

ISAK SAMIR DE SOUSA LIMA

VALOR NUTRITIVO DA PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDA À ADUBAÇÃO  
NITROGENADA

TERESINA – PI

2017

ISAK SAMIR DE SOUSA LIMA

VALOR NUTRITIVO DA PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDA À ADUBAÇÃO  
NITROGENADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Área de Concentração: Produção Animal  
Orientador: Prof. Dr. Arnaud Azevêdo Alves

TERESINA – PI

2017

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Serviço de Processamento Técnico

**L732v** Lima, Isak Samir de Sousa  
Valor nutritivo da palma forrageira submetida à adubação nitrogenada / Isak Samir de Sousa Lima – 2017.  
46 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Teresina, 2017.  
Orientação: Prf. Dr. Arnoud Azevêdo Alves

1. *Nopalea cochenilifera* 2. Composição química 3. Fração de compostos nitrogenados e carboidratos 4. Degradação no rúmen  
I. Título.

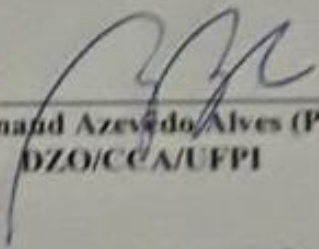
**CDD 583.47**

**VALOR NUTRITIVO DA PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDA À  
ADUBAÇÃO NITROGENADA**

**ISAK SAMIR DE SOUSA LIMA**


**Dissertação Aprovada em: 07/03/2017**

**Banca Examinadora:**



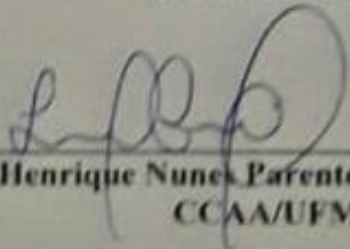
---

**Prof. Dr. Arnand Azevedo Alves (Presidente)**  
**DZO/CCA/UFPI**



---

**Prof. Dr. Daniel Louçana da Costa Araujo (Examinador Interno)**  
**DZO/CCA/UFPI**



---

**Prof. Dr. Henrique Nunes Parente (Examinador Externo)**  
**CCAA/UFMA**

A Deus, pela oportunidade concedida e sabedoria, a Ele toda honra e toda glória. À minha família, pelo apoio, incentivo e confiança em todos os momentos, especialmente à minha querida mãe Nilza Batista de Sousa Lima.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Arnaud Azevêdo Alves, pelos ensinamentos, paciência e orientação durante o Mestrado. Ao Prof. Dr. Daniel Louçana da Costa Araújo por ter colaborado na realização deste trabalho. Enfim, a todos os professores pelo conhecimento compartilhado e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal pela oportunidade.

Aos meus pais, João Ferreira Lima e Nilza Batista de Sousa Lima, pelo apoio, confiança e incentivo. Aos meus irmãos Jamaycon César de Sousa Lima e João Carlos de Sousa Lima pela confiança e irmandade. À minha madrinha, Djanira Ferreira Lima (*in memoriam*), pelo apoio e carinho.

À minha namorada, Any Patielly Santos Rocha, pelo amor, carinho e companheirismo, sempre ao meu lado em todos os momentos. Aos meus familiares, pelo apoio e incentivo.

Aos meus colegas de Pós-Graduação, pela amizade e companheirismo durante essa caminhada. Aos técnicos do Laboratório de Nutrição Animal (LANA), Manoel José de Carvalho e Lindomar de Moraes Uchoa, pelo apoio e ensinamentos durante as análises no Laboratório.

Aos Pós-Graduandos, Bruno Spíndola Garcez, Fernando Yúri Brandão Fernandes, Antônia Leidiana Moreira, e aos graduandos, Guilherme Wallan Batista Moura, Adalberto Souza Silva e Anderson Chaves Rodrigues, que colaboraram para a realização deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, me prestaram apoio e auxílio, colaborado nos trabalhos ou incentivando e estimulando.

## LISTA DE TABELAS

1 Características químicas médias do solo referente à área cultivada com palma forrageira.....	30
2 Composição química da palma forrageira em função da adubação nitrogenada.....	34
3 Frações de compostos nitrogenados e carboidratos da palma forrageira em função da adubação nitrogenada.....	36
4 Fração solúvel (a) e potencialmente degradável (b), taxa de degradação (c) e, degradação potencial (DP), e efetiva (DE) da MS e PB da palma forrageira em função da adubação nitrogenada.....	37

LIMA, Isak Samir de Sousa. VALOR NUTRITIVO DA PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDA À ADUBAÇÃO NITROGENADA. 2017. 46f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

## RESUMO

A forragem de cactáceas ganha destaque como estratégia de alimentação, principalmente no período de estiagem. A produtividade, resistência e adaptação ao clima e condições desfavoráveis estimulam sua utilização como recurso forrageiro, além de suas características nutricionais, que podem melhorar o desempenho do rebanho. A palma forrageira representa importante alternativa para a alimentação animal, por apresentar características morfofisiológicas de adaptação, boa produtividade, além de permitir o uso eficiente de água. Objetivou-se avaliar o valor nutritivo da palma forrageira adubada com diferentes doses de nitrogênio. Verificou-se a composição química, as frações de compostos nitrogenados e carboidratos, e a degradabilidade da matéria seca e proteína da palma forrageira no rúmen, sob diferentes doses de N (0, 100, 200, 300, 400, 500 e 600 kg/ha/ano), na forma de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , a cada 90 dias, durante 12 meses. Houve efeito significativo na composição química, com acréscimo linear ( $P<0,05$ ) no teor de proteína bruta, fibra em detergente ácido, celulose e lignina, e efeito linear decrescente ( $P<0,05$ ) no teor de matéria seca, hemicelulose, carboidratos totais, carboidratos não fibrosos, nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e ácido (NIDA). As frações proteicas A e B2 foram influenciadas de forma exponencial ( $P<0,05$ ) e a fração C dos carboidratos aumentou linearmente ( $P<0,05$ ). Houve aumento na degradação da proteína bruta em função dos tratamentos. A dose 200 kg de N/ha melhora o valor nutritivo da palma forrageira.

Palavras-chave: *Nopalea cochenillifera*, composição química, frações de compostos nitrogenados e carboidratos, degradação no rúmen



LIMA, Isak Samir de Sousa. VALOR NUTRITIVO DA PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDA À ADUBAÇÃO NITROGENADA. 2017. 46f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

#### ABSTRACT

The forage of cactus is highlighted as a feeding strategy, especially during the dry season. The productivity, resistance and adaptation to the climate and unfavorable conditions stimulate its use as a fodder resource, in addition to its nutritional characteristics, that can improve the performance of the herd. Forage palm represents an important alternative for animal feed, because it presents morphophysiological characteristics of adaptation, good productivity, besides allowing the efficient use of water. The objective was to evaluate the nutritional value of forage cactus fertilized with different nitrogen doses. It was verified the chemical composition, the fractions of nitrogen compounds and carbohydrates and the degradability of dry matter and forage palm protein rumen, with different N doses (0, 100, 200, 300, 400, 500 and 600 kg/ha/year) as  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$  every 90 days for 12 months. There was a significant effect on the chemical composition, with linear increase ( $P < 0,05$ ) in crude protein, acid detergent fiber, cellulose and lignin, and a linear decreasing effect ( $P < 0,05$ ) on dry matter content, hemicellulose, total carbohydrates, non-fibrous carbohydrates, neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) and acid (ADIN). The protein fractions A and B2 were influenced exponentially ( $P < 0,05$ ) and the C fraction of carbohydrates increased linearly ( $P < 0,05$ ). There was an increase in crude protein degradation as a function of treatments. The dose 200 kg of N/ha improves the nutritive value of forage cactus.

**Key Words:** *Nopalea cochenillifera*, chemical composition, fractions of nitrogen compounds and carbohydrates, rumen degradation

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO GERAL.....	viii
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Palma forrageira ( <i>Nopalea cochenillifera</i> Salm Dick).....	13
2.2 Adubação nitrogenada da palma forrageira.....	15
2.3 Partição de nutrientes e degradação no rúmen de cactáceas.....	17
3 REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
CAPÍTULO I.....	27
Resumo.....	28
1 Introdução.....	29
2 Material e métodos.....	30
3. Resultados.....	34
4. Discussão.....	38
4. Conclusão.....	43
5. Referências.....	44

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A sazonalidade da produção de forragem na região Nordeste do Brasil, em decorrência do regime pluviométrico, constitui um dos principais determinantes da produção animal, por interferir diretamente na alimentação, um dos principais fatores do desempenho e eficiência produtiva dos rebanhos.

Nesse cenário, a forragem de cactáceas ganha destaque como estratégia de alimentação, principalmente no período de estiagem. A produtividade, resistência e adaptação ao clima e condições desfavoráveis estimulam a utilização desse alimento como recurso forrageiro, além de suas características nutricionais, que podem melhorar o desempenho dos animais.

A palma forrageira representa importante alternativa para a alimentação animal, por apresentar características morfofisiológicas de adaptação, permitem o uso eficiente de água e boa produtividade. Apresenta alta digestibilidade e teor de carboidratos solúveis, no entanto, baixo teor de proteína e fibra, sendo necessária suplementação com ingredientes proteicos e fibrosos quando do fornecimento aos ruminantes (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010).

A adubação fornece nutrientes que atendem as exigências metabólicas e promovem maior desenvolvimento da planta, pois tem efeito direto na concentração dos nutrientes (COSTA et al., 2009). A adubação nitrogenada, especificamente, além de melhorar a produtividade vegetal pode proporcionar alterações na composição química da forragem, como, aumento do teor proteico, redução do teor de carboidratos solúveis, além de contribuir para redução da fração fibrosa menos degradável (COSTA et al., 2014).

Para adequar o fornecimento aos animais é importante conhecer as frações de compostos nitrogenados e carboidratos da palma forrageira submetida à adubação nitrogenada, assim como suas respectivas taxas de aproveitamento no ambiente ruminal. A relação nitrogênio/energia da dieta influencia o desempenho do ruminante, pois a síntese microbiana ruminal resulta da degradação da matéria orgânica e disponibilidade de nitrogênio no ambiente do rúmen (ROTGER et al., 2006). É essencial que haja equilíbrio dessa relação, para melhor desempenho e maior produtividade dos animais, bem como, para a sustentabilidade ambiental (BELANCHE et al., 2012).

Apesar de ser um alimento comum para ruminantes em várias regiões do mundo, os dados sobre a degradabilidade dos diferentes cultivares de palma forrageira no rúmen são limitados (BATISTA et al., 2009). A adoção da técnica de degradabilidade no rúmen possibilita estimar taxas e extensão de degradação dos nutrientes, disponibilizando informações relevantes no que se refere à alimentação de ruminantes.

Objetivou-se com esta pesquisa, conhecer a composição química, as frações de carboidratos e compostos nitrogenados e degradabilidade *in situ* da matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) da palma forrageira no rúmen em função da adubação nitrogenada.

Esta Dissertação se encontra estruturada em duas partes: a primeira, composta por Introdução e Referencial Teórico, redigidos segundo as Normas Editoriais do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal; e, a segunda, corresponde ao Capítulo I, representado pelo Artigo Científico “Ruminal degradability and fractions carbohydrates and nitrogenous compounds of forage cactus subjected to nitrogen fertilization”, redigido de acordo com as normas editoriais do periódico científico “*Revista Brasileira de Zootecnia*”.

## 2 REFERENCIAL TEORICO

### 2.1 Palma forrageira (*Nopalea cochenilifera* Salm Dick)

A palma forrageira pertence à divisão: Embryophyta, subdivisão: Angiospermea, classe: Dicotyledoneae, sub-classe: Archiclamideae, ordem: Opuntiales e família das cactáceas (SILVA; SANTOS, 2006). Essa família possui aproximadamente 130 gêneros e 1.500 espécies (SHETTY; RANA; PREETHAM, 2012), sendo as mais utilizadas como forrageiras, pertencentes aos subgêneros *Opuntia* e *Nopalea*. Originária do México, foi introduzida no Brasil no final do século XIX para obtenção de pigmentos, porém apresentou maior expressão na alimentação animal e atualmente encontra-se disseminada na América do Sul e Central, Austrália, África do Sul e em toda a Região Mediterrânea (LEO et al., 2010).

O Nordeste brasileiro é caracterizado pela predominância da zona semiárida, com sazonalidade da produção de forragem, concentrada em 3 a 4 meses do período chuvoso. Nessa região, a disponibilidade e qualidade da forragem são influenciadas por fatores e características inerentes, como, escassez e irregularidades de chuvas, elevado potencial de evapotranspiração anual, além de solos rasos com baixa capacidade de retenção de umidade (SILVA et al., 2014), o que representa grande obstáculo para o aumento da produtividade animal.

Nesse cenário, a palma forrageira se destaca, pelo elevado potencial produtivo e uma importante alternativa alimentar para a produção de ruminantes (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006), devido, principalmente, ao desenvolvimento de adaptações fisiológicas e estruturais para crescimento em ambientes áridos, onde o estresse hídrico severo dificulta a sobrevivência das plantas. Dentre as adaptações, o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), combinado com adaptações estruturais (suculência), permite maior assimilação de dióxido de carbono durante o período de seca, quando comparado com outros processos fotossintéticos, com níveis de produtividade aceitáveis mesmo em períodos de estiagem (NEFZAOU; LOUHAICHI; BEN SALEM, 2014).

A suculência é uma característica fundamental das plantas CAM, diretamente relacionada à capacidade de conservar água, que se manifesta de diversas formas na palma forrageira: morfológicamente, por seus espessos cladódios, e anatomicamente, por seus grandes vacúolos, repletos de água nas células fotossintéticas e pelas diversas camadas de células armazenadoras de água. Entretanto, a chave para conservação da água na palma está no reduzido número de estômatos e na abertura estomática à noite, o que resulta em perda de água no período do dia em que a temperatura é amena e a umidade relativa do ar mais elevada (NOBEL, 2001).

Por possuir metabolismo diferenciado, a palma forrageira é mais eficiente no uso da água em comparação às plantas C4 e C3 (GUEVARA; SUASSUNA; FELKER, 2009), com perda de 50 a 100 g por grama de CO<sub>2</sub> obtido, enquanto nas plantas C4 e C3 esta perda é de 250 a 300 g e 400 a 500 g, respectivamente (TAIZ; ZEIGER, 2009), conferindo à palma forrageira capacidade para reduzir a necessidade de água para os animais (NEFZAOU; LOUHAICHI; BEN SALEM, 2014).

As duas espécies de palma forrageira mais cultivadas no Nordeste brasileiro são a *Opuntia ficus-indica* Mill com as cultivares gigante e redonda e a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck, cuja cultivar é conhecida como miúda ou doce, com melhor valor nutritivo quando comparada às cultivares mais comuns (redonda e gigante) (SOUZA FILHO et al., 2016), contribuindo muito para a alimentação dos rebanhos nos períodos de secas prolongadas.

De forma geral, a palma forrageira pode ser encontrada em ampla faixa de solos: desde os vertissolos e luvisolos do México aos regossolos e cambissolos da Itália, com pH desde subácido a subalcalino, profundidade ideal 60 a 70 cm para o bom desenvolvimento radicular superficial da cultura. Solos mal drenados, lençol freático raso e presença de camada superficial impermeável são prejudiciais ao bom desenvolvimento da cultura da palma (OLIVEIRA et al., 2010).

Devido às características de adaptação e produtividade em regiões de baixos índices pluviométricos, a palma forrageira vem se destacando como fonte alimentar de pequenos ruminantes e vacas produtoras de leite no Nordeste do Brasil, principalmente durante o período seco do ano (SANTOS; ALBUQUERQUE, 2002). No entanto, a alimentação de ruminantes com elevada proporção de palma (60% na MS) pode resultar em problemas digestivos e, eventualmente, reduzir o desempenho animal, devido sua elevada degradabilidade no rúmen e ao efeito laxativo (GEBREMARIAM; MELAKU; YAMI, 2006). Assim, seu uso é recomendado associado a outra forragem, com maior teor de fibra, consistindo em uma estratégia para reduzir a incidência de distúrbios digestivos nos ruminantes (VIEIRA et al., 2008).

A composição química da palma forrageira depende de vários fatores, principalmente da espécie, idade da planta, época do ano, adubação e manejo. Apresenta baixos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), em relação aos níveis mínimos recomendados para os ruminantes (SANTOS et al., 2006). No entanto, consiste de uma espécie forrageira de elevada digestibilidade (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010), elevados teores de cinza e carboidratos não fibrosos e baixa proporção de parede celular (VIEIRA et al., 2008).

Em média, a palma forrageira possui 13,4% de MS e com base na MS, 16% de cinza, 6,2% de PB, 27,8% de FDN, 17,4% de FDA, 1,6% de lignina, 75,1% de carboidratos totais (CHT) e 47,9% de carboidratos não fibrosos (CNF), o que possibilita sua caracterização como um alimento de rápida degradação no rúmen (BATISTA et al., 2003a). O valor nutritivo da planta forrageira depende principalmente de fatores inerentes ao ambiente, clima e manejo, que podem interferir diretamente no seu potencial produtivo, e conseqüentemente no desempenho dos animais.

A palma forrageira miúda, especificamente, é uma planta de pequeno porte, quando comparada à gigante e a redonda. Possui caule ramificado, cladódios aproximadamente 350 g e 25 cm de comprimento, com forma bastante ovalada e coloração verde intenso brilhante (SILVA; SANTOS, 2006). Possui menor produtividade, menor produção de matéria verde e menor resistência à seca, no entanto, a produção final de MS por área pode ser equiparada a das variedades gigante e redonda (SANTOS et al., 2001).

## 2.2 Adubação nitrogenada da palma forrageira

É inquestionável a importância da utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes, devido sua elevada produção de biomassa, baixo custo, facilidade de cultivo e aceitabilidade pelos rebanhos (DE KOCK, 2001), além do elevado potencial em fornecer água. No entanto, a palma possui baixo teor de PB (SOUZA et al., 2009), o que pode limitar seu uso como ingrediente exclusivo da dieta, por provocar deficiência proteica nos animais (GUSHA et al., 2015), sendo necessárias práticas de cultivo e manejo para melhorar seu aproveitamento.

A palma forrageira possui elevado teor de carboidratos não fibrosos, constituindo importante fonte de energia para os ruminantes, porém, para que atenda às exigências dos microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos e para sincronismo na degradação de N e energia no rúmen é necessário elevar seu teor de PB. Geralmente, o teor de PB encontra-se abaixo do mínimo recomendado por Van Soest (1994) (7% na MS), como observado por Tosto et al. (2007), Melo et al. (2003), Batista et al. (2009), Batista et al. (2003b) e Siqueira et al. (2016), em média 4,8; 5,1; 3,3; 6,6; 4,1 %, respectivamente.

Da mesma forma que observado para outras culturas, a palma forrageira alcança elevada produtividade quando manejada racionalmente, com adoção de correção e adubação do solo, adequada densidade de plantio, controle de plantas invasoras e correto manejo à colheita (OLIVEIRA et al., 2010), devido à elevada interação desta cultura com o ambiente, verificando-se absorção de grande quantidade de nutrientes do solo, como observado por Santos et al. (1990),

constatando-se na MS, em média 0,90; 0,16; 2,58 e 2,35% de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, respectivamente.

Alguns fatores podem modificar a composição química e, conseqüentemente, o valor nutritivo da palma forrageira (BATISTA et al., 2009). A adubação nitrogenada promove aumento na concentração de N nos cladódios da palma forrageira, com melhoria no valor nutritivo (SILVA et al., 2013), pois o N é um elemento constituinte de compostos orgânicos essenciais à vida das plantas, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hormônios e clorofila (BARROS et al., 2016). Além disso, o fornecimento de N em quantidade e proporção adequada é fundamental ao processo produtivo da forragem, devido o N do solo, proveniente da mineralização da matéria orgânica, não ser suficiente para atender a demanda de plantas forrageiras de elevado potencial produtivo (FAGUNDES et al., 2006).

Embora a adubação seja uma estratégia eficiente no processo produtivo das plantas forrageiras, alguns aspectos devem ser considerados. A fonte e o parcelamento das doses são fundamentais no manejo da adubação nitrogenada, por permitir a diminuição das perdas por volatilização e lixiviação (COSTA; FAQUIN; OLIVEIRA, 2010).

A principal forma de perda de N em pastagens é por volatilização da amônia, fato que pode determinar a eficiência de fertilizantes nitrogenados. Este processo consiste na perda de N sob a forma de amônia gasosa para a atmosfera, sendo iniciado quando da presença deste composto na superfície do solo (SOARES FILHO et al., 2015). As perdas por volatilização são influenciadas por fatores ambientais e climáticos, sendo favorecidas pelas condições de climas tropicais, como alta temperatura e umidade (ANDREUCCI, 2007), que favorecem a atividade da urease e disponibilizam condições para o processo de hidrólise da ureia.

O processo de lixiviação é caracterizado pelo deslocamento de sais solúveis na solução do solo, através da percolação da água ao longo do perfil do mesmo, e varia de acordo com a quantidade e regime pluviométrico, além de características químicas e físicas do solo, como velocidade de mineralização da matéria orgânica, textura, porosidade e estrutura (KIEHL, 1987). O parcelamento das doses na adubação nitrogenada é uma estratégia eficiente para mitigação da lixiviação do N no solo (COSTA; ZUCARELI; RIEDE, 2013), principalmente quando realizada durante o período chuvoso. Assim como na volatilização, as fontes de nitrogênio podem interferir o processo de lixiviação de N. Assim aquelas em que os íons nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) são fornecidos diretamente apresentam maior potencial poluente, devido à menor adsorção destes íons aos colóides do solo. Por outro lado, as fontes que se dissociam em íons amônio ( $\text{NH}^+$ )



apresentam menores taxas de lixiviação, devido os íons ficarem adsorvidos no solo (ANDREUCCI, 2007).

Dentre as fontes mais utilizadas na adubação de pastagem destacam-se a ureia  $[(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)]$  e o sulfato de amônio  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ , as quais podem perder eficácia, principalmente pela volatilização da amônia (SCHIAVINATTI et al., 2011).

### 2.3 Partição de nutrientes e degradação no rúmen

A palma forrageira tornou-se importante alternativa para a alimentação de ruminantes no semiárido, sendo utilizada em diversos níveis de produção, principalmente na alimentação de gado de leite, devido ao alto teor energético. Embora se conheça bastante sua produtividade e composição química, há necessidade de informações quanto à frações de carboidratos e compostos nitrogenados, assim como referentes à sua degradação no rúmen.

Os sistemas de avaliação de alimentos para ruminantes vêm passando por modificações, visando aperfeiçoar a determinação do valor nutricional dos alimentos e conhecer cada vez mais as exigências nutricionais dos animais. Nesse sentido, o *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS), foi desenvolvido nos EUA por uma equipe liderada por pesquisadores da *Cornell University* (RODRIGUES; VIEIRA, 2006). Este sistema tem como base teorias e princípios biológicos, químicos e físicos, e adota modelos matemáticos para avaliação da dieta e simular os efeitos de ingestão de alimento, fermentação no rúmen, digestão no intestino, absorção e metabolismo de nutrientes, e subsequente desempenho animal (FOX et al., 2004).

O CNCPS foi desenvolvido com o propósito de estimar taxas de degradação no rúmen de diferentes sub-frações dos alimentos, sendo estas, compostas por proteínas, carboidratos, gorduras, minerais e água. Neste sistema, compostos nitrogenados e carboidratos foram fracionados, para melhor caracterização, de acordo com a composição química, características físicas, taxa de degradação e características de digestibilidade pós-rúmen, buscando eficiente crescimento da população microbiana e redução de perdas nitrogenadas no rúmen (RUSSELL et al., 1992).

De acordo com o CNCPS, os compostos nitrogenados dos alimentos podem ser classificados nas frações A, B1, B2, B3 e C. A fração A é basicamente constituída por nitrogênio não proteico (NNP); a fração B1 é rapidamente degradável no rúmen, sendo constituída por proteínas solúveis; a fração B2 é constituída por proteínas insolúveis e com taxa de degradação intermediária; a fração B3 possui lenta taxa de degradação, e a fração C é constituída por proteínas insolúveis e não degradáveis no rúmen. Os carboidratos são classificados pelo sistema

em quatro frações: A, B1, B2 e C, em que as frações A e B1 correspondem aos carboidratos não fibrosos (açúcares, amido, pectina), com rápida taxa de degradação no rúmen para os açúcares e intermediária para amido e pectina; a B2, à porção disponível da parede celular, correspondente à fibra em detergente neutro disponível para a degradação no rúmen (celulose e hemicelulose), e a C, à porção indisponível da parede celular (lignina) (SNIFFEN et al., 1992).

As frações e taxas de degradação de compostos nitrogenados e carboidratos são necessárias para se calcular a quantidade de nutrientes disponível para dar suporte à fermentação por cada um dos grupos de microrganismos do rúmen (RUSSEL et al., (1992). As bactérias fermentadoras de carboidratos fibrosos utilizam amônia como fonte de N. Quando há deficiência desse elemento, ocorre menor aproveitamento da fração fibrosa do alimento, com redução na taxa de passagem, e, conseqüentemente, no consumo de MS (TEDESCHI; FOX; RUSSEL, 2000). Além disso, a fermentação da proteína no rúmen pode, em função da fonte e quantidade ofertada, produzir mais amônia que os microrganismos possam utilizar, ocasionando perda de proteína, na forma de N amoniacal (RUSSEL et al., 1992).

Há aumento no crescimento microbiano quando da sincronia entre N e energia no rúmen (YU; HART; DU, 2008), com melhoria na síntese de proteína microbiana e no fluxo da mesma para o duodeno (YANG et al., 2010). Além disso, o uso eficiente do N degradado no rúmen reduz sua excreção na urina (COLE; TODD, 2008), e evita perdas fermentativas de carbono em CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (BLUMMEL et al., 1999).

A avaliação de dietas para ruminantes com base apenas em informações sobre a quantidade de nutrientes fornecidos pelos ingredientes é insuficiente para predizer condições de desempenho animal. Assim, técnicas que determinem a proporção com que os nutrientes se tornam disponíveis aos microrganismos e a quantificação de suas perdas durante o processo de fermentação no rúmen, agregam informações relevantes.

A degradabilidade *in situ* no rúmen é um dos métodos para se avaliar a qualidade dos alimentos para ruminantes, com adoção, principalmente, do modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979). Consiste da incubação do alimento a ser analisado no rúmen do animal provido de cânula com acesso a este órgão, através da qual são introduzidos no interior do rúmen sacos de náilon contendo o material a ser degradado. O material fica incubado no rúmen por um determinado período de tempo, em contato direto com o ambiente no rúmen, sendo possível assim obter sua taxa de degradação (SOARES, 2007).

A degradabilidade *in situ* no rúmen oferece condições reais de temperatura, pH, tamponamento, substratos, enzimas para degradação dos alimentos e, conseqüentemente, maior

confiabilidade dos parâmetros obtidos (ASSIS et al., 1999). Para o sucesso dessa técnica, alguns aspectos devem ser considerados, principalmente a dimensão e porosidade dos sacos, o tempo de incubação e o tamanho da partícula do alimento.

A palma forrageira apresenta elevada taxa de degradação no rúmen, como observado por Batista et al. (2003a) e Batista et al. (2009), o que se relaciona ao baixo teor de lignina e elevada proporção de carboidratos não fibrosos na matéria seca. Apesar disso, são necessárias informações quanto à degradabilidade de cladódios de palma forrageira no rúmen, principalmente quando provirem de culturas submetidas à adubação nitrogenada, devido aos efeitos desta adubação sobre o teor de proteína e composição da parede celular.

### 3 REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

ANDREUCCI, M.P. **Perdas nitrogenadas e recuperação aparente de nitrogênio em fontes de adubação de capim elefante**. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

ASSIS, M.A.; SANTOS, G.T.; CECATO, U. DAMASCENO, J.C.; PETIT, H.V.; BETT, V.; GOMES, L.H.; DANIEL, M. Degradabilidade *in situ* de gramíneas do gênero *Cynodon* submetidas ou não a adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum**, v.21, n.3, p.657-663, 1999.

BARROS, J.L.; DONATO, S.L.R.; GOMES, V.M.; DONATO, P.E.R.; SILVA, J.A.; PADILHA JÚNIOR, M.C. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Rev. Agrotecnologia**, v.7, n.1, p.53–65, 2016.

BATISTA, A.M.V.; MUSTAFA, A.F.; MCALLISTER, T.; WANG, Y.; SOITA, H.; MCKINNON, J.J. Effects of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.83, n.5, p.440-445, 2003a.

BATISTA, A.M.V.; MUSTAFA, A.F.; SANTOS, G.R.A.; CARVALHO, F.F.R.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; LIRA, M.A.; BARBOSA, S.B.P. Chemical composition and ruminal dry matter and crude protein degradability of spineless cactus. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.189, n.2, p.123-126, 2003b.

BATISTA, A.M.V.; RIBEIRO NETO, A.C.; LUCENA, R.B.; SANTOS, D.C.; DUBEUX JUNIOR, J.B.; MUSTAFA, A.F. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in northeastern Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, v.62, n.2, p.297-201, 2009.

BELANCHE, A.; DOREAU, M.; EDWARDS, J.E.; MOORBY, J.M.; PINLOCHE, E.; NEWBOLD, C.J. Shifts in the rumen microbiota due to the type of carbohydrate and level of protein ingested by dairy cattle are associated with changes in rumen fermentation. **Journal Nutrition**, v.142, n.9, p.1684-1692, 2012.

BLUMMEL, M.A.; GIVENS, I.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Preliminary studies on the relationship of microbial efficiencies of roughage *in vitro* and methane production *in vivo*. **Proceedings of the Society of Nutrition Physiology**, v.8, p.76-85, 1999.

COLE, N.A.; TODD, R.W. Opportunities to enhance performance and efficiency through nutrient synchrony in concentrate-fed ruminants. **Journal of Animal Science**, v.86, n.14, p.318-333, 2008.

COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim-marandu. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.1, p.192-199, 2010.

COSTA, K.A.P.; OLIVEIRA, I.P.; FAQUIN, V.; SILVA, G.P.; SEVERIANO, E.C. Produção de massa seca e nutrição nitrogenada de cultivares de *Brachiaria brizantha* (A.Rich) stapf sob doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.6, p.1578-1585, 2009.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C.R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.215-224, 2013.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; SANTOS, F.G.; PARIZ, C.M. Adubação nitrogenada em capins do gênero *Urochloa* implantados em consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.3, p.376-383, 2014.

DE KOCK, G.C. The use of *Opuntia* as a forage source in arid areas of Southern África. In: MONDRAGON, J.C.; PÉREZ, G.S. (Org.). **Cactus (*Opuntia* spp.) as forage**. Roma: FAO, 2001. p.101-105.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; ARAÚJO FILHO, J.T.; SANTOS, M.V.F; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C.; PESSOA, R.A.S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – clone ipa-21. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.129-135, 2010.

DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F; LIRA, M.L; SANTOS, D.S.; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in North-east Brasil. **Journal of Arid Environments**, v.67, n.3, p.357-372, 2006.

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MORAIS, R.V.; MISTURA, C.; VITOR, C.M.T.; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, M.E.R.; LAMBERTUCCI, D.M. Avaliação das características estruturais do capim-braquiária em pastagens adubadas com nitrogênio nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.35, n.1, p.30-37, 2006.

FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P.; RUSSELL, J.B.; AMBURGH, M.E.V.; CHASE, L.E.; PELL, A.N.; OVERTON, T.R. The Cornell net carbohydrate and protein model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, v.112, n.1-4, p.29-78, 2004.

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, n.1-2, p.42-51, 2006.

GUEVARA, J.C.; SUASSUNA, P.; FELKER, P. *Opuntia* forage production systems: status and prospects for rangeland application. **Rangeland Ecology & Management**, v.62, n.5, p.428-434, 2009.

GUSHA, J.; HALIMANI, T.E.; NGONGONI, N.T.; NCUBE, S. Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. **Animal Feed Science and Technology**, v.206, n.6, p.1-7, 2015.

KIEHL, J.C. Nitrogênio: dinâmica e disponibilidade no solo. In: FERNANDES, F.M. (Org.). **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.137-157.

LEO, M.; ABREU, M.B.; PAWLOWSKA, A.; BRACA, A. Profiling the chemical content of *Opuntia ficus-indica* flowers by HPLC–PDA–ESI–MS and GC/EIMS analyses. **Phytochemistry Letters**, v.3, n.1, p.48-52, 2010.

MELO, A.A.S.; FERREIRA, M.A.; VERÁS, A.S.C.; LIRA, M.A.; VILELA, M.S.; MELO, E.O.S.; ARAÚJO, P.R.B. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em dietas para vacas em lactação. I. Desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.3, p.727-736. 2003.

NEFZAOU, A.; LOUHAICHI, M.; BEN SALEM, H. Cactus as a tool mitigate drought and to combat desertification. **Journal of Arid Land Studies**, v.24, n.1, p.121-1244, 2014.

NOBEL, P.S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESE, PIMIENTA-BARRIOS, E. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. FAO/SEBRAE (PB), p.36-48. 2001.

OLIVEIRA, F.T; SOUTO, J.S.; SILVA, R.P.; ANDRADE FILHO, F.C.; PEREIRA JÚNIOR, E.B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, v.5, n.4, p.27-37, 2010.

ØRSKOV, E.R.; McDONALD, J. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, n.2, p.499-503, 1979.

RODRIGUES, M.T.; VIEIRA, R.A.M. Metodologias aplicadas ao fracionamento de alimentos. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Org.). **Nutrição de ruminantes**. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. p. 25-55.

ROTGER, A.; FERRET, A.; CALSAMIGLIA, S.; MANTECA, X. Effects of nonstructural carbohydrates and protein sources on intake, apparent total tract digestibility, and ruminal metabolism in vivo and *in vitro* with high-concentrate beef cattle diets. **Journal of Animal Science**, v.84, n.5, p.1188-1196, 2006.

RUSSELL, B.J.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.J.; VAN SOEST, P.J.; SNIFFEN, C.J. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.

SANTOS, D.C.; ALBUQUERQUE, S.G. *Opuntia* as forage in the semi-arid Northeast of Brazil. In: MONDRAGON, J.C.; PÉREZ, G.S. (Org.). **Cactus (*Opuntia* spp.) as forage**. Roma: FAO, 2001. p.91-99.

SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; ARRUDA, G.P.; COELHO, R.S.B.; DIAS, F.M.; MELO, J.N. **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p.

SANTOS, D.C.; SANTOS, M.V.F.; FARIAS, I.; DIAS, F.M.; LIRA, M.A. Desempenho produtivo de vacas 5/8 holando/zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.12-17, 2001.

SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; FARIAS, I.; BURITY, H.A.; NASCIMENTO, M.M.A.; SANTOS, D.C.; TAVARES FILHO, J.J. Estudo comparativo das cultivares de palma forrageira gigante, redonda (*Opuntia ficus-indica* Mill) e miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dick) na produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.19, n.6, p.504-511, 1990.

- SCHIAVINATTI, A.F.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C.G.S.; PARIZ, C.M.; LODO, B.N.; BUZETTI, S. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, v.70, n.4, p.925-930, 2011.
- SILVA, C.C.F.; SANTOS, L.C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v.7, n.10, p.1-13, 2006.
- SILVA, J.A.; BONOMO, P.; DONATO, S.L.R.; PIRES, A.J.V.; SILVA, F.F.; DONATO, P.E.R. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações químicas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.2, p.342-350, 2013.
- SILVA, L.M.; FAGUNDES, J.L.; VIEGAS, P.A.A.; MUNIZ, E.N.; RANGEL, J.H.A.; MOREIRA, A.L.; BACKES, A.A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014.
- SHETTY, A.A.; RANA, M.K.; PREETHAM, S.P. Cactus: a medicinal food. **Journal of Food Science and Technology**, v.49, n.5, p.530-536, 2012.
- SIQUEIRA, M.C.B.; FERREIRA, M.A.; MONNERAL, J.P.I.S.; SILVA, J.L.; COSTA, C.T.F.; CONCEIÇÃO, M.G.; ANDRADE, R.P.X.; BARROS, L.J.A.; MELO, T.T.B. Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. **Animal Feed Science and Technology**, dezembro, 2016.
- SNNIFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSEL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and Protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.
- SOARES, A. P. M. **Ajuste do modelo de Orskov e McDonald (1979) a dados de degradação ruminal *in situ* utilizando mínimos quadrados ponderados**. 2007. 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.



SOARES FILHO, C.V.; CECATO, U.; RIBEIRO, O.L.; ROMA, C.F.C.; BELONI, T. Ammonia volatilization losses in Tanzânia Grass fertilized with urea. **Revista Brasileira de Produção Animal**, v.16, n.1, p.253-264, 2015.

SOUZA, E.J.; GUIM, A.; BATISTA, A.M.V.; SANTOS, K.L.; SILVA, J.R.; MORAIS, N.A.P.; MUSTAFA, A. Effects of soybean hulls inclusion on intake, total tract nutrient utilization and ruminal fermentation of goats fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill) based diets. **Small Ruminant Research**, v.85, n.1, p.63-69, 2009.

SOUZA FILHO, P.F.; RIBEIRO, V.T.; SANTOS, E.S.; MACEDO, G.R. Simultaneous saccharification and fermentation of cactus pear biomass – evaluation of using different pretreatments. **Industrial Crops and Products**, v.89, n.3, p.425 – 433, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; RUSSEL, J.B. Accounting for the effects of a ruminal nitrogen deficiency within structure of the cornell net carbohydrate and protein system. **Journal of Animal Science**, v.78, n.6, p.1648-1658, 2000.

TOSTO, M.S.L.; ARAÚJO, G.G.L.; OLIVEIRA, R.L.; BAGALDO, A.R.; DANTAS, F.R.; MENEZES, D.R.; CHAGAS, E.C. O. Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.8, n.3, p.239-249, 2007.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca, New York: Cornell University, 1994. 476p.

VASCONCELOS, A.G.V.; LIRA, M.A.; CAVALCANTI, V.L.B.; SANTOS, M.V.F.; WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.5, p.827-831, 2009.

VIEIRA, E.L.; BATISTA, A.M.V.; GUIM, A.; CARVALHO, F.F.; NASCIMENTO, A.C.; ARAÚJO, R.F.S.; MUSTAFA, A.F. 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 Feed Science and Technology**, v.141, n.3-4, p.199-208, 2008.

YANG, J.Y.; SEO, J.; KIM, H.J.; SEO, S.; HA, J.K. Nutrient synchrony: is it a suitable strategy to improve nitrogen utilization and animal performance. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v.23, n.7, p.972-979, 2010.

YU, P.; HART, K.; DU, L. An investigation of carbohydrate and protein degradation ratios, nitrogen to energy synchronization and hourly effective rumen digestion of barley: effect of variety and growth year. **Journal Animal of Physiology and Animal Nutrition**, v.93, n.5, p.555–567, 2008.

## CAPÍTULO I

**Ruminal degradability and fractions of carbohydrates and nitrogenous compounds  
of forage cactus subjected to nitrogen fertilization**

**ABSTRACT**

Degradability assay was performed of dry matter and crude protein in the rumen, and carbohydrates and nitrogenous compounds fractionation was performed of grass forage cactus fertilized with different doses of nitrogen. Forage cactus cultivation was fertilized with the doses of N0, 100, 200, 300, 400, 500 and 600 kg/ha/year, in the form of  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , every 90 days, during 12 months. There was a significant effect on the chemical composition, with linear increase on the content of crude protein, acid detergent fiber, cellulose and lignin, and decreasing linear effect on the content of dry matter, hemicellulose, total carbohydrates, non-fibrous carbohydrates, insoluble nitrogen in neutral detergent (NDIN) and acid (ADIN). The fractions of nitrogenous compounds A and B2 were influenced exponentially, and the fraction C of carbohydrates increased linearly. The degradation of crude protein content increased as the doses of nitrogen fertilizer were increased in the forage cactus cultivation. The dose 200 kg N/ha improves the nutritive value of the forage cactus.

**Key words:** carbohydrates fractionation, chemical composition, degradation in the rumen, nitrogenous compounds fractionation

## INTRODUCTION

Forage cactus consists of an important source of forage, due to being able to produce more than 10 tons of dry matter/ha, besides presenting resistance to dry period, with values of dry matter per unit area over several plants of cycle C3 and C4, under arid or semi-arid regions conditions (Andrade-Montemayor et al., 2011). It is worthwhile being highlighted as a basis for the ruminants' feeding in the Brazilian semiarid, because of its energy value, high dry matter digestibility and compliance with a large part of the animals' water need (Costa et al., 2012).

Forage cactus has low protein content, with a share associated with the cell wall, which is least available part of the plant (Andrade-Montemayor et al., 2011), however it has high digestibility and is rich in non-fibrous carbohydrates and calcium (Gebremariam et al., 2006). Nitrogen fertilization can promote improvement in its nutritional value, due to the increase in the nitrogen contribution in the plant and consequent increase in the culture protein content (Dubeux et al., 2006).

The soil nitrogen increase can influence the carbohydrates and protein fractions of the forage cactus and result in improvement in the nutritive value, by promoting an increase in the true and intermediary degradation protein content and reduction of the undegradable protein content (Silva et al., 2013). However, the fertilization can accelerate the forage plants growth and promote fibrous fraction increase proportionally to the physical structure, with an increase of senescence (Campos et al., 2016).

It is unquestionable the importance of the use of cactus in ruminant feed in the world, however data concerning the fractions of carbohydrates and proteins, as well as their degradability in the rumen are limited, which makes it necessary to establish data concerning the nutritional value to ensure the efficient use of this food by the ruminants (Batista et al., 2003). In this sense, the objective of this research was to evaluate how

fertilization influences the chemical composition, carbohydrates and nitrogenous compounds fractions and ruminal degradation of dry matter and crude protein of the forage cactus.

## MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out at the Department of Animal Science of the Center for Agrarian Sciences of the Federal University of Piauí (UFPI), in Teresina-PI, at latitude 05°05'21" South, longitude 42°48'07" West and 74.4 m altitude, with average annual precipitation 1,332 mm and mean annual temperature 27.7°C. The ethical protocols for research were adopted, with prior submission of a research project to the Ethics Committee on Animal Use (CEUA) UFPI, with protocol at CEUA/UFPI N 219/16.

The forage cactus was implanted with miúda cultivar (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), in July 2014, and drip irrigated every seven days, during the rain shortage period. The soil went to 0 to 30 cm depth, before the cultivation, for chemical and physical analysis (Table 1), carried out in the Laboratory of Soil Analysis of xxxx, and foundation fertilization with 140 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha /ha and 160 kg of K<sub>2</sub>O/ha.

The area was prepared and furrowed in planting spacing. Immediately after the plantation the broadcast application of nitrogen fertilization was started, in the form of (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and every 90 days, resulting in four fertilizations during the experiment.

Table 1–Chemical and physical properties of soil cultivated with forage cactus

Parameters	Unit	Means
Ph	-	5.50
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	0.20
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	0.10
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	0.20
K	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	0.12

H + Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	3.70
Sum base	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	0.43
CTC	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	4.00
Aluminum Saturation	(%)	32.00
Basis Saturation*	(%)	10.00
P – Mehlich <sup>-1</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	2.40
Textural Class		Yellow latosol

\* 2.2 t/ha of dolomitic limestone were applied to increase the basis saturation from 10 to 60%

The experimental design was in randomized blocks with seven treatments, corresponding to nitrogen fertilization level with (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in the proportions 0, 100, 200, 300, 400, 500 and 600 kg N/ha/year and four replications (blocks). The total area of each plot was 9 m<sup>2</sup> (3 x 3m), with useful area 2 m<sup>2</sup> (2 x 1m).

The samples were collected manually, 12 months after planting, with the aid of a knife, to preserve the mother plant and the primary cladode. The samples were packed in raffia bags and stored at -15°C. After thawed, the cladodes were chopped to particles of 2 cm and packaged in aluminum trays, weighed and pre-dried in an oven with forced ventilation at 55±5°C, for 72 hours. After pre-drying, the samples were weighed and ground in *Willey* type mill, with a 2-mm sieve of diameter and stored in plastic container.

The content of dry matter (DM) was determined (method 930.15), and on the basis of DM, ash (method 942.05), crude protein (CP) (method 984.13), ether extract (EE) (method 920.39), and in the percentage of total nitrogen, the insoluble nitrogen contents in neutral detergent (NDIN) (method 984.13) and insoluble nitrogen in acid detergent (ADIN) (method 984.13), according to AOAC (2000). The contents of neutral detergent fiber (NDFap), acid detergent fiber (ADFap) corrected for ash and protein, and cellulose, hemicellulose and lignin (LIG), were determined according to the method of Van Soest et al. (1991), adapted to autoclave (0.5 atm/1h) with the use of TNT bags

with 100  $\mu\text{m}$  porosity (Valente et al., 2011). The total carbohydrates (CHT) were estimated by the expression  $\text{TCH} = 100 - (\% \text{CP} + \% \text{EE} + \% \text{ash})$ . The fibrous carbohydrates (CF) were obtained as corrected NDF for ash and protein (NDFap) and the non-fibrous (NFC), which correspond to the fractions A+B1, by the difference between total carbohydrates and NDFap. The fraction B2 (available fiber) resulted from the difference between NDFap and indigestible fiber fraction (C). The C fraction was estimated by multiplying the percentage of lignin by factor 2.4 (Sniffen et al., 1992).

For the fractionation of nitrogenous compounds, the sample treatment was performed with trichloroacetic acid (TCA) to 10% and the residue was obtained after filtration in quantitative filter paper (Quant JP41), and the residual N determined by the Kjeldahl method. Fraction A (non-protein nitrogen, NNH) was determined by the difference between the total nitrogen (NT) and insoluble N in TCA (P.A. et al., 1996).

The total insoluble nitrogen was determined by the sample treatment in borate-phosphate buffer (TBF). Then, the residue was filtered in quantitative filter paper (Quant JP41) and the residual N determined by the Kjeldahl method. The difference between NT and insoluble nitrogen in TBF, was obtained from the total soluble nitrogen (NNH + soluble protein), which was deducted from the fraction to obtain the fraction B1 (soluble protein). The fraction B3 (slow enzymatic degradation) was determined by measuring the content of CP in the NDF, subtracted from the content of PB associated with ADF. Fraction C (undegradable protein) consisted of ADIN, and fraction B2 (intermediate degradation) was determined by the difference between the total nitrogen and the sum of fractions A, B1, B3 and C (Licitra et al., 1996).

The dry matter degradability (DM) and crude protein (CP) was measured *in situ* using an adult bovine with rumen fistulae, according to Tomich and Sampaio (2004). The samples were incubated in nylon bags measuring 8x12 cm, with porosity 50  $\mu\text{m}$ .



The bags were dried in an oven with forced ventilation at  $55\pm 5^{\circ}\text{C}$  and weighted, adding to the same 4.0 g of sample/bag (Nocek, 1988), closing them with nylon clamps, covered by latex alloys, after weighing the sample set (Bag + sample + clip).

Incubation was performed during 3, 6, 24 and 72 h, to obtain the points that define the degradation curve (Sampaio, 1988), in decreasing order of time, enabling simultaneous removal of all bags from the ruminal environment. Following removal from the rumen, the bags were immersed in a bowl with water and ice to stop the fermentation process, washed in the washing machine, until the water was clear (Makkar, 1999) and were pre-dried in an oven with forced ventilation at  $55\pm 5^{\circ}\text{C}$  for 72 hours. The non-degraded and insoluble residue was analyzed as to the contents of DM (method 930.15) and CP (method 984.13 (AOAC, 2000)).

The readily soluble fraction in water was determined according to the procedures described by Makkar (1999), immersing the bags containing samples equivalent to those used in the incubation in a water bath at  $39^{\circ}\text{C}$  for 1 hour. Then the bags were washed along with the erupted bags from the rumen, this fraction corresponds to the food soluble portion plus the particles that escaped through the bags pores.

The *in situ* degradation parameters ( $a$ ,  $b$  and  $c$ ) and the potential degradability of DM and CP were obtained by the exponential model, proposed by Ørskov And McDonald (1979), adopting the Gauss-Newton method and using the non-linear models procedure (PROC NLIN of SAS (2000):  $DP = A - B \cdot e^{-c \cdot t}$ , where, DP=actual percentage of degraded nutrient after  $t$  hour of incubation in the rumen;  $A$  = maximum material degradation in the nylon bag;  $B$  = potentially degradable fraction of material that remains in the nylon bag after time zero;  $c$  = degradation rate of the remaining fraction in the nylon bag after time zero;  $t$  = time of incubation.

The effective degradability (ED) of DM and CP in the rumen was estimated for the passage rates 2, 5 and 8%h<sup>-1</sup> (AFRC, 1993), by the equation proposed by Ørskov and McDonald (1979):  $ED = a + [(b \cdot c) / (c + k)]$ , where, a= soluble fraction, rapidly degraded; b= insoluble fraction, slowly degraded; c= fractional degradation rate of b; k= passage rate.

The chemical composition data and the fractions of carbohydrates and nitrogenous compounds of forage cactus in function of fertilization were subjected to regression analysis (PROC REG), using the SAS statistical software (2000).

The *in situ* degradation was analyzed by adopting the randomized blocks with subdivided plots, in which the nitrogen doses represent the plots and the incubation times, the subplots.

## RESULTS

The fertilization with increasing doses of N resulted in lower ( $P < 0.05$ ) content of DM in the cladodes of forage cactus (Table 2) and increased ( $P < 0.05$ ) the content of CP (Table 2) in the proportion of 0.03% for each kg of applied N. Nitrogen fertilization influenced ( $P < 0.05$ ) the concentrations of structural and non-fibrous carbohydrates of forage cactus (Table 2).

There was a reduction ( $P < 0.05$ ) of the TCH content with the increase in the doses of N, and increase ( $P < 0.05$ ) in the content of ADF<sub>ap</sub>, composed of cellulose and lignin. The increase in the N doses resulted in lower ( $P < 0.05$ ) content of NFC (Table 2) and reduction ( $P < 0.05$ ) levels of NDIN<sub>NT</sub> and ADIN<sub>NT</sub> in grass forage cactus (Table 2).

Table 2 – Chemical composition of forage cactus fertilized with Nitrogen

Constituents	Nitrogen doses (kg/ha/year)						
	0	100	200	300	400	500	600
Dry matter (%)	89.96	88.86	88.36	87.68	86.61	85.97	85.78

	% MS						
Ash	15.95	12.85	14.13	15.38	15.65	14.32	13.67
Crude protein	6.55	7.74	11.00	15.61	16.02	18.24	18.19
Ether extract	1.60	1.63	1.63	1.76	1.65	1.79	1.83
NDFap <sup>a</sup>	21.26	20.36	21.16	19.59	20.29	19.75	19.84
ADFap <sup>b</sup>	12.61	13.07	15.82	16.04	16.73	17.08	18.13
Hemicellulose	8.65	7.29	5.34	3.55	3.56	2.67	1.71
Cellulose	11.79	12.21	14.54	14.75	15.40	15.74	16.70
TCH <sup>c</sup>	75.90	77.78	73.24	67.25	66.68	65.64	66.31
Lignin	0.82	0.86	1.28	1.29	1.33	1.34	1.43
NFC <sup>d</sup>	54.64	57.42	52.08	47.66	46.38	45.88	46.47
	% do NT						
NDIN <sup>e</sup>	17.04	12.94	10.55	10.04	9.69	7.84	6.40
ADIN <sup>f</sup>	9.05	6.35	7.07	4.94	4.31	3.57	3.29

<sup>a</sup>Neutral detergent fiber corrected to as hand protein; <sup>b</sup>Acid detergent fiber corrected to as hand protein; <sup>c</sup>Total carbohydrates; <sup>d</sup>Non-fibrous carbohydrates; <sup>e</sup>Neutral detergent insoluble nitrogen; <sup>f</sup>Acid detergent insoluble nitrogen.

$$Y_{DM} = 89.9198 - 0.0092X; R^2 = 0.83; P < 0.0013$$

$$Y_{CP} = 5.5888 + 0.0371X; R^2 = 0.84; P < 0.0002$$

$$Y_{ADFap} = 12.4086 + 0.0145X; R^2 = 0.77; P < 0.0008$$

$$Y_{HCEL} = 8.5578 - 0.0211X; R^2 = 0.72; P < 0.0006$$

$$Y_{CEL} = 11.4289 + 0.0139X; R^2 = 0.72; P < 0.0007$$

$$Y_{TCH} = 77.2334 - 0.0297X; R^2 = 0.79; P < 0.0001$$

$$Y_{LIG} = 0.7878 + 0.0021X; R^2 = 0.75; P < 0.0020$$

$$Y_{NFC} = 56.3343 - 0.0332X; R^2 = 0.72; P < 0.0006$$

$$Y_{NDIN} = 16.2877 - 0.0274X; R^2 = 0.82; P < 0.0001$$

$$Y_{ADIN} = 8.7027 - 0.0152X; R^2 = 0.83; P < 0.0006$$

Nitrogen fertilization resulted in an exponential increase ( $P < 0.05$ ) of the protein and linear fractions A and B2 (0.008%/kg N/ha) of the C fraction of carbohydrates (Table 3). Grass forage cactus subjected to nitrogen fertilization presented a higher

proportion of NNP among the fractions of nitrogenous compounds (Table 3), with an increase of 0.10% in the NNP content per kg of N/ha, which enhances the ammonia availability to the fermentation process in the rumen environment.

As a strategy to increase the microbial protein synthesis, the ratio 25 g N/kg of TCH was adopted as a reference, described by Tamminga et al. (1990), aiming at synchronism of protein/energy ratio in the rumen. In this sense, the dose of 200 kg/ha/year is the most indicated for the forage cactus fertilization, due to enabling the ratio 17.6 g N/732.4 g of TCH, with sufficient substrate for microbial growth and improved efficiency of fermentation in the rumen environment.

Table 3 – Carbohydrate and nitrogen fractions of forage cactus fertilized with Nitrogen

Fractions	Nitrogen doses (kg/ha/year)						
	0	100	200	300	400	500	600
<i>Carbohydrate fractions (%TCH)</i>							
A +B1	71.99	73.82	71.11	70.87	69.57	69.91	70.08
B2	25.44	23.53	24.70	24.55	25.65	25.18	24.76
C	2.57	2.65	4.19	4.58	4.78	4.91	5.16
<i>Nitrogen fractions (%TN)</i>							
A	28.32	36.51	45.41	52.18	51.43	52.91	52.98
B1	6.67	6.55	4.56	6.59	7.38	7.56	7.89
B2	55.30	49.67	42.50	34.55	35.19	34.59	34.72
B3	0.66	0.92	0.46	1.74	1.69	1.37	1.12
C	9.05	6.35	7.07	4.94	4.31	3.57	3.29

$$Y_A = 28.7642 + 0.1024(1 - e^{-0.0001X}); R^2 = 0.83; P < 0.0002$$

$$Y_{B2} = 56.3968 - 0.1002(1 - e^{-0.0001X}); R^2 = 0.81; P < 0.0002$$

$$Y_{C/TCH} = 2.3880 + 0.0081X; R^2 = 0.76; P < 0.0004$$

$$Y_{C/TN} = 8.7027 - 0.0152X; R^2 = 0.83; P < 0.0006$$

The soluble fraction (fraction *a*) of DM remained stable with nitrogen fertilization (Table 4), while the potentially degradable fraction (*b*) and the potential degradation (DP) were relatively smaller when there was the fertilization with 600 kg N/ha/year.

Nitrogen fertilization resulted in increased degradation of CP (Table 4) and in a greater proportion of the soluble fraction of nitrogenous compounds (fraction *a*), due to the increase in the proportion of NNP (Table 3), important for micro-organisms fermenters of fibrous carbohydrates, due to the ammonia availability in the rumen. However, the dose 600 kg N/ha/year resulted in lower effective degradation of CP and lower availability of soluble constituents (fraction *a*), indicating not to be necessary to increase so much the dose of N fertilization of cactus forage culture.

Table 4 - Soluble (*a*) and potential (*b*) fraction, degradation rate (*c*) and potential (PD) and effective (ED) degradability of dry matter and crude protein of forage cactus fertilized with Nitrogen

N doses (kg N/ha/year)	a (%)	b (%)	c (%h <sup>-1</sup> )	PD (%)	ED			R <sup>2</sup>
					2%h <sup>-1</sup>	5%h <sup>-1</sup>	8%h <sup>-1</sup>	
<i>Dry matter degradability</i>								
0	28.61	39.87	4.82	68.48	56.79	48.18	43.60	0.96
100	30.21	40.43	4.31	70.64	57.83	48.93	44.37	0.99
200	31.65	40.16	4.93	71.81	60.22	51.59	46.96	0.94
300	29.76	38.53	6.00	68.29	58.66	50.78	46.27	0.99
400	28.00	39.75	5.53	67.75	57.19	48.88	44.25	0.98
500	30.73	39.23	4.50	69.96	55.69	46.88	42.67	0.97
600	30.67	34.01	5.02	64.68	56.20	49.25	45.27	0.98
<i>Crude protein degradability</i>								
0	42.65	41.10	3.70	83.75	69.33	60.13	55.65	0.97
100	55.10	32.94	4.66	88.04	78.15	70.99	67.22	0.99
200	60.22	29.69	5.57	89.91	85.12	80.26	76.99	0.98
300	72.24	20.90	6.85	93.14	88.42	84.32	81.88	0.99
400	66.38	25.94	4.95	92.32	84.86	79.28	76.30	0.99
500	75.17	20.38	3.32	95.55	87.89	83.30	81.15	0.98
600	63.40	28.40	5.97	91.80	84.67	78.86	75.54	0.99

The potential degradation (DP) and effective (DE) of CP of cactus forage was high and increased as a function of N doses, except for 600 kg N/ha/year. Thus, the increase in the proportion of soluble nitrogen compounds of cactus forage with nitrogen fertilization improves the fraction of protein utilization, due to its greater solubility in the rumen.

## DISCUSSION

The higher concentration of N in the soil favors the vegetation growth, which favors the emergence of new cladodes, with a smaller proportion of structural tissues, with thick cell wall and lower DM content. Due to the photosynthetic metabolism, the forage cactus has difficulty obtaining carbon, and its assimilates partitioning favors the formation of a support network and well developed xylem instead of a developed and massive wood, which results in low DM content (Donato et al., 2014).

The fertilization induces an increase in the moisture content in plant cells (Campos et al., 2013), which favors the new tissue growth. In addition, the variety 'miúda' is more efficient in the use of sodium available in the soil in relation to other varieties of the genus *Nopalea*, with great importance in stomatal activity, which provides greater water use efficiency (Silva et al., 2014), resulting in higher moisture content in the cladode and consequently reduction in DM content.

The forage of forage cactus is considered as low protein value, with an average content of CP 5.48% (Torres et al., 2009), 5.06% (Tegegne et al., 2007), and 10.7% with organic fertilization (Donato et al., 2014). Thus, nitrogen fertilization of forage cactus aims at correcting the CP content, considering that the protein value of this cactus, when not fertilized, is less than the minimum recommended by Van Soest (1994) for adequate microbial activity in the rumen (7% in DM).

The cultures fertilization with increasing doses of N favors the forage CP content increase (Silva et al., 2015). N is absorbed by the forage cactus in the form of nitrate, and are available in the Cladodes in the organic form, with nutritional value improvement. N present in the plant is essential to the molecules formation of amino acids, proteins, nucleic acids, hormones and chlorophyll (Barros et al., 2016), which are essential to the metabolism and the plant tissue formation. In addition, phosphorus stimulates the ATP synthesis for N assimilation in amino acids and consequent protein synthesis (Silva et al., 2013). In this study, P was made available to the culture by top-dressing fertilization.

The reduction ( $P<0.05$ ) of the TCH content with the increase in N doses was similar to those obtained by Donato et al. (2014), with a decrease of 3.8% in the TCH content with organic fertilization, and by Silva et al. (2013), with a decrease of 6.1% when the chemical fertilization (NPK). The reduction provided by nitrogen fertilization of 9.6% in the TCH content was higher than that recorded in the surveys aforementioned, which relates to higher applied doses of N.

The decrease of TCH, which includes sugars, starch and fiber, is associated with the plant growth, with the emergence of new cladodes, represented by more tender tissues and with a lower proportion of structural carbohydrates. Despite the decrease in the TCH and hemicellulose content, there was an increase ( $P<0.05$ ) in ADFap content, composed of cellulose and lignin, which may have resulted from the acceleration of cladodes maturity due to the great contribution of N. The N supply in high doses, together with the favorable conditions, can accelerate the plant's maturity and senescence, limiting the beneficial effect of nitrogen fertilization in the ADF content (Vitor et al., 2009).

The increase in ADFap content is similar to that obtained by Barros et al. (2016), with addition of 31.2% upon organic fertilization of forage cactus with  $90 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  of manure with  $5.2 \text{ g N/kg}^{-1}$  of manure, low dose compared to the ones used in this study (up to  $600 \text{ kg N/ha}$ ).

The increase of 0.01% in the ADF content per  $\text{kg N/ha}$  in the form of  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  indicates that the increase in the growth rate of forage cactus in function of nitrogen leads to an increase of less available fibrous constituents to ruminants. The increase in the cellulose and lignin levels with nitrogen fertilization influences the structural arrangement of the plant tissues to support the biomass accumulation (Campos et al., 2013). The biomass increase and fibrous fraction accumulation in tropical forage in function of nitrogen fertilization is quite consolidated (Lemus et al., 2008; Heggenstaller et al., 2009).

The increase in the proportion of fibrous constituents due to high doses of nitrogen, also relates to the high NNP content (fraction A) assimilated by the culture (Table 3), even with a reduction in the N content adhered to the cell wall (Table 2). However, even in low concentration, N can join to the lignocellulose fraction (ADF). Although the increase of the cell wall constituents is associated with lower nutritive value of the forage for the ruminants, this effect starts to represent an advantage when the food has low fiber content and requires an association to a supplementary source of fiber to prevent metabolic disorders (Vieira et al., 2008), as recommended for use of forage cactus.

The reduction in NFC content is related to the use of soluble carbohydrates in the metabolism for the cell wall synthesis, with drainage of cytoplasmic nutrients (Campos et al., 2013), resulting in lower NFC content, used for the fiber synthesis during the intense forage growth.



The nitrogen fertilization induces to a higher content of nitrogenous compounds in plant cells (Campos et al., 2013), and favors the new tissues formation, with lower N content associated with the cell wall, which is a benefit from a nutritional point of view. ADIN concentration in forages correlates negatively with the protein digestibility, which derives from the association of N to lignin, formation of tannin-protein complexes and occurrence of Maillard reaction products, which are highly resistant to microbial degradation (Donato et al., 2014).

The fraction of carbohydrates A+B1 was not influenced by nitrogen fertilization. This fraction of the cladodes of forage cactus favors the fermentation and growth of the microbial population in the rumen and reduces the nitrogen urinary excretion. However, diets with high content of non-fibrous carbohydrates can result in lower microbial protein synthesis in the rumen, probably due to the inefficiency of microorganisms, which direct the excess of ATP for functions of maintenance and carbohydrates synthesis (Hackmann and Firkins, 2015). The synchronism of TCH and CP degradation in the rumen environment improves the N capture efficiency and the use of ATP, and increases the microbial protein synthesis (Richardson et al., 2003).

The dose of 200 kg/ha/year is the most indicated for the forage cactus fertilization, due to enabling the ratio 17.6 g N/732.4 g of TCH, with sufficient substrate for microbial growth and improved efficiency of fermentation in the rumen environment. The energy supply originated from NFC, with rapid degradation rate, enables efficient incorporation of peptides and free amino acids and ammoniacal N in the microbial cells and increases the microbial protein synthesis (Seo et al., 2013).

The soluble fraction (fraction *a*) of DM remained stable with nitrogen fertilization (Table 4), while the potentially degradable fraction (*b*) and the potential degradation (DP) were relatively smaller upon the fertilization with 600 kg N/ha/year. Similar result

to fraction *a* was obtained by Batista et al. (2009), however, the degradation of fraction *b* (57.3%), the degradation rate (10.9%) and the effective degradation to the passage rate of 5%/h (71.1%) were higher than those obtained in this study (Table 4). The increase in the ADF proportion (Table 2) in the cladodes of cactus forage with nitrogen fertilization may have contributed to reduce the DM degradation rate and its fermentation in the rumen.

The increase in the undegradable fiber content (fraction C) in the cladodes of cactus forage harvester with the increase in the N dose (Table 3) may have contributed to lower use of this substrate by the rumen microorganisms. The fertilization dose 200 kg of N/ha/year, besides contributing to the synchronism of the CP and TCH fractions, favors the DM degradation in the rumen.

The DM degradability of the forage cactus was high, which favors its fermentation in the rumen (Siqueira et al., 2016), and is justified by the high content of NFC and low lignin content of this cactus (Batista et al., 2009).

Food with a high proportion of soluble nitrogen compounds, with high degradation rate in the rumen, should be associated with sources of carbohydrates of rapid degradation to provide efficient microbial synthesis (Berthiaume et al., 2010). Thus, the increase in the CP content of rapid degradation upon the nitrogen fertilization and its corresponding use by the microorganisms of the rumen environment is satisfactory to provide N to meet the microorganisms requirements and consequently of ruminants.

## CONCLUSIONS

The nitrogen fertilization with 200 kg N/ha/year improves the nutritive value of the forage cactus (*Nopalea cochennillifera* Salm Dyck), with an increase in the CP content and the CP degradation rate, with reduction in N unavailable in the plant and microbial synthesis efficiency originated in the ratio N/energy in the rumen environment.

## REFERENCES

- AFRC - Agricultural and Food Research Council. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. AFRC. Wallingford, UK.
- Andrade-Montemayor, H.M.; Cordova-Torres, A.V.; García-Gasca, T. and Kawas, J.R. 2011. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* spp.) and Nopal (*Opuntia* spp.). *Small Ruminant Research* 98:83-92.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemist. 2000. Official methods of analysis. 17<sup>th</sup> ed. AOAC. Gaithersburg, MD, USA.
- Barros, J. L.; Donato, S. L. R.; Gomes, V. M.; Donato, P. E. R.; Silva, J. A. and Padilha Júnior, M. C. 2016. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. *Revista Agrotecnologia* 7:53-65.
- Batista, A. M. V.; Mustafa, A. F.; McAllister, T.; Wang, Y.; Soita, H. and McKinnon, J. J. 2003. Effects of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83:440-445.
- Batista, A. M. V.; Ribeiro Neto, A. C.; Lucena, R. B.; Santos, D. C.; Dubeux Jr., J. B. and Mustafa, A. F. 2009. Chemical composition and ruminal degradability of spineless cactus grown in Northeastern Brazil. *Rangeland Ecology Management* 62:297-301.
- Berthiaume, R.; Benchaar, C.; Chaves, A. V.; Tremblay, G. F.; Castonguay, Y.; Bertrand, A.; Bélanger, G.; Michaud, R.; Lafrenière, C.; McAllister, T. A. and Brito, A. F. 2010. Effects of nonstructural carbohydrate concentration in alfalfa on fermentation and microbial protein synthesis in continuous culture. *Journal of Dairy Science* 93:693-700.
- Campos, F. P.; Nicácio, D. R. O.; Sarmiento, P.; Cruz, M. C. P.; Santos, T. M.; Faria, A. F. G.; Ferreira, M. E.; Conceição, M. R. G. and Lima, C. G. 2016. Chemical composition and *in vitro* ruminal digestibility of hand-plucked samples of Xaraes palisade grass fertilized with incremental levels of nitrogen. *Animal Feed Science and Technology* 215:1-12.
- Campos, F. P.; Sarmiento, P.; Nussio, L. G.; Lugão, S. M. B.; Lima, C. G. and Daniel, J. L. P. 2013. Fiber monosaccharides and digestibility of Milenio grass under N fertilization. *Animal Feed Science and Technology* 183:17-21.
- Costa, R. G.; Treviño, I. H.; Medeiros, G. R.; Medeiros, A. N.; Pinto, T. F. and Oliveira, R. L. 2012. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficusindica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. *Small Ruminant Research* 102:13-17.
- Donato, P. E. R.; Pires, A. J. V.; Donato, S. L. R.; Silva, J. A. and Aquino, A. A. 2014. Valor nutritivo da palma forrageira ‘gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. *Revista Caatinga* 27:163-172.
- Dubeux Jr., J. C. B.; Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Santos, D. C.; Farias, I.; Lima, L. E. and Ferreira, R. L. C. 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica*(L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in North-east Brazil. *Journal of Arid Environments* 67:357-372.
- Gebremariam, T.; Melaku, S. and Yami, A. 2006. 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* 131:42-51.
- Hackmann, T. J. and Firkins, J. L. 2015. Maximizing efficiency of rumen microbial protein production. *Frontiers in Microbiology* 6:1-16.

- Heggenstaller, A. H.; Moore, K. J.; Liebman, M. and Anex, R. P. 2009. Nitrogen influences biomass and nutrient partitioning by perennial, warm-season grasses. *Agronomy Journal* 101:1363-1371.
- Lemus, R.; Parrish, D. J. and Abaye, O. 2008. Nitrogen-use dynamics in switchgrass grown for biomass. *Bioenergy Research* 153-162.
- Licitra, G.; Hernandez, T. M. and Van Soest, P. J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 57:347-358.
- Makkar, H. P. S. 1999. Recommendation for quality control of in sacco nylon bag technique. 3p. In: Proceedings of the first research coordination meeting of the FAO/IAEA coordinated research project food and agriculture organization of the united nations for use of nuclear and related techniques to develop simple tannin assays for predicting and improving the safety and efficiency of feeding ruminants on tanniniferous tree. Food and Agriculture Organization - International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria.
- Nocek, J. E. 1988. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A review. *Journal of Dairy Science* 71:2051-2069.
- Ørskov, E. R. and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science* 92:499-503.
- Richardson, J. M.; Wilkinson, R. G. and Sinclair, L. A. 2003. Synchrony of nutrient supply to the rumen and dietary energy source and their effects on the growth and metabolism of lambs. *Journal of Animal Science* 81:1332-1347.
- Sampaio, I. B. M. 1988. Experimental designs and modeling techniques in the study of roughage degradation in rumen and growth of ruminants. Thesis (D.Sc.). University of Reading, Reading, Berkshire, UK.
- Seo, J. K.; Kim, M. H.; Yang, J. Y.; Kim, H. J.; Lee, C. H.; Kim, K. H. and Ha, J. K. 2013. Effects of synchronicity of carbohydrate and protein degradation on rumen fermentation characteristics and microbial protein synthesis. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 26:358-365.
- Silva, J. A.; Bonomo, P.; Donato, S. L. R.; Pires, A. J. V.; Silva, F. F. and Donato, P. E. R. 2013. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações químicas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 8:342-350.
- Silva, P. T. D.; Silva, F. B.; Morais, C. R. and Sousa, F. A. 2015. Avaliação do teor de proteína bruta de pastagem consorciada submetida a diferentes fontes de adubação nitrogenada. *Getec* 4:41-51.
- Silva, T. G. F.; Primo, J. T. A.; Silva, S. M. S.; Moura, M. S. B.; Santos, D. C.; Silva, M. C. and Araújo, J. E. M. 2014. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido brasileiro. *Bragantia* 73:184-191.
- Siqueira, M. C. B.; Ferreira, M. A.; Monnerat, J. P. I. S.; Silva, J. L.; Costa, C. T. F.; Conceição, M. G.; Andrade, R. P. X.; Barros, L. J. A. and Melo, T. T. B. 2016. Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. *Animal Feed Science and Technology* 226:56-64.
- Sniffen, C. J.; O'Connor, J. D.; Van Soest, P. J.; Fox, D. G. and Russell, J. B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science* 70:3562-3577.

- Tamminga, S.; Vuuren, A. M. V.; Van Koelen, C. J.; Ketelaar, R. S. and Van Der Togt, P. L. V. 1990. Ruminal behavior of structural carbohydrates, non-structural carbohydrates and crude protein from concentrate ingredients in dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38:513-526.
- Tegegne, F.; Kijora, C. and Peters, K.J. 2007. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research* 72:157-164.
- Tomich, T. R. and Sampaio, I. B. M. 2004. A new strategy for the determination of forage degradability with an *in situ* technique through the use of one fistulated ruminant. *Journal of Agricultural Science* 142:589-593.
- Torres, L. C. L.; Ferreira, M. A.; Guim, A.; Vilela, M. S.; Guimarães, A. V. and Silva, E. C. 2009. Substituição da palma-gigante por palma-miúda em dietas para bovinos em crescimento e avaliação de indicadores internos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38:2264-2269.
- Valente, T. N. P.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Sampaio, C. B. and Gomes, D. I. 2011. Avaliação dos teores de fibra em detergente neutro em forragens, concentrados e fezes bovinas moídas em diferentes tamanhos e em sacos de diferentes tecidos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40:1148-1154.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.
- Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2<sup>nd</sup> ed. Ithaca, New York.
- Vieira, E. L.; Batista, Â. M. V.; Guim, A.; Carvalho, F. F.; Nascimento, A. C.; Araújo, R. F. S.; Mustafa, A. F. 2008. 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 Feed Science and Technology* 141:199-208.
- Vitor, C. M. T.; Fonseca, D. M.; Cóser, A. C.; Martins, C. E.; Nascimento Júnior, D.; Ribeiro Júnior, J. I. 2009. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38:435-442.