dos níveis de CNF ao longo do tempo de fermentação, atingindo as concentrações máximas após 48 horas de fermentação (Figuras 1a, 2a e 3a), possivelmente devido ao acúmulo dessa substância em meio a uma redução na concentração de proteína microbiana após 24 horas de incubação

(Figura 1b, 2b e 3b), com exceção do comportamento microbiano observado na dieta contendo 29% de FDNf com os níveis de 45 e 55% de CNF. Como em experimentos *in vitro* a fermentação ocorre em meio fechado, ou seja, não existe a absorção da amônia pelas paredes do rúmen, como nos experimentos *in vivo*, a concentração de nitrogênio amoniacal está diretamente relacionada com o crescimento microbiano, uma vez que os mesmos a utilizam como fonte de nitrogênio para síntese de proteína microbiana (Russel, 2002). Não foram verificadas diferenças significativas entre os valores de pH em função do tempo com o aumento nos níveis de CNF, possivelmente também ao forte tamponamento do meio através da solução de McDougall. Entretanto, em estudos prévios com animais *in vivo* o maior suprimento de carboidratos rapidamente fermentáveis acarretou em maior produção de AGV e, consequentemente,



redução no pH do meio (Ma et al., 2015; Vieira et al., 2008).

Figura 1. Efeito dos níveis de carboidratos não fibrosos (CNF) sobre a concentração de nitrogênio



amoniaco (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 10% de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf)

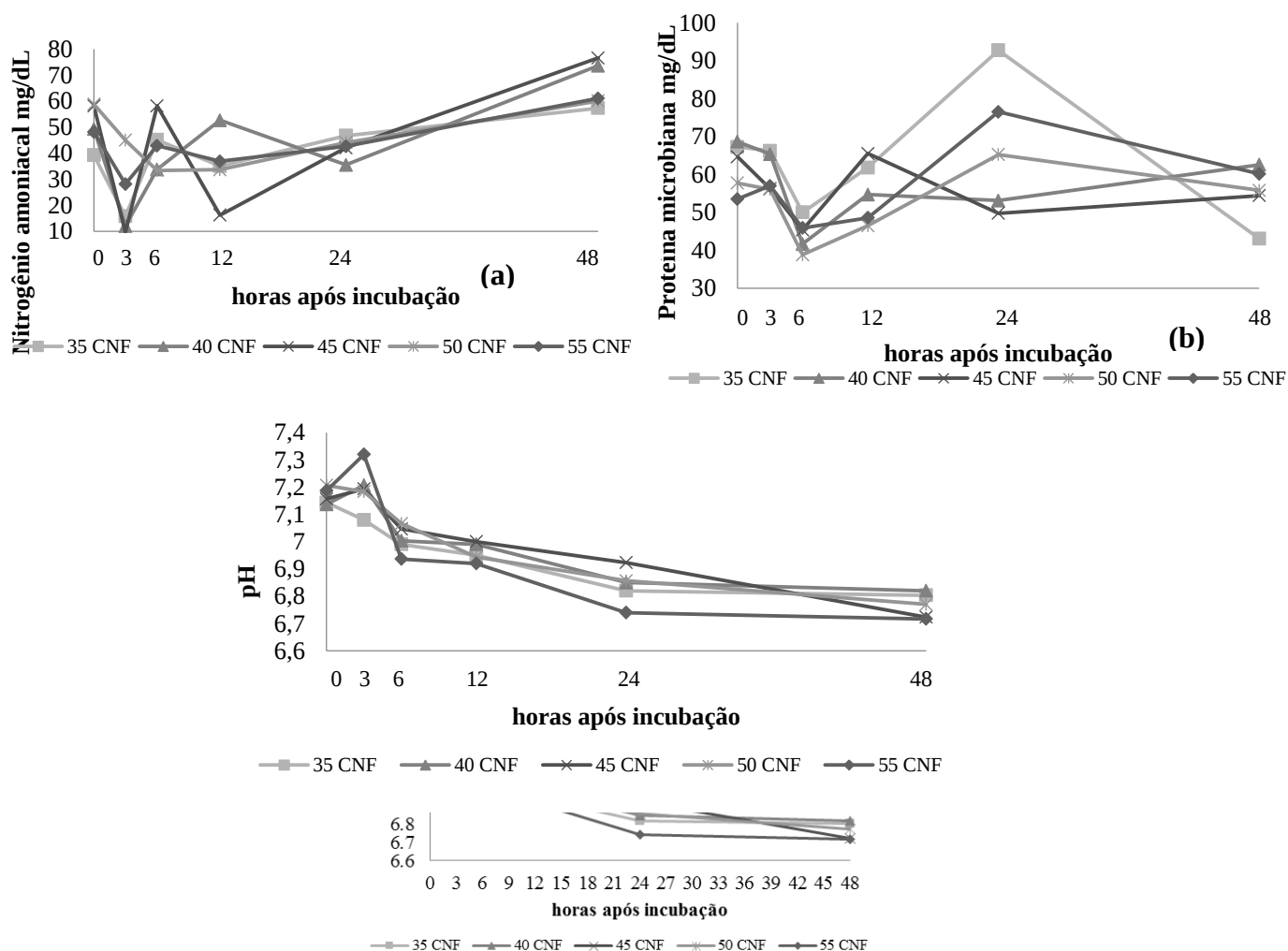


Figura 2. Efeito dos níveis de carboidratos não fibrosos (CNF) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 19% de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf)

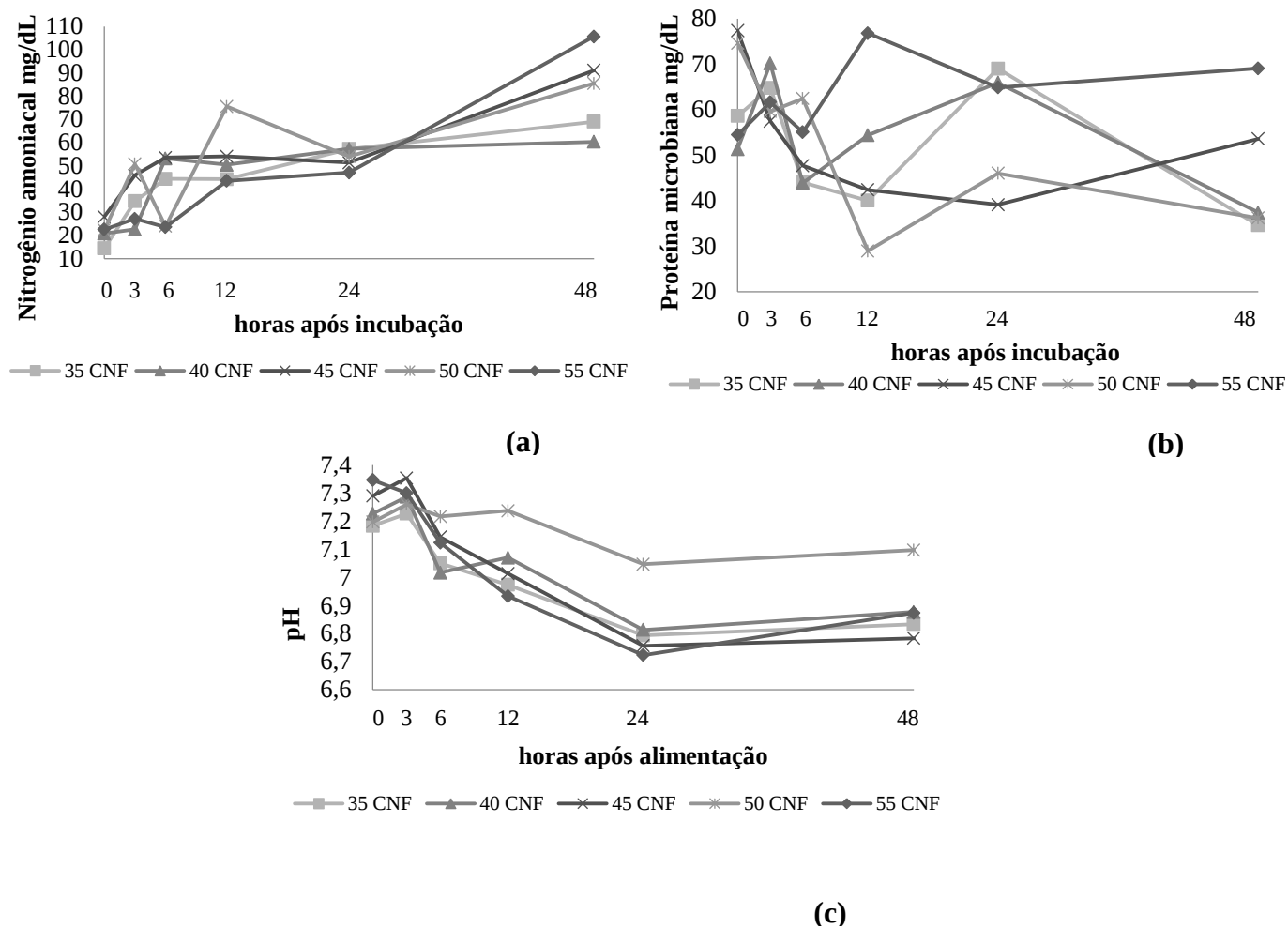


Figura 3. Efeito dos níveis de carboidratos não fibrosos (CNF) sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (a), proteína microbiana (b) e alterações na acidez (c) ao longo do tempo de fermentação, por microrganismos ruminais, em meio contendo 29% de fibra em detergente neutro, advindo de forragem (FDNf).

Desta forma, observou-se que as variações no padrão microbiano de caprinos são mais afetadas pelas variações nas concentrações de carboidratos não fibrosos quando comparadas as concentrações de fibra em detergente neutro proveniente de forragem. O

comportamento similar, observado nos três níveis de FDNf estudados, reforça essa linha de pensamento.

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de FDNf e CNF para todas as variáveis de parâmetros ruminais estudadas (Tabela 4).

Houve efeito linear positivo ($P < 0,05$) para a concentração de proteína microbiana 48 horas de fermentação da dieta nos níveis de FDNf em função do aumento nos níveis de CNF, com exceção do meio contendo 19% de FDNf. Ao realizar-se o teste de identidade de modelos, observou-se que o modelo linear dos níveis de CNF no nível de FDNf de 10 e 29% foram iguais ($P > 0,05$), visto que os níveis de CNF afeta de forma semelhante a produção de proteína microbiana independente da quantidade de FDNf contida no meio. Desta forma, evidencia-se que a concentração de proteína microbiana em caprinos é mais influenciada pelos níveis de CNF do que pelos níveis de FDNf.

Tabela 4. Efeito dos níveis de FDNf e CNF sobre a concentração de proteína microbiana (Ptn), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e de pH durante fermentação *in vitro*

Variáveis	FDNf (%)	CNF (%)					CV (%)	P	
		35	40	45	50	55		L	Q
Ptn 0h, mg/dL	10	57,79	71,24	69,24	52,29	58,59	6,11	ns	ns
	19 ¹	67,29	68,64	64,66	59,66	53,54		<0,0001	ns
	29 ²	58,61	51,30	77,35	74,57	54,44		0,0409	<0,0001
Ptn 48h, mg/dL	10 ³	28,36	43,56	52,68	58,86	65,78	14,29	<0,0001	ns
	19	43,08	62,58	54,45	55,81	60,18		ns	ns
	29 ⁴	34,58	37,38	53,58	36,18	69,08		<0,0001	ns
N-NH ₃ 0h, mg/dL	10	32,94	40,77	30,91	50,73	39,64	6,63	ns	ns
	19 ⁵	39,20	49,29	58,13	58,43	58,20		<0,0001	<0,0001
	29 ⁶	12,37	20,79	28,01	22,25	22,51		<0,0001	<0,0001
N-NH ₃ 48h, mg/dL	10 ⁷	89,38	79,12	85,91	79,12	66,24	7,66	<0,0001	ns
	19 ⁸	57,32	73,58	76,58	60,09	61,06		ns	0,0004
	29 ⁹	68,96	60,32	91,09	85,50	105,6		<0,0001	ns
pH 48h	10	6,69	6,72	6,74	6,74	6,74	0,58	ns	ns
	19	6,80	6,82	6,72	6,77	6,72		ns	ns
	29	6,83	6,87	6,78	7,09	6,87		ns	ns

CV = Coeficiente de variação; P = probabilidade; ns: não significativo; L = linear; Q = quadrático

$$^1\hat{Y} = 95,5917 - 0,7297\text{CNF} \quad r^2 = 0,8681$$

$$^2\hat{Y} = -257,5323 + 14,3044\text{CNF} - 0,156\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,4118$$

$$^3\hat{Y} = 31,28 + 1,8029\text{CNF} \quad r^2 = 0,9572$$

$$^4\hat{Y} = -14,8600 + 1,3560\text{CNF} \quad r^2 = 0,5158$$

$$^5\hat{Y} = -154,3843 + 8,4442\text{CNF} - 0,0833\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,9881$$

$$^6\hat{Y} = -163,8181 + 7,9736\text{CNF} - 0,0837\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,8529$$

$$^7\hat{Y} = 121,6093 - 0,9256\text{CNF} \quad r^2 = 0,6826$$

$$^8\hat{Y} = -211,4360 + 12,7561\text{CNF} - 0,1431\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,6016$$

$$^9\hat{Y} = -6,3840 + 1,9708\text{CNF} \quad r^2 = 0,7508$$

Observa-se que os valores de proteína microbiana no tempo 0 apresentaram valores superiores quando comparados à concentração de proteína microbiana 48 horas para quase todas as combinações de FDNf e CNF. Tal comportamento pode ser explicado devido a possível presença de substâncias oriundas da dieta, como aminoácidos livres e peptídeos, na amostra analisada. A obtenção de resultados como esse nos faz refletir sobre o método proposto para a realização das análises. Talvez o uso de outra metodologia seja mais eficaz quanto a determinação da concentração de proteína microbiana, uma vez que o método de Bradford não é específico para tal finalidade. Vale ressaltar que uma nova rodada de análises foi realizada após a observação do comportamento inesperado entre a concentração de proteína microbiana no tempo 0 e 48 horas de fermentação.

O fornecimento de maior quantidade de carboidratos, rapidamente fermentáveis via aumento dos níveis de CNF, favorece a formação de um ambiente propício ao crescimento bacteriano, aumentando a disponibilidade de energia para os microrganismos ruminais se multiplicarem (Russel et al. 1992; Ma et al., 2014; Ma et al., 2015; Costa et al., 2008). Aliada ao aumento nos níveis de energia para a concretização desta em síntese de proteína microbiana, deve haver níveis adequados de nitrogênio amoniacal ruminal superior a 5 mg/dL (Satter e Styler, 1974), que são utilizados como fonte de nitrogênio pelos microrganismos ruminais. Apesar do aumento no aporte de carboidratos rapidamente degradáveis no meio, possivelmente, a não alteração do pH impediu que os microrganismos fermentadores de carboidratos não fibrosos se sobressaíssem aos fermentadores de carboidratos fibrosos (Russel, 2002).

A concentração de nitrogênio amoniacal 48 horas foi afetada de forma linear ($P < 0,05$) entre os níveis de CNF nos meios contendo 10 e 29% de FDNf. Para o meio contendo 19% de FDNf, observou-se comportamento quadrático ($P < 0,05$) da concentração de nitrogênio amoniacal em função dos níveis de CNF. Ao realizar-se o teste de identidade de modelos, observou-se que os modelos lineares escolhidos entre os FDNf em função dos níveis de CNF foram diferentes ($P < 0,05$), ou seja, o incremento dos níveis de CNF atuam de maneira diferente entre os níveis de FDNf contida no meio, quanto à concentração de nitrogênio amoniacal.

Com exceção do meio contendo 10% de FDNf, o aumento nos níveis de CNF promoveram aumento nas concentrações de nitrogênio amoniacal. Esse aumento pode ter ocorrido devido ao incremento de maiores quantidades de ureia adicionadas às mini-dietas, uma vez que a amônia não é originada apenas pela desaminação de aminoácidos,

mas também da hidrólise de compostos nitrogenados não-protéicos (Valadares Filho e Pina, 2011).

Não houve ajuste de modelos lineares ($P > 0,05$) para os valores de pH entre os níveis de FDNf em função dos níveis de CNF. Mesmo com aumentos significativos na produção de AGV totais observados após 48 horas de fermentação, a quantidade de ácido não foi suficiente para reduzir significativamente o pH do meio, muito provavelmente devido ao forte tamponamento do meio através da solução de McDougall. Ao verificar diversos estudos *in vitro* utilizando essa solução tampão, observou-se variações mínimas nos valores de pH, independente do tipo de substrato utilizado, sejam eles de lenta ou rápida degradação (Berthiaume et al., 2010; Purcell et al., 2014; Costa et al., 2008; Costa et al., 2009).

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de FDNf e CNF para a concentração total de AGV e as proporções molares individuais (Tabela 5). As concentrações de AGV totais às 48 horas foram sempre superiores as concentrações à 0 hora, em todas as combinações de níveis de FDNf e CNF. Ao realizar-se o teste de identidade de modelos, observou-se que os modelos escolhidos entre os FDNf em função dos níveis de CNF foram diferentes ($P < 0,05$), ou seja, o incremento dos níveis de CNF atuam de maneira diferente entre os níveis de FDNf contida no meio, quanto a produção de AGV totais.

Tabela 5. Efeito dos níveis de FDNf e CNF sobre a concentração dos principais ácidos graxos voláteis (AGV) e da proporção molar individual durante fermentação *in vitro*

Variáveis	FDNf (%)	CNF (%)					CV (%)	P	
		35	40	45	50	55		L	Q
AGV totais 0h, mM	10	49,89	49,97	48,19	51,04	51,27	4,40	ns	ns
	19 ¹	56,32	50,97	51,42	52,81	61,28		0,0094	<0,0001
	29 ²	58,63	54,91	51,60	49,89	50,04		<0,0001	ns
AGV totais 48h, mM	10 ³	176,1	174,4	180,3	170,7	157,7	2,60	<0,0001	0,0008
	19 ⁴	166,6	155,0	166,4	178,7	188,4		<0,0001	ns
	29 ⁵	179,6	177,1	166,0	147,6	147,3		<0,0001	ns
Acetato 0h, mol/100 mol	10	52,23	53,12	52,87	52,81	52,77	3,68	ns	ns
	19 ⁶	54,90	62,68	61,71	61,30	64,47		0,0001	ns
	29 ⁷	63,85	62,75	65,76	60,79	57,08		0,0005	0,0084
Acetato 48h, mol/100 mol	10 ⁸	73,93	72,73	73,41	73,48	71,52	1,50	0,045	ns
	19	69,67	69,25	69,69	71,58	69,17		ns	ns
	29	69,87	71,22	69,56	69,31	69,80		ns	ns
Propionato 0h, mol/100 mol	10	28,00	26,09	26,95	27,17	27,21	7,02	ns	ns
	19	24,85	23,02	24,85	23,77	21,34		ns	ns
	29 ⁹	19,03	22,10	21,84	23,79	20,63		ns	0,0086
Propionato 48h, mol/100 mol	10	19,05	18,87	18,47	18,30	18,19	4,03	ns	ns
	19	20,78	21,32	21,25	19,99	21,90		ns	ns
	29 ¹⁰	23,10	22,10	23,51	21,06	20,87		0,0011	ns
Butirato 0h, mol/100 mol	10	19,76	20,78	20,18	20,01	20,01	7,24	ns	ns
	19 ¹¹	20,26	14,30	13,43	14,93	14,19		<0,0001	<0,0001

	29 ¹²	17,13	15,14	12,40	15,42	22,29		<0,0001	<0,0001
Butirato 48h,	10 ¹³	7,01	8,40	8,12	8,22	10,29		<0,0001	ns
mol/100 mol	19	9,55	9,42	9,06	8,43	8,94	8,10	ns	ns
	29 ¹⁴	7,03	6,68	6,93	9,63	9,33		<0,0001	ns

CV = Coeficiente de variação; P = probabilidade; ns: não significativo; L = linear; Q = quadrático

$$^1\hat{Y} = 205,3089 - 7,1166\text{CNF} + 0,0817\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,9746$$

$$^2\hat{Y} = 73,0013 - 0,4441\text{CNF} \quad r^2 = 0,8839$$

$$^3\hat{Y} = -6,2033 + 8,9612\text{CNF} - 0,1085\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,8991$$

$$^4\hat{Y} = 110,45 + 1,346\text{CNF} \quad r^2 = 0,6877$$

$$^5\hat{Y} = 248,2087 - 1,8815\text{CNF} \quad r^2 = 0,9161$$

$$^6\hat{Y} = 45,0443 + 0,3549\text{CNF} \quad r^2 = 0,5983$$

$$^7\hat{Y} = 1,4720 + 3,0860\text{CNF} - 0,0377\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,8333$$

$$^8\hat{Y} = 76,6800 - 0,0815\text{CNF} \quad r^2 = 0,4695$$

$$^9\hat{Y} = -40,7814 + 2,7344\text{CNF} - 0,0293\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,7864$$

$$^{10}\hat{Y} = 27,0757 - 0,1099\text{CNF} \quad r^2 = 0,5433$$

$$^{11}\hat{Y} = 98,0342 - 3,5230\text{CNF} - 0,0366\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,8220$$

$$^{12}\hat{Y} = 139,4071 - 5,8248\text{CNF} - 0,0671\text{CNF}^2 \quad r^2 = 0,9417$$

$$^{13}\hat{Y} = 2,6830 + 0,1273\text{CNF} \quad r^2 = 0,7236$$

$$^{14}\hat{Y} = 1,1220 + 0,1511\text{CNF} \quad r^2 = 0,6938$$

O aumento esperado na concentração de AGV totais com o aumento nos níveis de CNF não foram observados dentro dos níveis de FDNf de 10 e 29%, com exceção do meio contendo 19% de FDNf no qual observou-se comportamento linear positivo ($P < 0,05$) em função do aumento nos níveis de CNF. Em condições ideais de suprimento de FDNf no meio, o fornecimento de maior quantidade de carboidratos rapidamente fermentáveis favorece o crescimento de microrganismos fermentadores de carboidratos não fibrosos, elevando as concentrações de AGV no meio (Vieira et al., 2008). Ma et al. (2015) e Berthiaume et al. (2010) observaram comportamento semelhante em relação ao aumento da concentração de AGV totais ao elevarem a relação CNF/FDN. Entretanto, o aumento da concentração de CNF oferecido ao meio pode não influenciar ou até mesmo reduzir a concentração de AGV totais, devido ao aumento simultâneo da concentração de FDNf ou FDN total da dieta (Cantalapiedra-Hijar et al., 2009), resultados reforçados por Archimede (1996), ambos estudando os efeitos de diferentes relações volumoso:concentrado, portanto diversos níveis de FDNf, na dieta de caprinos.

De uma maneira geral, não foram observadas alterações expressivas entre as proporções molares individuais de acetato, propionato e butirato com a adição dos níveis de CNF dentro de cada nível de FDNf. A ausência de variação no pH (Tabela 4) não foi capaz de modificar a rota metabólica de fermentação dos microrganismos, não interferindo sobre a produção de acetato e propionato (Russel, 2002), o que manteve as proporções semelhantes nas diferentes combinações de FDNf e CNF estudadas. Russel (1988), descreveu que alguns microrganismos ruminais são capazes de produzirem tanto acetato quanto propionato em associação a outros produtos como formato, etanol e CO_2 e que a alteração na acidez é capaz de modificar a rota metabólica de fermentação dos

microrganismos. Como por exemplo, quando a fermentação do microrganismo é lenta e o pH extracelular encontra-se próximo da neutralidade, a *Streptococcus bovis* produz acetato, formato e etanol, que são produtos da fermentação primária, quando a taxa de crescimento é lenta (Russel, 1988). A produção desses produtos é realizada utilizando a enzima piruvato formato liase. Por outro lado, se o pH extracelular e intracelular declinar, em caso de maior disponibilidade de carboidratos rapidamente fermentáveis com respectivo aumento na taxa de crescimento, o piruvato formado é convertido em lactato. Neste caso específico, a mudança na rota metabólica e mudança no(s) produto(s) final(is) da fermentação, acontece devido a piruvato liase ser uma enzima sensível ao pH, tornando-se inativa em baixos pH (Russel, 2002).

Por outro lado, em estudos *in vivo*, ao se estudar formulações com baixa e alta relação CNF/FDN na dieta de ovinos (Ma et al., 2015) e na dieta de caprinos (Cantalapiedra-Hijar et al., 2009), foram observadas alterações nas proporções dos principais AGV, com diminuição da produção de acetato e aumento na produção de propionato, com maior relação CNF/FDN. Em contrapartida, Costa et al. (2008) estudando o efeito de diferentes teores de concentrado na dieta de vacas sobre a produção de ácidos graxos voláteis, não observaram alterações nas proporções de acetato e propionato. No mesmo estudo, foi possível verificar que não houve rápida degradação dos carboidratos, o que é indicado pelos elevados valores de pH. Desta forma, o pH representa uma importante variável nas respostas obtidas quanto as variações nas proporções molares dos principais AGV no rúmen. Como observado no presente estudo, a ausência de variação no pH não promoveu mudanças significativas sobre as proporções molares dos AGV, mesmo em situações de elevada relação CNF/FDN. Tais estudos reforçam a explicação para a não variação nas proporções molares dos principais AGV, estudados no presente trabalho.

Houve interação ($P < 0,05$) entre os níveis de FDNf e CNF para a digestibilidade *in vitro* da FDN das mini-dietas (Tabela 6). Não houve ajuste de modelos lineares ($P < 0,05$) para a digestibilidade *in vitro* da FDN nos níveis de 10 e 19% de FDNf em função da adição de CNF ao meio, no entanto nas mini-dietas contendo 29% de FDNf houve ajuste de modelo quadrático ($P = 0,056$) para a digestibilidade *in vitro* da FDN, com digestibilidade máxima estimada em 65,96% com o nível de 37,32% de CNF.

Tabela 6. Efeito dos níveis de FDNf e CNF sobre digestibilidade *in vitro* da FDN (DIVFDN)

Variável	FDNf (%)	CNF (%)					CV (%)	P	
		35	40	45	50	55		L	Q
DFDN	10	63,53	64,64	64,85	64,74	65,81		Ns	ns
	19	65,21	67,91	66,06	65,76	68,05	2,65	Ns	ns
	29 ¹	65,84	65,16	64,91	60,74	56,50		0,0001	0,0056

CV = Coeficiente de variação; P = probabilidade; ns: não significativo; L = linear; Q = quadrático

$$^1\hat{Y} = 21,1267 + 2,3763CNF - 0,0315CNF^2 \quad r^2 = 0,9845$$

Em estudos prévios, dietas com elevada relação de CNF/FDN resultaram em menor digestibilidade da FDN muito provavelmente pelo declínio do pH (Ma et al., 2015; Branco et al., 2010; Cantalapiedra-Hijar et al., 2009) que possui atuação direta sobre os diferentes grupos microbianos fermentadores de carboidratos (Homem Júnior et al., 2015). A maior produção de AGV causa a queda do pH e inibe o crescimento das bactérias fermentadoras de carboidratos fibrosos (BFCF), comprometendo assim a digestibilidade da FDN (Strobel e Russel, 1986; Van Soest, 1994; Russel et al., 2009). Entretanto, como no presente estudo o valor mínimo de pH observado foi de aproximadamente 6,70 (Figura 1c), possivelmente devido ao meio não ter permitido a queda do pH, não houve também diminuição da digestibilidade quando se tinha maiores concentrações de CNF.

De uma maneira geral, os níveis de carboidratos não fibrosos parecem exercer um papel mais consistente sobre o ecossistema microbiano ruminal em fermentações *in vitro*. Como observado nos resultados da presente pesquisa, as variações no padrão microbiano dos caprinos em fermentação *in vitro* são mais afetados pelas variações nas concentrações de carboidratos não fibrosos, quando comparadas às concentrações de fibra em detergente neutro, proveniente de forragem. No presente estudo não foi verificado alterações nas proporções dos principais ácidos graxos voláteis produzidos.

CONCLUSÕES

As relações entre os níveis de fibra em detergente neutro e carboidratos não fibrosos afetam os produtos finais da fermentação e a digestibilidade *in vitro* das mini-dietas, de forma que os níveis de carboidratos não fibrosos exercem um papel mais consistente do que a fibra em detergente neutro, advindo de forragem sobre o ecossistema microbiano ruminal de caprinos em fermentações *in vitro*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMETAJ, B. N.; ZEBELI, Q.; SALEEM, F. et al. Metabolomics reveals unhealthy alterations in rumen metabolism with increased proportion of cereal grain in the diet of dairy cows. **Metabolomics**, v.4, p.583-594, 2010.
- AOAC - **Association of Official Analytical Chemists**. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. Gaithersburg, MD, USA, 2000.
- ARCHIMEDE, H. D.; SAUVANT, J.; HERVIEU, F. et al. Effects of the nature of roughage and concentrate and their proportion on ruminal characteristics of non lactating goats, consequences on digestive interactions. **Animal Feed Science and Technology**, v.58, p.267–282. 1996. Abstract.
- BERTHIAUME, R.; BENCHAAAR, C.; CHAVES, A. V. et al. Effects of nonstructural carbohydrate concentration in alfalfa on fermentation and microbial protein synthesis in continuous culture. **Journal of Dairy Science**, v.93, p.693-700, 2010.
- BISPO, S. V.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. et al. 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.

- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal Biochemical**, v.72, p.248-254, 1976.
- BRANCO, R. H.; RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, C. A. F. et al. Efeito dos níveis de fibra em detergente neutro oriunda de forragem sobre a eficiência microbiana e os parâmetros digestivos em cabras leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.2, p.372-381, 2010.
- BRANCO, R. H.; RODRIGUES, M. T.; SILVA, M. M. C. et al. Desempenho de cabras em lactação alimentadas com dietas com diferentes níveis de fibra oriundas de forragem com maturidade avançada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n.5, p.1061-1071, 2011.
- CANTALAPIEDRA-HIJAR, G.; YÁÑEZ-RUIZ, D. R.; MARTÍN-GARCÍA, A. I. et al. Effects of forage:concentrate ratio and forage type on apparent digestibility, ruminal fermentation, and microbial growth in goats. **Journal of Animal Science**, v.87, p.622-631, 2009.
- CHANEY, A.L., MARBACH, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, v.8, p.130-132, 1962.
- COSTA, S. F.; PEREIRA, M. N.; MELO, L. Q. et al. Alterações morfológicas induzidas por butirato, propionato e lactato sobre a mucosa ruminal e epiderme de bezerros. II. Aspectos ultraestruturais. **Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, p.10-18, 2008.
- COSTA, R. C.; BELTRÃO FILHO, E. M.; MEDEIROS, A. N. et al. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. **Small Ruminant Research**, 82:65-65. 2009.
- FINLAYSSON, H. J. The effect of pH on the growth and metabolism of *Streptococcus bovis* in continuous culture. **Journal of Applied Microbiology**, v.71, n.3, p.201-208, 1986. Abstract
- HOMEM JÚNIOR, A. C.; EZEQUIEL, J. M. B.; PEREZ, H. L. et al. *In vitro* fermentation of corn silage using rumen fluid buffered or not and different sample amounts. **Ciência Rural**, v.45, n.12, p.2229-2232, 2015.

- LANA, R. P.; CUNHA, L. T.; BORGES, A. C. et al. Desenvolvimento de uma técnica para determinação da degradabilidade da proteína dos alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.2119-2127, 2000.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 57, p. 347-358, 1996.
- LU, C. D.; KAWAS, J. R.; MAHGOUB, O. G. Recent advancements in fiber digestion and utilization in goats. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.9, p.65-72, 2008.
- MA, T.; DENG, K; TU, Y. et al. Effect of dietary concentrate:forage ratios and undegraded dietary protein on nitrogen balance and urinary excretion of purine derivatives in dorper thin-tailed han crossbred lambs. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v.27, n.2, p.161-168, 2014.
- MA, T.; TU, Y.; ZHANG, N. F. et al. Effect of the ratio of non-fibrous carbohydrates to neutral detergent fiber and protein structure on intake, digestibility, rumen fermentation, and nitrogen metabolism in lambs. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v.28, n.10, p.1419-1426, 2015.
- McDOUGALL, E. I. Studies on ruminant saliva. I. The composition and output of sheep's saliva. **Journal of Biochemical**, v.43, p. 99-109, 1948.
- MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, p.1217-1240, 2002.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. 450p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of small ruminants**. Washington, D.C.: National Academy Press, 2007.
- OLIVEIRA, A. S.; DETMANN, E.; CAMPOS, J. M. S. et al. Meta-análise do impacto da fibra em detergente neutro sobre o consumo, a digestibilidade e o desempenho de vacas leiteiras em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.7, p.1587-1595, 2011.

- OLIVEIRA, J. S.; QUEIROZ, A. C.; MANTOVANI, H. C. et al. Evaluation of whey fermented by *Enterococcus faecium* in consortium with *Veillonella parvula* in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.1, p.172-180, 2012.
- PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1063-1073, 1993.
- PLAIZIER, J. C.; KRAUSE, D. O.; GOZHO, G. N. et al. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. **Veterinary Journal**, v.176, p.21-31. 2008.
- PURCELL, P. J.; BOLAND, T. M.; O'KIELY, P. et al. The effect of water-soluble carbohydrate concentration and type on in vitro rumen methane output of perennial ryegrass determined using a 24-hour batch-culture gas production technique. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v.53, p.21-36, 2014.
- RAMOS, S.; TEJIDO, M. L.; MARTÍNEZ, M. E. et al. Microbial protein synthesis, ruminal digestion, microbial populations, and nitrogen balance in sheep fed diets varying in forage to concentrate ratio and type of forage. **Journal of Animal Science**, v.87, p.2924-2934, 2009.
- REID, R.; LJUNG, G. A.; COX-GANSER, J. M. et al. Comparative utilization of warm- and cool-season forages by cattle, sheep and goats. **Journal of Animal Science**, v.68, p.2986-2994, 1990.
- RUSSEL, J. B. Ecology of rumen microorganisms: energy use. In: DOBSON, A.; DOBSON, M. **Aspect of digestive physiology in ruminants**. Ithaca: Comstock Publ. Assoc., p. 74 -98. 1988.
- RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3551-3561, 1992.
- RUSSELL, J. M. **Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition**. Ithaca, New York. 2002. 121p.
- RUSSELL, J. B.; MUCK, R. E.; WEIMER, P. J. Quantitative analysis of cellulose degradation and growth of cellulolytic bacteria in the rumen. **FEMS Microbiology Ecology**, v.67, p.183-197, 2009.

- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, D.J.; Van SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.
- STROBEL, H. J.; RUSSEL, J. B. Effects of pH and energy spilling on bacteria protein synthesis by carbohydrates cultures of mixes rumen bacteria. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.2941-2947, 1986.
- TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of the British Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.
- VALADARES FILHO, S. C.; PINA, D. S. Fermentação Ruminal. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. 2 Ed. **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2011. 616p.
- VALADARES FILHO, S.C., MACHADO, P.A.S., CHIZZOTTI, M.L. et al. CQBAL 3.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos. Disponível em: <<http://www.ufv.br/cqbal>>. Acesso em: 12 nov. 2015.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.Ed. London. Constock Publishing Associates, USA, 1994. 476p.
- VIEIRA, E. L.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A. et al. Effects of hay inclusion on intake, in vivo nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. **Animal and Feed Science Technology**, v.141, p.199-208, 2008.
- XU, J.; HOU, Y.; YANG, H. et al. Effects of forage sources on rumen fermentation characteristics, performance, and microbial protein synthesis in midlactation cows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.27, n.5, p.667-673, 2014.
- ZEBELI, Q.; TAJAH, M.; STEINGASS, H. et al. Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.651-668, 2006.
- ZEBELI, Q.; DUNN, S. M.; AMETAJ, B. N. Perturbations of plasma metabolites correlated with the rise of rumen endotoxin in dairy cows fed diets rich in easily degradable carbohydrates. **Journal of Dairy Science**, v.94, p.2374-2382, 2011.

Capítulo 3

Efeito da fibra em detergente neutro advindo de forragem sobre o desempenho e o comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de palma forrageira

Efeito da fibra em detergente neutro advindo de forragem sobre o desempenho e o comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de palma forrageira

Resumo: Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos da fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) sobre o consumo, digestibilidade, parâmetros ruminais e comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de palma forrageira. Cinco cabras não-lactantes e fistuladas no rúmen foram distribuídas aleatoriamente em quadrado latino 5×5 . Os tratamentos consistiram de níveis de FDNf 0; 109; 221,8; 338,8; e 463,2 g/kg em dietas à base de palma forrageira. Os consumos de matéria seca (MS) e de fibra em detergente neutro (FDN) foram afetados de forma quadrática ($P \leq 0,045$) pelos níveis de FDNf das rações. O consumo de água via bebedouro aumentou linearmente à medida que se elevaram os níveis de FDNf na dieta. Os coeficientes de digestibilidade de matéria orgânica (MO), fibra em detergente neutro (FDN), extrato etéreo (EE) e o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foram afetados de forma quadrática ($P \geq 0,263$) pelos níveis de FDNf nas rações. A adição dos níveis de FDNf aumentou linearmente ($P = 0,001$) o pH ruminal, com variação de 5,44 a 5,81, para as dietas com 0 e 463,2 g/kg de FDNf. Por outro lado, o aumento nos níveis de FDNf não afetaram ($P \geq 0,105$) a concentração de nitrogênio amoniacal ruminal, concentração total de ácidos graxos voláteis (AGV) e a proporção molar individual. O aumento dos níveis de FDNf das dietas experimentais não alteraram ($P \geq 0,06$) as variáveis tempo de alimentação e eficiência de ruminação em g FDN/h. Entretanto, o

tempo de ruminação foi afetado de forma quadrática ($P=0,0330$) em função dos níveis de FDNf das dietas. Observou-se efeito linear positivo ($P=0,006$) para o tempo de mastigação total, ao mesmo tempo em que o tempo em ócio reduziu linearmente ($P=0,007$), com a inclusão dos níveis de FDNf das dietas. A inclusão de níveis de 109 a 338,8 g/kg de fibra em detergente neutro advindo de forragem propicia condições favoráveis para as funções ruminais, digestibilidade dos nutrientes e comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de palma forrageira. Animais alimentados com fibra em detergente neutro advindo de forragem abaixo de 109 g/kg tiveram comprometimento na fermentação ruminal com redução drástica na ruminação e digestibilidade dos nutrientes.

Palavras-chave: ácidos graxos voláteis, atividade de mastigação, nitrogênio amoniacal ruminal, *Opuntia ficus indica*.

Effects of forage neutral detergent fiber on performance and ingestive behavior of goats fed diets cactus pear based.

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effects of forage neutral detergent fiber on intake, digestibility, ruminal parameters and ingestive behavior of goats fed diets cactus pear based. Five non-lactating goats ruminally cannulated fed ad libitum were randomly assigned to a 5×5 Latin square. Treatments consisted of levels of fNDF 0, 109, 221.8, 338.8, and 463.2 g/kg in diets cactus pear based. Intakes of dry matter (DM) and neutral detergent fiber (NDF) were quadratically affected ($P \leq 0.045$) by fNDF levels. Voluntary water intake increased linearly as it was increased the fNDF levels in the diet. The digestibility coefficients of organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF), ether extract (EE) and total digestible nutrients (TDN) were affected quadratically ($P \geq 0.263$) with fNDF levels. Ruminal pH was linearly increased ($P = 0.001$) by fNDF levels, ranging from 5.44 to 5.81, for the diets containing 0 and 463 g/kg of fNDF, respectively. On the other hand, the increase of fNDF levels did not affect ($P \geq 0.105$) the concentration of ruminal $\text{NH}_3\text{-N}$, rumen VFA concentration, and molar proportions of acetate, propionate, butirate and acetate to propionate ratio. No treatments effect ($P \geq 0.06$) were found on feeding time, feeding efficiency and rumination efficiency (g NDF/h). However, rumination time was quadratically affected ($P = 0.0330$) according to fNDF levels of diets. The fNDF levels promoted a linear increase ($P = 0.006$) on chewing time and linearly decreased ($P = 0.007$) on resting time. The inclusion of levels from 109 to 339 g/kg of forage neutral detergent fiber

provides favorable conditions for ruminal function, digestibility and feeding behavior in goats fed diets cactus pear based. Animals fed diets with fNDF below 109 g/kg had compromising on ruminal fermentation with drastic decrease in the rumination and nutrients digestibility.

Keywords: volatile fatty acid, chewing activity, ruminal ammonia nitrogen, *Opuntia ficus indica*.

INTRODUÇÃO

Em caprinos, tanto na produção de carne como na produção de leite, o objetivo dos produtores é de melhorar a produtividade e a estabilidade da produção ao longo do ano. Apesar disso, o desempenho dos animais é geralmente limitado pela disponibilidade de forragem. Devido a essa limitação, os produtores, muitas vezes, são forçados a fornecer alimentos concentrados aos animais, resultando em aumento dos custos de produção.

O uso de forrageiras, adaptadas às condições de clima e solo, aparecem como uma opção para reduzir os custos de produção. A palma forrageira é uma cactácea bastante difundida na região Nordeste do Brasil, por ser tolerante à seca e altamente produtiva (Costa et al., 2009; Silva et al., 2007), além de constituir uma fonte de água e alimento durante a estação seca do ano (Tegegne et al., 2007). No Nordeste brasileiro, são cultivados predominantemente duas espécies de palma forrageira, a *Opuntia ficus indica* Mill com as cultivares gigante, redonda e a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, cuja cultivar é a palma miúda ou doce.

Embora a palma forrageira possua valores de fibra em detergente neutro (FDN) que geralmente varia de 26 a 35% na matéria seca (Bispo et al., 2007; Cavalcanti et al., 2008; Costa et al., 2009; Wanderley et al., 2012), verifica-se que os animais ruminantes que a consomem como única fonte de volumoso, apresentam perda de peso e fezes amolecidas (Tegegne et al., 2005; Melo et al., 2006), além de levar os ruminantes a

adquirirem alguns distúrbios metabólicos (Tegegne et al., 2005) devido à baixa efetividade da fibra. Por outro lado, a adição de fibra em detergente neutro, proveniente de outras forrageiras em dietas à base de palma forrageira, aumentam o teor de fibra efetiva e fisicamente efetiva das dietas. Estas características promovem alterações no comportamento ingestivo e melhorias no ambiente ruminal, por estimular a atividade de mastigação, a manutenção do fluxo de saliva, auxiliar no tamponamento do rúmen, além de contribuir para manutenção da motilidade ruminal (Carvalho et al., 2006; Branco et al., 2010; Li et al., 2014). Embora não seja uma diarreia patológica, o efeito laxativo da palma forrageira tem como desvantagem aumentar a taxa de passagem e, consequentemente, a digestibilidade da ração (Vieira, 2006).

Ruminantes requerem quantidades mínimas de fibra na dieta para manutenção adequada da fermentação ruminal e, consequentemente, a saúde do animal. Dessa maneira, é necessário que parte desta fibra seja proveniente de forragem, devido à capacidade da fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em estimular a atividade de mastigação e produção de saliva, auxiliando na manutenção da capacidade tamponante do rúmen (NRC, 2001), características essas que estão associadas à fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe).

Alguns estudos avaliando a palma forrageira em dietas para pequenos ruminantes concluíram que a inclusão de fibra advindo de forragem é obrigatória em dietas contendo palma forrageira visando aumentar o desempenho produtivo (Bispo et al., 2007; Vieira et al., 2008). Assim, é conhecida a necessidade de incluir fontes de fibra em dietas de cabras alimentadas com palma forrageira. No entanto, não há informações sobre a quantidade mínima de fibra em detergente neutro de forragem (FDNf) que não comprometa a fermentação ruminal e a utilização de nutrientes, e esta foi a nossa hipótese para conduzir o presente estudo.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da fibra em detergente neutro advindo de forragem sobre o consumo, digestibilidade, parâmetros ruminais e comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de palma forrageira.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Pendência, da Empresa de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A (EMEPA), situada na Mesorregião do Agreste Paraibano, Microrregião do Curimataú Ocidental, município de Soledade-PB (7° 8'18" S e 36° 27' 2" W), com altitude de 534 m. O período experimental ocorreu entre setembro e novembro de 2013.

Foram utilizadas cinco cabras primíparas e multíparas, não-gestantes e não-lactantes, com 36 ± 4 kg de peso corporal, fistuladas no rúmen, confinadas em baias individuais de piso ripado, providas de comedouro e bebedouro. No período pré-experimental os animais foram pesados, vermifugados e passaram por um período de 10 dias de adaptação às baias e às dietas.

Os animais foram distribuídos aleatoriamente em quadrado latino 5×5 para avaliar os efeitos de cinco níveis de fibra em detergente neutro proveniente da forragem (FDNf), tendo como base forrageira para inclusão da FDNf o feno de capim-tifton 85 (*Cynodon spp*). As dietas foram compostas por palma forrageira, feno de capim-tifton 85 e concentrado à base de milho e farelo de soja (Tabela 1), sendo os tratamentos representados pelos níveis de FDNf advindo do feno de capim-tifton na matéria seca total. Os níveis de 0; 109; 221,8; 338,8; e 463,2 g/kg de FDNf foram utilizados para caracterizar as dietas, sendo todas formuladas para serem isoprotéicas, com 150 g/kg de proteína bruta (PB) na matéria seca, de acordo com recomendações do NRC (2007) para cabras em manutenção. A proporção entre volumoso e concentrado permaneceu constante (Tabela 2), oscilando os níveis de inclusão da fonte de FDNf em substituição do componente palma forrageira, como forma de obter a concentração de FDNf pretendida para as dietas experimentais, que foram fornecidas duas vezes ao dia, às 8 h e às 16 h.

Cada período experimental teve duração de 15 dias, sendo os dez primeiros dias de adaptação às dietas e os demais para coleta de dados, totalizando 75 dias. Os animais eram pesados no primeiro e no quinto dia de coleta de cada período experimental. A escolha do período experimental de 15 dias baseiou-se em estudos prévios, no qual observaram que um período experimental de 14 dias em experimentos de digestão e parâmetros ruminais permite a completa adaptação dos animais às dietas (Guimarães et al., 2001).

Tabela 1. Composição química dos ingredientes das rações experimentais com base na matéria seca (MS)

Itens	Ingredientes (g/kgde MS)
-------	--------------------------

	Palma	F. Tifton	Milho moído	F. Soja
Matéria seca ¹	144,9	923,7	905,4	915,5
Matéria orgânica	874,6	946,0	988,4	944,1
Proteína bruta	44,8	65,1	85,4	520,3
Extrato etéreo	9,2	7,7	38	15,6
Fibra em detergente neutro (FDN)	349,1	731,0	283,2	133,6
FDNc ²	258,7	720,8	191,2	100
FDNcp ³	268,5	712,5	247,5	96,1
FDA	222,3	345,4	56,3	94,0
Hemicelulose	126,8	385,6	226,9	39,6
Cinzas	125,4	54,0	11,4	55,9
Carboidratos não fibrosos	552,1	160,7	617,5	312,1

¹ % com base na matéria natural; ²Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas; ³Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína;

Tabela 2. Composição percentual e química das rações experimentais

Itens	Níveis de FDNf (g/kg)				
	0	109	221,8	338,8	463,2
	Proporção dos ingredientes (g/kg) de MS)				
Palma	622,0	475,8	324,2	167,1	0,00
Feno de tifton	0,00	139,7	284,2	434,1	593,5
Farelo de soja	162,6	165,4	168,5	171,6	174,9
Milho moído	207,0	212,1	217,7	223,3	229,4
Ureia	8,4	7,0	5,5	3,9	2,3
	Composição química (g/kg de MS)				
Matéria seca¹	212,4	259,3	336,1	485,2	918,2
Matéria orgânica	910,6	921,1	932,1	943,5	955,6
Proteína bruta	153,7	154,3	154,7	155,1	155,7
Extrato etéreo	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
FDN	297,5	350,4	405,1	461,8	522,2
FDNcp	233,9	295,7	359,6	425,9	496,5
Cinzas	89,4	78,9	67,9	56,5	44,4
CNF⁶	458,4	413,1	366,1	317,6	256,8
CT	740,7	750,8	761,3	772,4	783,9
NDT	606,9	584,3	661,2	685,5	624,1

¹ % com base na matéria natural

Com o acesso *ad libitum* às rações, o consumo voluntário foi calculado pela diferença entre o oferecido e as sobras, que foram ajustadas para corresponderem a 10% do total oferecido. Amostras compostas dos ingredientes, das dietas e das sobras para

cada unidade experimental, representada pelo animal, referente a cada período experimental, foram congeladas para posteriores análises. Nos alimentos determinou-se a composição em matéria seca (método 930,15; AOAC, 2000), matéria orgânica (método 932,05; AOAC, 2000), cinzas (método 942,05; AOAC, 2000), proteína bruta ($N \times 6,25$; método 984,13; AOAC, 2000) e extrato etéreo (método 973,18; AOAC, 2000), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), utilizou-se metodologia descrita por Mertens (2002) e lignina (método 973,18; AOAC, 2000). As correções da FDN para cinzas e proteína (FDNcp) foram realizadas de acordo com Licitra et al. (1996) e Mertens (2002), descrito por Detmann et al. (2012). O teor de hemicelulose foi obtido por diferença entre o percentual de FDN e FDA. As sobras e as fezes foram analisadas para determinação de MS, MO, PB, EE, cinzas, FDN, CNF e NDT.

A concentração em carboidratos não-fibrosos (CNF) foi estimada a partir da equação estimada por Hall (2000): $CNF = 1000 - [(PB - Pbu + U) + EE + Cinzas + FDNcp]$; em que: Pbu = teor de PB proveniente da ureia (g/kg); e U = teor de ureia (%). Os carboidratos totais foram estimados por meio da equação de Sniffen et al. (1992): $CT = 1000 - (PB + EE + Cinzas)$, de acordo com. A matéria orgânica (MO) e hemicelulose (HEM) foram obtidas pelas fórmulas: $MO = 1000 - MM$; e $HEM = FDNcp - FDA$.

O consumo individual das cabras foi avaliado durante os últimos cinco dias de cada período experimental, subtraindo-se as sobras da quantidade de dieta ofertada para cada animal. Dessa forma, foram avaliados os consumos de MS, MO, PB, EE, FDN, CHOT, CNF e NDT, expressos em grama/animal/dia (g/dia). A composição química do alimento, efetivamente consumido, foi obtida por meio da divisão do consumo de cada nutriente pelo consumo de MS e o quociente foi então multiplicado por 100. Os valores relativos ao consumo de MS e FDN foram expressos também em g/kg do peso corporal (PC). O consumo de água foi medido diariamente durante o período de coleta, antes e 24 horas após o fornecimento, no qual consideraram-se as perdas devido à evaporação.

Para determinação da digestibilidade aparente pela técnica *in vivo*, foi realizada coleta parcial de fezes, sendo realizadas entre o 12º e 14º dia de cada período experimental. Amostras de fezes foram coletadas a cada 9 horas de acordo com o seguinte cronograma: 00:00 h, 09:00 h, 18:00 h, 03:00 h, 12:00 h, 21:00 h, 06:00 h and 15:00 h, as quais foram amostradas por animal e por período e acondicionadas em recipiente próprios e armazenadas a -20°C para análise posterior. A quantidade de

matéria seca fecal excretada, utilizada na determinação da digestibilidade aparente dos alimentos e dos teores de nutrientes digestíveis totais (NDT), foi estimada pela concentração de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi), obtida após incubação *in situ* dos alimentos, sobras e fezes por um período de 144 horas em um caprino fistulado. Assim, para determinação da produção de matéria seca fecal (PMSF), com o uso de indicador interno, foi utilizada a seguinte equação:

$$PMSF = \text{indicador consumido} / \text{concentração de indicador nas fezes}$$

A determinação da digestibilidade foi feita segundo equação descrita por Berchielli et al. (2000). Em que, o coeficiente de digestibilidade (CD), em g/kg, foi calculado por:

$$CD = (\text{Nutriente ingerido} - \text{Nutriente excretado}) / \text{Nutriente ingerido} \times 100$$

Para quantificação do valor de energia das dietas, utilizaram-se os dados da digestibilidade aparente obtidos no experimento, aplicando-se a equação proposta pelo NRC (2001):

$$NDT = CNFd + PBd + (EEd \times 2,25) + FDNd$$

Em que “d” representa a digestibilidade, NDT (g/kg) = Nutrientes digestíveis totais, PBd= Proteína bruta digestível; EEd= Extrato etéreo digestível; CNFd = carboidratos não fibrosos digestíveis; FDNd= fibra em detergente neutro digestível.

No 14º dia de cada período experimental, foram realizadas coletas de líquido ruminal, visando à determinação do pH, nitrogênio amoniacal (N-NH₃), proteína microbiana e concentrações de ácidos graxos voláteis (AGVs), com início antes do fornecimento pela manhã (tempo 0) e 4, 8, 12, 16, 20 horas subsequente. O pH foi determinado imediatamente após a retirada de uma amostra do líquido no rúmen do animal, utilizando-se potenciômetro digital portátil (HANNA, modelo HI 96108).

Para análises dos teores de nitrogênio amoniacal, proteína microbiana e AGV, amostras de fluido ruminal, coletadas nos mesmos horários da medição do pH, foram filtradas em quatro camadas de gaze e colocadas em tubos eppendorf de 2,0 ml e congelados para posteriores análises. No laboratório, o material foi descongelado e centrifugado, em centrífuga (HETTICH, modelo Mikro 200), a 5200 x g por 10 minutos, retirando-se o sobrenadante. 0,5 mL do sobrenadante foi colocado em tubo eppendorf de 1,0 mL, adicionando-se 0,5 mL de solução de ácido metafosfórico 25% e o restante do sobrenadante foi colocado em outro tubo eppendorf para análise de NH₃, aos quais foram mantidas a -20°C para posteriores análises. O sedimento bacteriano

(*pellet*), resultante da centrifugação do líquido ruminal, foi submetido a duas sucessivas ressuspensões e centrifugações em solução de NaCl a 0,9% (p/v), e, em seguida, uma alíquota de 1,5 mL foi armazenada a -20°C para posterior análise de proteína microbiana.

A concentração de nitrogênio amoniacal foi determinada através do método colorimétrico de Chaney e Marbach (1962) e a concentração de proteína microbiana pelo método de Bradford (1976), utilizando-se de aparelho espectrofotômetro (BIOSPECTRO, modelo SP-22). As análises dos ácidos acético, propiônico e butírico foram realizadas em HPLC (Cromatografia Líquida de Alto desempenho) (Siegfried et al., 1984), marca SHIMADZU, modelo SPD-10A VP acoplado ao Detector Ultra Violeta (UV), utilizando-se um comprimento de ondas: 210 nm.

No 11º dia de cada período experimental os animais foram submetidos à observação visual para avaliação do comportamento ingestivo, sendo observados, durante 24 horas, a intervalos de 10 minutos para determinação do tempo despendido em alimentação, ruminação e ócio (Armentano and Pereira, 1997). Na observação noturna dos animais, o ambiente foi mantido com iluminação artificial.

Os resultados referentes aos fatores do comportamento ingestivo foram obtidos utilizando-se as equações:

$$EAL_{MS} = CMS/TAL;$$

$$EAL_{FDN} = CFD$$

$$ERU_{MS} = CMS/TRU;$$

$$ERU_{FDN} = CFDN/TRU;$$

$$TMT = TAL + TRUN/TAL;$$

em que, EAL_{MS} (g MS consumida/h); EAL_{FDN} (g FDN consumida/h) = eficiência de alimentação; CMS (g) = consumo diário de matéria seca; CFDN (g) = consumo diário de FDN; TAL = tempo gasto diariamente em alimentação; ERUMS (g MS ruminada/h); ERUFND (g FDN ruminada/h) = eficiência de ruminação e TRU (h/dia) = tempo de ruminação; TMT (min/dia) = tempo de mastigação total segundo metodologia proposta por Bürguer et al. (2000).

O número de períodos de alimentação e ruminação foram contados observando o número sequencial de atividades na planilha de anotações. O tempo médio diário desses períodos foi calculado dividindo-se a duração total de cada atividade (alimentação e ruminação) pelo seu respectivo número de períodos.

Todos os dados foram analisados em um quadrado latino 5×5 . Foi assumida a homogeneidade de variâncias entre os tratamentos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Todos procedimentos estatísticos foram conduzidos com a utilização do SAS usando 0,05 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

Os dados de ingestão de nutrientes e digestibilidade aparente dos nutrientes foram analisados pelo método MIXED do SAS, considerando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + P_k + \Sigma_{ijk},$$

onde Y_{ijk} = variável dependente, μ = média geral, α_i = efeito fixo dos i -ésimo nível de fNDF, β_j = efeito aleatório do j -ésimo animal, P_k = efeito aleatório do k -ésimo período e Σ_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação.

As variáveis de fluído ruminal (0, 4, 8, 12, 16 e 20 h após a alimentação matinal) foram analisadas como medidas repetidas, ordenadas por tempo, utilizando o procedimento MIXED do SAS, considerando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + P_k + h_l + (\alpha h)_{il} + \Sigma_{ijkl},$$

onde: Y_{ijkl} = variável dependente, μ = média geral, α_i = efeito fixo dos i -ésimo nível de fNDF, β_j = efeito aleatório do j -ésimo animal, P_k = efeito aleatório do k -ésimo período, h_l = efeito fixo da l -ésimo hora, $(\alpha h)_{il}$ = interação entre os níveis de FDNf e tempo, e Σ_{ijkl} = erro aleatório associado a cada observação.

O comportamento ingestivo foi analisado como um binômio negativo utilizando o procedimento GLIMMIX do SAS usando o mesmo modelo mencionado para o fluído ruminal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os consumos de MS e de FDN nas duas formas expressados (g/dia e %PV) foram influenciados de forma quadrática ($P \leq 0,045$) pelos níveis de FDNf das rações (Tabela 3). Os maiores CMS em g/dia e em %PV foram observados quando adicionado o nível de 109 g/kg de FDNf na dieta, diminuindo de acordo com o aumento dos níveis de FDNf. Este comportamento da diminuição do consumo de MS com relação aos maiores

níveis de FDNf da dieta, pode está relacionado com a diminuição da taxa de passagem no rúmen e ao efeito de enchimento provocado pela fibra (Tavares et al., 2005).

Os consumos máximos de FDN em g/dia e %PV foram estimados em 577,96 g/dia e 1,50%, respectivamente, com 288,6 e 300 g/kg de FDNf na dieta. Entretanto, após esses pontos de máxima, observou-se uma queda mais acentuada no consumo de MS que, consequentemente, também reduziu o consumo de FDN.

O consumo de água voluntária aumentou linearmente ($P=0,001$) à medida que se elevaram os níveis de FDNf na dieta (Tabela 3). Esse aumento no consumo de água é decorrência do incremento do teor de MS da dieta total com a adição de maiores níveis de FDNf, via feno. Assim, de acordo com a equação de regressão gerada ($\hat{Y} = 0,5037 + 0,0639\text{FDNf}$), cada percentual de aumento em FDNf aumentou em 63,9 mL o consumo de água, que é consistente com a existência de uma relação linear entre o consumo de água total e o consumo de MS. Vale salientar que, devido ao elevado conteúdo de água na composição da palma forrageira, o animal, quando submetido a dietas ricas nessa espécie forrageira, reduz o consumo de água via bebedouro (Bispo et al., 2007; Costa et al., 2009; Tegegne et al., 2007; Andrade-Montemayor et al., 2011).

Tabela 3. Valores médios dos consumos diários de nutrientes de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira

Consumo	Níveis de FDNf na dieta (g/kg)					EPM ¹	P-value	
	0	109	221,8	338,8	463,2		L ²	Q ³
MS (g/dia)	1120,0	1397,4	1275,5	1073,6	767,2	67,3	0,011	0,014
MS (%PV)	2,92	3,49	3,28	2,90	2,12	0,16	0,019	0,014
MO (g/dia)	874,0	1137,6	1122,6	1150,5	842,6	57,1	0,511	0,960
PB (g/dia)	178,2	211,4	212,7	213,1	166,2	9,69	0,179	0,760
FDN (g/dia)	343,0	499,4	529,7	604,3	480,7	27,8	0,045	0,019
FDN (%PV)	0,89	1,25	1,37	1,64	1,31	0,07	0,022	0,037
EE (g/dia)	16,1	20,5	20,6	19,2	15,6	0,93	0,382	0,853
CNF (g/dia)	336,7	406,3	359,7	313,8	180,1	24,8	0,679	0,872
NDT (g/dia)	562,3	694,3	787,3	826,8	545,0	39,3	0,790	0,836
Água (L/dia)	0,760	0,797	2,07	2,56	3,56	4,24	0,001	0,640
Item	Equações					r ²		
MS (g/dia)	$\hat{Y} = 1161,4 + 20,45\text{FDNf} - 0,638\text{FDNf}^2$					0,9413		
MS (%PV)	$\hat{Y} = 2,9808 + 0,049\text{FDNf} - 0,0015\text{FDNf}^2$					0,9753		
FDN (g/dia)	$\hat{Y} = 343,0 + 16,28\text{FDNf} - 0,282\text{FDNf}^2$					0,9265		
FDN (%PV)	$\hat{Y} = 0,8725 + 0,0420\text{FDNf} - 0,0007\text{FDNf}^2$					0,9042		
Água (L/dia)	$\hat{Y} = 0,5037 + 0,0639\text{FDNf}$					0,9526		

¹EPM = erro padrão da média; ²L = linear; ³Q = quadrático

Os coeficientes de digestibilidade de MS, PB e CNF não foram afetados ($P \geq 0,263$) pelos níveis de FDNf nas rações (Tabela 4). Entretanto, efeitos quadráticos ($P \leq 0,048$) foram observados para os coeficientes de digestibilidade de MO, FDN e EE e o teor de NDT. De uma maneira geral, o consumo de alimentos, composição do alimento e da dieta, taxa de passagem e características inerentes ao animal são fatores que influenciam a digestibilidade dos alimentos (Van Soest, 1994; Ørskov, 2000; Branco et al., 2010).

O coeficiente máximo de digestibilidade de FDN foi estimado em 60,99% com 351,5 g/kg de FDNf na dieta. O menor coeficiente de digestibilidade de FDN em dietas contendo maior participação da palma forrageira na composição da dieta, pode ser reflexo do elevado teor de CNF, que são rapidamente fermentáveis no rúmen, ocasionando diminuição do pH ruminal (Tabela 5) e do aumento na taxa de passagem, ambos ocasionando uma diminuição da atividade celulolítica e, conseqüentemente, a digestibilidade da fibra (Ørskov, 2000; Andrade et al., 2002).

Tabela 4. Valores médios da digestibilidade dos nutrientes e teores de NDT de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira

Digestibilidade	Níveis de FDNf na dieta (g/kg)					EPM	P	
	0	109	221,8	338,8	463,2		L ²	Q ³
MS (%)	64,29	60,62	68,03	63,40	60,65	1.81	0.721	0.508
MO (%)	63,14	60,60	69,00	70,82	63,12	1.14	0.139	0.028
PB (%)	79,80	77,19	80,83	81,64	76,66	1.01	0.736	0.263
FDN (%)	39,33	42,56	58,65	62,89	53,18	2.19	0.001	0.004
EE (%)	48,18	48,80	61,81	56,76	55,16	1.64	0.031	0.043
CNF (%)	78,92	74,54	77,55	79,87	79,18	1.29	0.523	0.587
NDT (%)	49,94	51,58	61,82	67,53	60,80	2.03	0.004	0.048
Item	Equações					r ²		
MO (%)	$\hat{Y} = 60,8087 + 0,0534\text{FDNf} - 0,00009\text{FDNf}^2$					0,4397		
FDN (%)	$\hat{Y} = 36,2863 + 0,1406\text{FDNf} - 0,0002\text{FDNf}^2$					0,8244		
EE (%)	$\hat{Y} = 46,5711 + 0,0765\text{FDNf} - 0,0001\text{FDNf}^2$					0,6525		
NDT (%)	$\hat{Y} = 47,6950 + 0,0900\text{FDNf} - 0,00012\text{FDNf}^2$					0,8102		

¹EPM = erro padrão da média; ²L = linear; ³Q = quadrático

O aumento na digestibilidade ruminal da fração fibrosa nas dietas com maior participação de fibra fisicamente efetiva, possivelmente ocorreu devido ao maior tempo gasto em ruminação (Tabela 8). Tal comportamento diminui o tamanho de partículas, ao

mesmo tempo que eleva o fluxo de saliva no rúmen, propiciando condições favoráveis ao crescimento dos microrganismos responsáveis pela degradação dos carboidratos fibrosos (Yang e Beauchemin, 2005).

Houve efeito quadrático ($P=0,048$) para o teor de NDT das dietas com valores variando de 49,94 a 67,53%, para os níveis de 0 e 338,8 g/kg de FDNf, respectivamente. O teor máximo de NDT das dietas foi estimado em 64,57% com 375 g/kg de FDNf. Observou-se mesma tendência para o teor de NDT nas dietas e consumo de NDT (Tabela 3).

Não houve interação ($P>0,050$) entre os níveis de FDNf e os tempos de coleta do líquido ruminal para o pH, nitrogênio amoniacal e proteína microbiana (Tabela 5).

A adição dos níveis de FDNf aumentou linearmente ($P=0,001$) o pH ruminal, com variação de 5,44 a 5,81, para as dietas com 0 e 463,2 g/kg de FDNf. Estes resultados eram esperados, devido ao aumento na quantidade de fibra na dieta estimular a atividade de mastigação (Carvalho et al., 2006), que por sua vez promove aumento no fluxo de saliva e, conseqüentemente, eleva o tamponamento ruminal. O teor de umidade do alimento também atua na produção de saliva, sendo que dietas com elevado teor de umidade reduzem a produção de saliva (Berchielli et al., 2011), fator esse que pode ser associado ao comportamento do menor fluxo de saliva e menor tamponamento do rúmen nas dietas com maior participação de palma forrageira.

Tabela 5. Valores médios dos parâmetros ruminiais de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira

Variáveis	Níveis de FDNf na dieta (g/kg)					EPM ¹	P-value	
	0	109	221,8	338,8	463,2		L ²	Q ³
pH	5,44	5,50	5,67	5,69	5,81	0,08	0,001	0,746
Nitrogênio amoniacal (mg/dL)	17,79	24,81	17,39	29,69	25,44	2,85	0,390	0,748
Proteína Microbiana (mg/dL)	333,26	407,06	355,30	365,49	236,73	9,85	0,456	0,001
Item	Equações					r ²		
pH	$\hat{Y} = 5.4431 + 0.0080\text{FDNf}$					0,9606		
Proteína Microbiana (mg/dL)	$\hat{Y} = 338.6810 + 6.2149\text{FDNf} - 0.1792\text{FDNf}^2$					0,8686		

¹EPM = erro padrão da média; ²L = linear; ³Q = quadrático

Em adição ao conteúdo de fibra da dieta e fluxo de saliva, o pH ruminal é regulado por um sistema complexo que depende do resultado líquido entre a produção e absorção dos ácidos graxos voláteis (Branco et al., 2010). Neste aspecto, nas dietas com

proporções elevadas de palma forrageira, a mucilagem contida na palma leva à produção de timpanismo espumoso (Vieira et al., 2008) e, conseqüentemente, pode reduzir a absorção dos AGV, resultando em diminuição do pH (Bispo et al., 2007). Vale salientar que, no momento de coleta do líquido ruminal para mensuração do pH foi observado que o mesmo apresentava-se com elevada consistência espumosa, principalmente nas dietas com ausência e inclusão do nível de 109 g/kg de FDNf.

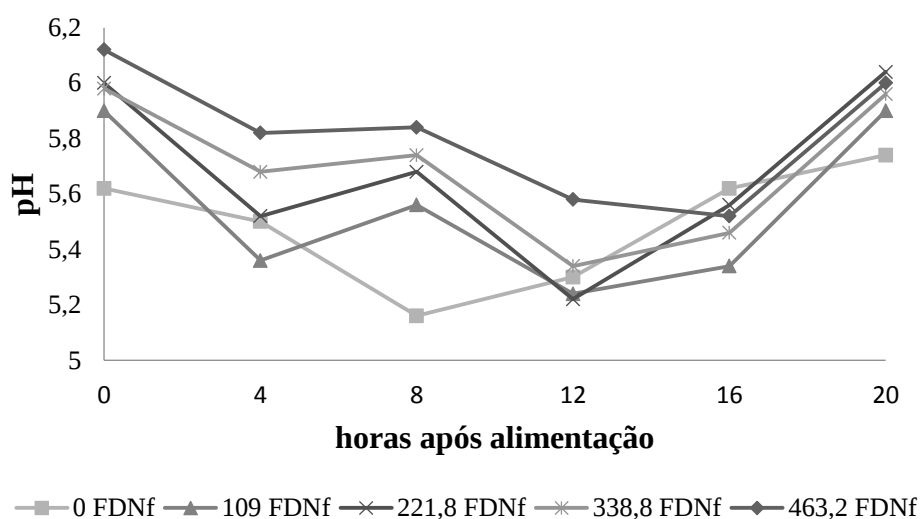
Em dietas ricas em palma forrageira é de se esperar uma redução no pH devido a maior proporção de carboidratos não-fibrosos (Vieira et al., 2008), que são rapidamente degradados no rúmen, resultando em maior produção de AGVs. Nestes casos, se não houver uma quantidade mínima de fibra que assegure o fluxo de saliva para o tamponamento do rúmen, o animal pode ser acometido por alguns distúrbios digestivos, reduzindo o consumo e, conseqüentemente, o desempenho animal (Lammers et al., 1996).

Não houve ajuste de modelos lineares ($P \geq 0,390$) para nitrogênio amoniacal ruminal. Entretanto, todos os valores de nitrogênio amoniacal foram superiores a 5mg/dL, considerado o nível mínimo de nitrogênio amoniacal ruminal requerido para manutenção das funções normais do rúmen (Satter e Styler, 1974). Da mesma forma, os valores encontrados de nitrogênio amoniacal neste experimento estão dentro dos recomendados por Mehrez et al. (1977), os quais sugeriram que a máxima atividade fermentativa ocorreria em concentrações de nitrogênio amoniacal ruminal de 19 a 23 mg/dL de líquido ruminal e acima do nível proposto por Detmann et al., (2009), 8 mg/dL de nitrogênio amoniacal ruminal, limite no qual as reações tornam-se predominantes para degradação da fibra no rúmen.

Houve efeito quadrático ($P=0,001$) dos níveis de FDNf para proteína microbiana. O maior valor médio foi observado quando a dieta continha 109 g/kg de FDNf (407,06 mg/dL). Este nível (109 g/kg de FDNf) associado com outras características da dieta, pode ter aumentado a disponibilidade de energia e desenvolvimento dos microrganismos ruminais, resultando em elevada quantidade de proteína microbiana. A menor quantidade de proteína microbiana, 236,73 mg/dL, foi observada nos animais alimentados com a maior inclusão de FDNf na dieta e ausência da palma forrageira na formulação da dieta. Neste caso, a menor proporção de proteína microbiana pode ser resultado do mais lento crescimento dos microrganismos fermentadores de carboidratos fibrosos em relação aos fermentadores de carboidratos não fibrosos. Nos demais tratamentos, a inclusão da palma forrageira pode ter favorecido o crescimento dos

microrganismos fermentadores de carboidratos não fibrosos, resultando em maior quantidade de proteína microbiana. Misra et al. (2006) observaram em média 357 mg/dL de proteína microbiana em ovinos alimentados com feno de capim-buffel, suplementado com palma forrageira. Valores semelhantes foram observados quando comparados com esta pesquisa, exceto para a dieta contendo o maior nível de FDNf (236,73 mg/dL).

Nota-se que, para todos os tratamentos houve uma queda do pH ruminal 4 horas após o arraçoamento, horários esses correspondentes aos períodos de 4 e 12 horas após alimentação (Figura 1), uma vez que as dietas experimentais foram fornecidas duas vezes ao dia, às 8 e às 16 horas. Essa diminuição do pH decorre da rápida digestão do alimento consumido logo após a alimentação, o que resultou em aumento da atividade microbiana e concentração de AGV, ocasionando queda do pH, comportamento também observado em trabalhos realizados por Misra et al. 2006 e Branco et al. 2010. Os valores mais elevados de pH ruminal foram observados no período da noite, provavelmente em virtude do comportamento dos animais, já que as cabras ao anoitecer permaneceram



mais tempo ruminando (Tabela 8).

Figura 1. Efeito dos níveis de FDNf nas rações sobre o pH ruminal de caprinos alimentados em dietas à base de palma forrageira

Não houve interação ($P > 0,05$) entre os níveis de FDNf e os tempos de coleta do líquido ruminal para as concentrações totais de AGV, proporção molar individual e relação acetato:propionato (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios da concentração total de AGV, proporção molar individual e relação acetato:propionato de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira

Variáveis	Níveis de FDNf na dieta (g/kg)					EPM ¹	P-value	
	0	109	221,8	338,8	463,2		L ²	Q ³
AGV totais mM	161,60	162,56	163,01	146,40	142,18	7,61	0,107	0,746
AGV, mol/100 mol								
Acetato (A)	57,00	56,37	57,66	58,05	55,28	0,54	0,338	0,111
Propionato (P)	29,00	29,07	27,92	27,97	29,83	0,37	0,558	0,444
Butirato	14,00	14,56	14,41	13,97	14,89	0,20	0,203	0,826
A:P	2,02	1,97	2,12	2,12	1,90	0,04	0,654	0,105

¹CV = coeficiente de variação; ²L = linear; ³Q = quadrático

A concentração total de AGV e a proporção molar individual não foram influenciadas ($P \geq 0,107$) pelos níveis de FDNf da dieta (Tabela 6). Apesar de não haver ajuste de modelos, observou-se uma redução em valores numéricos quanto a concentração total de AGV, a partir da inclusão de 338,8 g/kg de FDNf na dieta. Li et al. (2014), observaram que a maior concentração de FDNf na dieta resultou em menor concentração total de AGV quando comparada com dietas de baixa concentração de FDNf, não observando diferença estatística quanto as proporções molares individuais e a relação acetato:propionato. O pH ruminal é determinado pela concentração total de AGV e pela capacidade tamponante do fluido ruminal.

Diversos fatores, incluindo o consumo de carboidratos rapidamente fermentáveis, taxa de passagem do conteúdo ruminal e capacidade de absorção do epitélio ruminal afetam a concentração ruminal de AGV (Penner et al., 2009). Neste trabalho, a maior quantidade de CNF, que são carboidratos de rápida degradação presentes nas dietas com maior proporção de palma forrageira, pode ter resultado em maior produção de AGV.

A concentração de acetato:propionato não foi alterada ($P \geq 0,105$) pelos níveis de FDNf das dietas. Segundo Branco et al. (2011), a redução do pH ruminal proporciona um ambiente ruminal desfavorável para o crescimento de microrganismos fermentadores de carboidratos fibrosos, o que leva à redução da relação acetato:propionato. Neste trabalho a redução do pH não refletiu em diferença na relação acetato:propionato.

Não houve interação ($P>0,05$) para as variáveis comportamentais TA, TR, TO, NR e TMR entre os níveis de FDNf e os períodos do dia (Tabela 7). Entretanto, houve diferença significativa ($P<0,05$) do período do dia e as variáveis TA, TR, TO e TMR.

Observou-se que o tempo gasto com alimentação se concentrou durante o dia (6-18h), representando, em média, 81% do período total de alimentação. Esse comportamento pode ser explicado pelo manejo alimentar adotado, possibilitando concentração da atividade de ingestão próximo dos horários de distribuição da ração (8:00 e 16:00). Ferreira (2006), observou que o momento de fornecimento representou maior presença dos animais ao comedouro, resultando em maior atividade de alimentação durante o período diurno, comportamento observado neste trabalho. Carvalho et al. (2006), estudando o comportamento de cabras alpinas alimentadas com níveis de FDNf, também observaram maior tempo despendido para alimentação durante o período do dia, corroborando com os resultados mencionados acima.

A maior concentração da atividade de ruminação ocorreu no período 1, correspondente ao horário de 0-6h, provavelmente devido às temperaturas serem mais amenas. Diversos trabalhos prévios verificaram o mesmo comportamento quanto ao período de maior atividade em ruminação (Carvalho et al., 2006; Ramos et al., 2007; Macedo et al., 2007; Miotto et al., 2014; Tavares et al., 2005). Em relação ao tempo de ócio, verificou-se que no P4, correspondente ao horário de 18-24h, os animais permaneceram maior tempo em ócio (270,4 min).

Tabela 7. Comportamento ingestivo, subdivididos em quatro períodos do dia, de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira

Variáveis	Níveis de FDNf na dieta (g/kg)					Médias
	0	109,0	221,8	338,8	463,2	
TA ¹ min/d						
P1 ²	10	6	12	22	20	14b
P2 ³	76	92	100	80	118	93,2a
P3 ⁴	74	86	116	84	122	96,4a
P4 ⁵	34	22	34	28	32	30,4b
TR ⁶ min/d						
P1	72	146	174	122	152	132,4a
P2	14	46	44	38	54	40,4b
P3	9,5	26	48	62	36	35,5b
P4	12	42	86	60	96	59,2b
TO ⁷ min/d						
P1	278	208	176	218	188	213,6b
P2	268	222	212	242	186	226,0b
P3	280	248	196	214	206	228,8b
P4	314	296	234	272	236	270,4a

NR ⁸						
P1	1,6	3,2	3,4	4,0	2,8	3,0
P2	2,6	2,2	3,0	2,4	4,60	2,96
P3	3,4	3,4	3,8	3,2	3,6	3,48
P4	1,8	1,81	3,0	2,6	3,4	2,52
TMref ⁹						
P1	8,4	4,4	10,2	8,2	8,5	7,9b
P2	23,7	15,5	35,5	35,0	28,0	27,5a
P3	21,0	15,8	36,3	27,5	46,7	29,5a
P4	5,7	10,0	12,5	10,5	11,8	10,0b

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

¹TA: Tempo em alimentação; ²P1: Período 1 (0-6h); ³P2: Período 2 (6:10-12h); ⁴P3: Período 3 (12:10-18h); ⁵P4: Período 4 (18:10-24h); ⁶TR: tempo em ruminação; ⁷TO: tempo em ócio; ⁸NR: número de refeições; ⁹TMref: tempo médio por refeição

Os maiores tempos médios por refeição foram observados durante o período do dia (6-18h), representando, em média, 76% do período total de refeição. Tal comportamento se justifica devido ao maior tempo despendido em alimentação durante o mesmo período e a não observação da variação quanto ao número de refeições diárias.

A elevação dos níveis de FDNf das dietas experimentais não alteraram ($P \geq 0,006$) as variáveis tempo de alimentação, eficiência de alimentação em g MS/h, g FDN/h e eficiência de ruminação em g FDN/h (Tabela 8). O tempo médio de alimentação observado para os níveis de FDNf das dietas, variaram de 206 a 288 min/dia.

Tabela 8. Comportamento ingestivo e eficiências de alimentação e ruminação em função do consumo de MS e FDN de caprinos alimentados com níveis de fibra em detergente neutro advindo de forragem (FDNf) em dietas à base de palma forrageira

Variáveis	Níveis de FDNf na dieta (g/kg)					P-valor		
	0	109,0	221,8	338,8	463,2	SEM ⁷	L ⁸	Q ⁹
TA ¹ min/d	194	206	268	214	288	12,6	0,105	0,706
TR ² min/d	104	260	354	280	336	20,6	0,002	0,033
TMT ³ min/d	343	466	622	494	624	27,4	0,006	0,210
TO ⁴ min/d	1,140	974	818	946	816	27,3	0,007	0,221
EAL ⁵ , g MS/h	343	448	299,6	310,5	162,2	30,3	0,270	0,154
ERU ⁶ , g MS/h	477	342,2	225,4	235	148,7	74,5	0,006	0,10
EAL, g FDN/h	99,1	149,3	124,8	170,6	101,9	7,74	0,565	0,008
ERU, g FDN/h	146	123,5	94,5	129,8	92,5	25,7	0,06	0,166
Item	Equações						r ²	
TR	$\hat{Y} = 145,03 + 1,1383\text{FDNf} - 0,0017\text{FDNf}^2$						0,8120	
TMT	$\hat{Y} = 395,33 + 0,5054\text{FDNf}$						0,6151	
TO	$\hat{Y} = 1043,3 - 0,501\text{FDNf}$						0,6141	
ERU, g MS/h	$\hat{Y} = 434,16 - 0,6556\text{FDNf}$						0,8902	

¹TA: tempo em alimentação; ²TR: tempo em ruminação; ³TMT: tempo de mastigação total; ⁴TO: tempo em ócio; ⁵EAL, g MS/h: eficiência de alimentação; ⁶ERU: eficiência de ruminação; ⁷EPM = erro padrão da média; ⁸L = linear; ⁹Q = quadrático

O tempo de ruminação foi afetado de forma quadrática ($P=0,0330$) em função dos níveis de FDNf das dietas. O tempo máximo de tempo despendido de ruminação foi estimado em 335 min/dia com 333 g/kg de FDNf na dieta. Os efeitos dos níveis de FDNfe das dietas sobre a atividade de mastigação tem sido reportado em estudos prévios, utilizando diferentes fontes de forragens e animais. Zhao et al. (2011) utilizando dietas contendo níveis de FDNfe e Tavares et al. (2005) estudando os efeitos de níveis crescentes de feno em dietas à base de palma forrageira, ambos com caprinos, observaram efeito linear positivo no tempo despendido em ruminação com o aumento da quantidade de FDNfe nas dietas. Apesar do TR ter sido afetado de forma quadrática, os animais alimentados com o maior nível de FDNf permaneceram 203,5 minutos a mais ruminando quando comparado com o nível 0 de FDNf. Este comportamento confirma os resultados reportados por Church (1988), em que dietas com maior conteúdo de FDN, os animais necessitam de maior tempo de ruminação, devido à maior necessidade de processamento da fibra via mastigação.

Observou-se efeito linear positivo ($P=0,006$) para o tempo de mastigação total, ao mesmo tempo em que o tempo em ócio reduziu linearmente ($P=0,007$) com a inclusão dos níveis de FDNf das dietas. Esse comportamento já era esperado, pois como mencionado anteriormente, o aumento do nível de FDN na dieta reflete em aumento na atividade de mastigação, devido à necessidade de melhor processamento da fibra da dieta. Deste modo, como o TO é inversamente proporcional à atividade de mastigação ou TMT, os resultados se encontram dentro das condições biológicas dos animais. Os resultados observados nesse trabalho corroboram com os achados por Zhao et al. (2011) e Carvalho et al. (2006), avaliando os efeitos de níveis de FDFfe sobre o comportamento ingestivo de caprinos, nos quais verificaram maior tempo despendido na ruminação e na mastigação total e redução no tempo de ócio, em função dos maiores níveis de fibra.

Houve efeito linear decrescente ($P=0,006$) na eficiência de ruminação em g MS/h, com o aumento do nível de FDNfe, portanto, a melhor eficiência foi obtida com o nível de 0 g/kg de FDNF (476,57 g MS/h). A eficiência de ruminação, quando expressada em relação à quantidade de g FDN/h, não diferiu entre os tratamentos, apresentando valor médio de 117,21 g FDN/h. A eficiência de ruminação foi reduzindo com o aumento dos

níveis de FDNf, devido ao maior tempo de ruminação (min/d) observado pelos animais submetidos às dietas com maior concentração de FDNf, o que resultou em valores menores de ERU g FDN/h.

CONCLUSÕES

A inclusão de níveis de 109 a 338,8 g/kg de fibra em detergente neutro advindo de forragem propicia condições favoráveis para as funções ruminais, digestibilidade dos nutrientes e comportamento ingestivo de caprinos alimentados com dietas à base de palma forrageira. Animais alimentados com dietas contendo fibra em detergente neutro advindo de forragem abaixo de 109 g/kg tiveram comprometimento na fermentação ruminal com redução drástica na ruminação e digestibilidade dos nutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC International. 2000. **Official methods of analysis of AOAC International**. 17th edition. Gaithersburg, MD, USA, Association of Analytical Communities.
- ANDRADE, D. K .B.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. 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). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2088- 2097, 2002.
- ANDRADE-MONTEMAYOR, H. M.; CORDOVA-TORRES, A. V.; GRACÍA-GASCA, T. et al. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of

- Mesquite (*Prosopis laevigata* ssp.) and Nopal (*Opuntia* ssp.) **Small Ruminant Research**, v.98, p.83-92, 2011.
- ARMENTANO, L., PEREIRA, M. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1416–1425, 1997.
- BERCHIELLI, T. T.; ANDRADE, P.; FURLAN, C. L. Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.830-833, 2000.
- BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. 2 ed. Jaboticabal: Funep, 2011. 616p.
- BISPO, S. V.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. et al. 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.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal Biochemical**, v.72, p.248-254, 1976.
- BRANCO, R. H.; RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, C. A. F. et al. Efeito dos níveis de fibra em detergente neutron oriunda de forragem sobre a eficiência microbiana e os parâmetros digestivos em cabras leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.2, p.372-381, 2010.
- BRANCO, R. H.; RODRIGUES, M. T.; SILVA, M. M. C. et al. Desempenho de cabras em lactação alimentadas com dietas com diferentes níveis de fibra oriundas de forragem com maturidade avançada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n.5, p.1061-1071, 2011.
- BÜRQUER, P. J.; PEREIRA, J. C.; QUEIROZ, A. C.; SILVA, J. F. C.; VALADARES FILHO, S. C.; CECON, P. R.; CASALI, A. D. P. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p.236-242, 2000.
- CARVALHO, S.; RODRIGUES, M. T.; BRANCO, R. H. et al. Comportamento ingestivo de cabras Alpinas em lactação alimentadas com dietas contendo diferentes

- níveis de fibra em detergente neutro proveniente da forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n.2, p.562-568, 2006.
- CAVALCANTI, C. V. A.; FERREIRA, M. A.; CARVALHO, M. C. et al. Palma forrageira enriquecida com uréia em substituição ao feno de capim-tifton 85 em rações para vacas da raça Holandesa em lactação. **Revista brasileira de Zootecnia**, v.37, n.4, p.689-693, 2008.
- CHANEY, A.L., MARBACH, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clinical Chemistry**, v.8, p.130-132, 1962.
- CHURCH, D.C. **El ruminat: fisiología digestiva y nutrición**. Zaragoza: Acribia, 1988. 641p.
- COSTA, R. C.; BELTRÃO FILHO, E. M.; MEDEIROS, A. N. et al. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. **Small Ruminant Research**, 82:65-65. 2009.
- DETMANN, E.; PAULINO, M. F.; MANTOVANI, H. C. et al. Parameterization of ruminal fiber degradation in low-quality tropical forage using Michaelis-Menten kinetics. **Livestock Science**, v.126, p.136-146, 2009.
- DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. **Métodos para análise de alimentos**. (INCT - Ciência animal). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 214p.
- FERREIRA, J. J. **Desempenho e comportamento ingestivo de novilhos e vacas sob frequências de alimentação em confinamento**. 2006. 62f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- GUIMARÃES, K. C.; BRANCO, A. F.; ZEOULA, L. M. et al. Efeito do período experimental sobre a digestão parcial e total em bovinos alimentados com dois níveis de volumosos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.888-896, 2001.
- HALL, M. B. **Neutral detergent-soluble carbohydrates**. Nutritional relevance and analysis. Gainesville: University of Florida, 2000. 76p.

- LAMMERS, B. P.; BUCKMASTER, D. R.; HEINRICHS, A. J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.5, p.922- 928, 1996.
- LI, F.; LI, Z.; LI, S. et al. Effect of dietary physically effective fiber on ruminal fermentation and the fatty acid profile of milk in dairy goats. **Journal of Dairy Science**, v.97, p.2281-2290, 2014.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 57, p. 347-358, 1996.
- MACEDO, C. A. B.; MIZUBUTI, I. Y.; MOREIRA, F. B. et al. Comportamento ingestivo de ovinos recebendo dietas com diferentes níveis de bagaço de laranja em substituição à silagem de sorgo na ração. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.6, p.1910-1916, 2007.
- MEHREZ, A. Z.; ØRSKOV, E. M.; McDONALD, I. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. **British Journal Nutrition**, v.38, p.437-443, 1977.
- MELO, A. A. S.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. et al. Desempenho leiteiro de vacas alimentadas com caroço de algodão em dieta à base de palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1165-1171, 2006.
- MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, p.1217-1240, 2002.
- MIOTTO, F. R. C.; NEIVA, J. N. M.; RESTLE, J. et al. Comportamento ingestivo de tourinhos alimentados com dietas contendo níveis de gérmen de milho integral. **Ciência Animal Brasileira**, v.15, n.1, p.45-54, 2014.
- MISRA, A. K.; MISRHA, A. S.; TRIPATHI, M. K. et al. Intake, digestion and microbial protein synthesis in sheep on hay supplemented with prickly pear cactus [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] with or without groundnut meal. **Small Ruminant Research**, v.63, p.125-134, 2006.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. 450p.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of small ruminants**. Washington, D.C.: National Academy Press, 2007.
- ØRSKOV, E. R. New concepts of feed evaluation for ruminants with emphasis on roughages and feed intake. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v.13, p.128-136, 2000.
- PENNER, G. B.; ASCHENBACH, J. R. G.; GABEL, R. et al. Epithelial capacity for apical uptake of short chain fatty acids is a key determinant for intraruminal pH and the susceptibility to subacute ruminal acidosis in sheep. **Journal of Nutrition**, v.139, p.1714-1720, 2009.
- RAMOS, A. O.; VERAS, A. S. C.; FERREIRA, M. A. et al. Associação da palma forrageira com diferentes tipos de volumosos em dietas para vacas em lactação: comportamento ingestivo e parâmetros fisiológicos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.29, n.2, p.217-225, 2007.
- SARAIVA, C. A. S.; GONZAGA NETO, S.; QUEIROZ, M. F. S. et al. Forage cactus associated with different fiber sources for lactating Sindhi cows: intake, digestibility and microbial protein production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.43, n.10, p.530-536, 2014.
- SATTER, L. D.; SLYTER, L. L. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. **British Journal Nutrition**, v.32, n.2, p.199-208, 1974.
- SIEGFRIED, V.R., RUCKERMANN, H., STUMPF, G. Method for the determination of organic acids in silage by high performance liquid chromatography. **Landwirtschaftliche Forschung**, v.37, p.298–304, 1984.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.
- SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia Fícus-Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v.8, n.5, 2007.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, D.J.; Van SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.

- TAVARES, A. M. A.; VÉRAS, C.; BATISTA, A. M. V. et al. Níveis crescentes de feno em dietas à base de palma forrageira para caprinos em confinamento: comportamento ingestivo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.27, n.4, p.497-504, 2005.
- TEGEGNE, F.; PETERS, K. J.; KIJORA, C. Cactus pear (*Opuntia ficus indica*): a strategic crop in combating food and feed insecurity and desertification in Tigray, northern Ethiopia. **Proceedings of the Society of Nutrition Physiology**, v.15, 2005. 60p.
- 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, p.157-164, 2007.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994.
- VIEIRA, E. L. **Adição de fibras em dietas contendo palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) para caprinos**. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco, 2006. 53p.
- VIEIRA, E. L.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A. et al. Effects of hay inclusion on intake, in vivo nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. **Animal and Feed Science Technology**, v.141, p.199-208, 2008.
- WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. et al. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e fenos em associação à palma forrageira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.2, p.444-456, 2012.
- YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.88, p.1090-1098, 2005.
- ZHAO, X. H.; ZHANG, T.; XU, M.; et al. Effects of physically effective fiber on chewing activity, ruminal fermentation, and digestibility in goats. **Journal of Animal Science**, v.89, p.501-509, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

Não foram observados indícios de sérios distúrbios digestivos (diarréia e timpanismo) nos animais alimentados com dietas, contendo apenas palma forrageira como única fonte de volumoso (equivalente a 61% da MS da dieta).

Vale salientar que, a maximização da utilização da palma forrageira nos sistemas de produção em condições áridas e semiáridas é de grande interesse, devido sua

importância como fonte alimentar e substancial contribuição em atender as exigências de água pelos animais.

Em detrimento da escassez de trabalhos avaliando a correta utilização da palma forrageira e sua combinação com níveis de fibra fisicamente efetiva e de possíveis limitações do nosso estudo, mais estudos são necessários para determinar a ótima concentração de FDNf em dietas à base de palma forrageira para caprinos.

Em termos práticos, a realização desta pesquisa disponibiliza informações que podem auxiliar aos produtores nas tomadas de decisões quanto ao uso da palma forrageira na alimentação de caprinos, de forma que a otimização do uso desta, como fonte alimentar e de água, venha a se tornar uma atividade cada vez mais promissora.