



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS**

PARÂMETROS QUALITATIVOS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE SILAGENS DE  
MILHO MOÍDO REIDRATADO COM PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia stricta*)

MARCELO DE SIQUEIRA PINTO

GARANHUNS  
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO UNIDADE ACADÊMICA  
DE GARANHUNS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

PARÂMETROS QUALITATIVOS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE SILAGENS DE  
MILHO MOÍDO REIDRATADO COM PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia stricta*)

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS, do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco.

Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador – Dr. Airon Aparecido Silva de Melo

Coorientador – Daniel Barros Cardoso

GARANHUNS  
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P659p

Pinto, Marcelo de Siqueira

Parâmetros qualitativos e composição química de silagens de milho moído reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) / Marcelo de Siqueira Pinto. - 2020.  
58 f.

Orientador: Airon Aparecido Silva de Melo.

Coorientador: Daniel Barros Cardoso.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, Garanhuns, 2020.

1. Estabilidade aeróbica. 2. N-NH<sub>3</sub>. 3. Perfil fermentativo. 4. pH. 5. Produção de gases. I. Melo, Airon Aparecido Silva de, orient. II. Cardoso, Daniel Barros, coorient. III. Título

CDD 636.089

---

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

Autor: Marcelo de Siqueira Pinto

Orientador: D.Sc. Airon Aparecido Silva de Melo

Coorientador: D.Sc. Daniel Barros Cardoso

PARÂMETROS QUALITATIVOS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE SILAGENS DE  
MILHO MOÍDO REIDRATADO COM PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia stricta*)

Titulação: Mestre em Ciência Animal e Pastagens

Data da defesa: 28/08/2020

Banca Examinadora:

---

D.Sc. Daniel Barros Cardoso – PGZ/UFAPE

(Examinador)

---

D.Sc. Francisco Abel Lemos Alves – IPA

(Examinador)

---

D.Sc. Airon Aparecido Silva de Melo – UFAPE

(Orientador)

*Epígrafe*

Pesquisar é acordar para o mundo.  
Marcelo Lamy

## AGRADECIMENTOS

À Deus acima de tudo, por ter me dado forças, saúde e fé para continuar trilhando meu caminho.

Aos meus pais, por estarem sempre ao meu lado sempre que precisei e por nunca deixar de acreditar em mim.

À minha companheira, namorada e amiga, Luigly Pereira pelo incentivo, pelos sermões, momentos de alegria, pelo seu companheirismo e seu amor.

Aos meus irmãos, Michel e Márcio por acreditarem e estarem dispostos a me ajudar sempre que precisei.

Aos meus colegas do curso de Pós-Graduação, que estiveram envolvidos de alguma forma no projeto e por todos os cafezinhos da tarde que pudemos compartilhar em especial ao Cleyton Araujo, Jessica Rodrigues, Luiz Torres e Paulo Godoi.

Ao meu orientador, prof. Airon Melo por ter me recebido como seu orientado, pela dedicação, ajuda para o desenvolvimento do projeto, pela disponibilidade, pelos ensinamentos e compreensão.

Ao meu amigo e porque não dizer orientador de alguma forma, Daniel Barros Cardoso, por todos os ensinamentos, disposição e dedicação empregados nesse projeto.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições a este trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios de nutrição animal (LANA), por estarem sempre dispostos a ajudar.

À todos os professores do Curso de Pós-Graduação, pelas ensinamentos e pela dedicação.

Aos estagiários, amigos e a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE ABREVIACÕES E SIMBOLOS.....	10
RESUMO GERAL.....	11
GENERAL ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I – Revisão de Literatura.....	13
1.1 Introdução Geral.....	14
1.2 Revisão De Literatura.....	16
1.2.1 <i>Características pertinentes as regiões áridas e semiáridas</i> .....	16
1.2.2 <i>Fatores que determinam a qualidade de silagem</i> .....	17
1.2.3 <i>Palma forrageira na alimentação de ruminantes</i> .....	18
1.2.4 <i>Uso da palma forrageira na forma de silagem</i> .....	21
1.2.5 <i>Silagem de grão de milho reidratado e seus benefícios nutricionais</i> .....	22
1.3 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	25
CAPITULO II - PARÂMETROS QUALITATIVOS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE SILAGENS DE MILHO MOÍDO REIDRATADO COM PALMA FORRAGEIRA ( <i>Opuntia stricta</i> ) .....	31
RESUMO GERAL.....	32
ABSTRACT.....	33
2.1 OBJETIVOS.....	34
2.1.1 <i>Geral</i> .....	34
2.1.2 <i>Específicos</i> .....	34
2.2 INTRODUÇÃO.....	35
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.3.1 <i>Local do Experimento</i> .....	37
2.3.2 <i>Processo de Ensilagem</i> .....	37
2.3.3 <i>Variáveis analisadas</i> .....	38
2.3.4 <i>Análise Químico-bromatológica</i> .....	39
2.3.5 <i>Capacidade tampão</i> .....	40
2.3.6 <i>Estabilidade em Aerobiose</i> .....	40
2.3.7 <i>Potencial Hidrogeniônico</i> .....	41
2.3.8 <i>Nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>)</i> .....	41
2.3.9 <i>Análise de produção de gases</i> .....	41
2.3.10 <i>Análise estatística</i> .....	42
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
2.5 CONCLUSÃO.....	55
2.6 REFERÊNCIAS.....	56

## LISTA DE TABELAS

Páginas

<b>Tabela 1</b> -Composição químico-bromatológica do grão de milho seco e da palma forrageira cv. Orelha de elefante mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ).....	37
<b>Tabela 2</b> -Porcentagem dos ingredientes utilizados na confecção das silagens de grão de milho seco reidratado com palma forrageira ( <i>Opuntia stricta</i> ).....	38
<b>Tabela 3</b> -Perdas e perfil fermentativo de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira ( <i>Opuntia stricta</i> ) com crescentes níveis de matéria seca.....	44
<b>Tabela 4</b> -Composição químico-bromatológica de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira ( <i>Opuntia stricta</i> ) com crescentes níveis de matéria seca.....	50
<b>Tabela 4</b> -Fracionamento de carboidratos e de compostos nitrogenados de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira ( <i>Opuntia stricta</i> ) com crescentes níveis de matéria seca .....	51
<b>Tabela 6</b> - Parâmetros de produção de gases in vitro de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira ( <i>Opuntia stricta</i> ) com crescentes níveis de matéria seca obtidos pelo modelo logístico bicompartimental.....	52

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Variação do pH ao longo de 96 horas, em de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca..... 47
- Figura 2-**Variação da temperatura (C°) ao longo de 96 horas em de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca..... 48
- Figura 2.** Volume de gases produzidos durante incubação in vitro de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca..... 54

## LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

CHOT= carboidratos totais  
CIDA= cinzas insolúvel em detergente ácido  
CIDN= cinzas insolúvel em detergente neutro  
CNF= carboidratos não fibrosos  
CT= capacidade tampão  
EE= extrato etéreo  
EPM= erro padrão da média  
FD<sub>Ac</sub>p= fibra em detergente ácido corrigida para cinzas e proteína  
FD<sub>Nc</sub>p= fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína  
kd<sub>1</sub>= taxa específica de produção de gases pela degradação da fração A+B1 (CNF)  
kd<sub>2</sub> = taxa específica de produção de gases pela degradação da fração B2 (CF)  
L= linear  
MM= matéria mineral  
MO= matéria orgânica  
MS= matéria seca  
NDT= nutrientes digestíveis totais  
N-NH<sub>3</sub>= nitrogênio amoniacal  
NNP = nitrogênio não proteico  
PB= proteína bruta  
PDR=proteína degradável no rúmen  
PE= perdas por efluentes  
PG= perdas por gases  
pH= potencial hidrogeniônico  
PIDA = proteína insolúvel em detergente ácido  
PIDN= proteína insolúvel em detergente neutro  
Q= quadrático  
RMS= recuperação da matéria seca  
Vf<sub>1</sub> = volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF)  
Vf<sub>2</sub> = volume de gases produzido pela degradação da fração B2 do Sistema de Cornell (CF)  
Vt<sub>1</sub> = volume total observado  
Vt<sub>2</sub> = volume total encontrado a partir do modelo  
 $\lambda$  = latência

## RESUMO GERAL

Um dos maiores desafios da pecuária nas regiões semiáridas do Brasil é manter uma boa produção de forragem durante todo ano, devido às condições climáticas pouco favoráveis associadas ao baixo uso de tecnologias. O cultivo de espécies forrageiras que melhor adaptam-se a estas condições e o uso de técnicas de conservação são excelentes alternativas para minimizar tais adversidades. O presente trabalho tem por objetivo fomentar dados sobre o uso da palma forrageira (*Opuntia stricta*) como agente umidificador na produção de silagem de grão de milho seco, por meio da determinação das perdas por gases e efluentes; recuperação de matéria seca e capacidade tampão; perfil fermentativo; perdas fermentativas; estabilidade aeróbica; análise químico-bromatológica; fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados e produção de gases. O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Para a confecção das silagens, foi utilizado o grão de milho seco com textura dura e a palma cv. Orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta*). O delineamento, adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e cinco repetições, baseando-se na matéria seca da mistura dos dois ingredientes, os quais variam conforme os níveis de inclusão da palma forrageira, foram eles 25, 30, 35, 40 e 58% de MS. Após 30 dias de armazenamento, foi realizada a abertura dos silos e iniciado os procedimentos para análises quantitativas e qualitativas das silagens. O aumento nos níveis de matéria seca (MS) resultou em efeito linear decrescente ( $P < 0,05$ ) para as seguintes análises: perdas por gases (PG) e efluentes (PE), capacidade tampão (CT), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína (FDN<sub>cp</sub>), matéria mineral (MM), frações dos carboidratos potencialmente degradável (B2) e insolúvel (C), frações proteicas solúvel (A) e de degradação intermediária (B1+B2). Por outro lado, apresentaram comportamento linear crescente: recuperação da matéria seca (RMS), pH, matéria orgânica (MO), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fibra em detergente ácido corrigido para cinzas e proteína (FDA<sub>cp</sub>), cinzas insolúvel em detergente ácido (CIDA), carboidrato não fibroso (CNF), nutrientes digestíveis totais (NDT), carboidratos totais (CHOT) e sua fração solúvel (A+B1), quantidade de gases totais (Vt1), gases encontrados a partir do modelo logístico bicompartimental (Vt2), latência ( $\lambda$ ), taxa de digestão estimada para os CNF (kd1) e taxa de digestão estimada para os CF (kd2). Os resultados obtidos no presente estudo aponta que a silagem com o nível de 40% de MS (38% de milho e 62% de palma forrageira), apresenta bom valor nutricional e um bom perfil fermentativo, dando ao material ensilado uma maior estabilidade após sua exposição a condições aeróbicas.

**Palavras chaves:** estabilidade aeróbica, N-NH<sub>3</sub>, perfil fermentativo, pH, produção de gases.

## GENERAL ABSTRACT

One of the biggest livestock challenges in the semiarid regions of Brazil is to keep a good forage production during the whole year, due to the less favorable climatic conditions associated with the low use of technologies. The cultivation of forage species that best adapt to these conditions and the use of conservation techniques are excellent alternatives to minimize these adversities. This work has the goal of fomenting data about the use of spineless cactus (*Opuntia stricta*) as a humidifier agent in the production of dry corn grain silage, through the determination of losses by gases and effluents; recuperation of dry matter and buffer capacity; fermentative profile; fermentative losses, aerobic stability; chemical-bromatological analysis; carbohydrates and nitrogenous compounds fractioning and gases production. The experiment was conducted in the experimental farm of Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). The silages were made of dry corn grain with hard texture and spineless cactus cv. Mexican elephant ear (*Opuntia stricta*). The design used was the completely randomized (CRD), with five treatments and five repetitions based on the dry matter of the blend of both ingredients, which vary according to the spineless cactus including levels, that were 25, 30, 35, 40 e 58% of DM. After 30 days of storage, the silos were open and the procedures for the quantitative and qualitative analysis of the silages began. The increasing levels of dry matter (DM) led to a decreasing linear effect ( $P < 0,05$ ) to the following analysis: losses by gases (GL) and effluents (EL), buffer capacity (BC), ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>3</sub>), neutral detergent fiber adjusted for ashes and protein (NDFap), mineral matter (MM), potentially degradable (B2) and insoluble (C) fractions of carbohydrates and also the soluble (A) and intermediate degradation (B1 + B2) proteic fractions. On the other hand, presented increasing linear effect ( $P < 0,05$ ): dry matter recuperation (DMR), pH, organic matter (OM), insoluble ash in neutral detergent (IAND), acid detergent fiber adjusted for ashes and protein (ADFap), insoluble ashes in acid detergent (IAAD), non-fiber carbohydrates (NFC), total digestible nutrients (TDN), total carbohydrates (TC) and its soluble fraction (A+B1), total gases amount (Vt1) and gases found through the bicompartimental logistical model (Vt2), latency ( $\lambda$ ), estimated digestion rate for NFC (kd1) and estimated digestion rate for FC (kd2). The results obtained in this work points out that the silage with the 40% level of DM (38% of corn and 62% of spineless cactus), presents good nutritional value and a good fermentative profile, what gives to the ensiled material a better stability after its exposure to aerobic conditions.

Keywords: aerobic stability, N-NH<sub>3</sub>, fermentative profile, pH, gases production.

## **CAPITULO I – Revisão de Literatura**

## 1.1 Introdução Geral

O Semiárido Brasileiro compreende uma região que engloba uma área de 1 milhão de quilômetros quadrados e uma população com cerca de 28 milhões de habitantes, se estende por 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (IBGE, 2018). Dentre as principais características, destacam-se a irregularidade de chuvas no tempo e no espaço com longos períodos de estiagem, altas temperaturas e precipitação pluviométrica anual média inferior ou igual a 800 mm (IBGE, 2018). Por consequência, um dos principais problemas enfrentados na exploração pecuária é a interrupção na produção tanto quantitativa como qualitativa de forragem durante os períodos mais secos do ano.

De forma a solucionar tal problemática, uma alternativa é uso de técnicas de conservação de forragens, as quais têm como principal objetivo armazenar o excesso de forragem produzido no período chuvoso para ser utilizado nas épocas secas, mantendo as suas qualidades nutricionais. Campos *et al.*, (2017), falam que o desenvolvimento de uma pecuária eficiente, competitiva e economicamente capaz de atingir alta produtividade e altos índices zootécnicos, passa pelo desenvolvimento e aplicação de tecnologia de produção de volumosos de boa qualidade.

Quando se trata de dietas para ruminantes, o grão de milho é o ingrediente mais utilizados como concentrado energético, seja em pequenas ou em grandes propriedades. Porém o grão de milho, dentre outras características, apresenta forte matriz proteica que recobre os grânulos de amido, limitando a ação de enzimas microbianas no rúmen e diminuindo também a ação enzimática no intestino delgado (MENEZES *et al.*, 2017). Várias são as formas de processamento de grãos que podem resultar em aumento da disponibilidade de amido, e por consequência melhorar ainda mais o valor nutricional do grão.

A ensilagem é a técnica de conservação de forragem para alimentação animal em meio anaeróbico, consiste no enchimento, compactação e vedação do silo o qual promove a conservação, mantendo a qualidade nutritivas do material original. A ensilagem baseia-se na fermentação láctica da forragem ensilada, nesse processo ocorre a produção de ácido láctico e outros ácidos orgânicos, os quais diminuem o pH, esta acidificação depende principalmente, do teor de carboidratos solúveis, da capacidade tampão e do teor de

umidade da forragem (VAN SOEST, 1994). O milho é a espécie forrageira mais utilizado no preparo de silagens, sua fermentação é considerada como um ponto um referência (FERRARETTO; SHAVER; LUCK, 2018). Neste caso utilizando a planta inteira, podendo também ser confeccionada a silagem a partir dos grãos secos.

O processo de ensilagem de grãos reidratados, consiste em triturar o milho e adicionar água para elevar sua umidade à níveis de 35 a 40% para que possa ser fermentado, aumentando a digestibilidade do grão devido ao aumento da superfície de contato, rompimento da matriz proteica, ação dos ácidos da fermentação e pelo aquecimento no processo de silagem (MOMBACH *et al.* 2018). Além disso promove o armazenamento do grão na forma de ensilagem na fazenda, baixa ocorrência de perdas por pragas, sem o custo de transporte e de mão de obra para moagem do grão ao longo do ano, outra vantagem é a oportunidade de compra do grão seco em épocas de maior oferta no mercado (ARCARI, *et al.*, 2016).

Nesse contexto houve-se a necessidade de substituir a água utilizada nesse processo de reidratação do grão de milho seco, por algo que lhe permitisse ter uma umidade suficiente para que pudesse ser ensilado. Pensando nisso, o uso da palma forrageira, planta que compreende diversas espécies dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, ambas da família Cactácea, possa ser o agente umidificador da silagem de milho. Pois são plantas suculentas com extraordinária capacidade de extração e retenção de água, a ponto de possuir cerca de 90 a 93% de teor de água em seus cladódios (SCHULTZ, 1943). Apresenta também dentre outras vantagens a de possuir um bom padrão fermentativo, devido sua elevada concentração de carboidrato solúveis os quais favorecem a proliferação de bactérias ácido lácticas, que estão atreladas a uma melhor conservação da massa ensilada, e a presença da mucilagem, substância hidrocolóide que proporciona menores perdas por efluentes (DALL-ORSOLETTA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018)

Diante disso, pesquisas a respeito da utilização da palma forrageira como agente umidificador no processo de ensilagem de grão de milho na alimentação de ruminantes são escassas, contudo, o conhecimento dessa técnica pode ser uma vantagem para que produtores reduzam o custo com alimentação, além das melhorias na eficiência alimentar pelos animais. Com isso o objetivo deste trabalho é elucidar quais os benefícios que podem ser alcançados com o uso da palma forrageira como substituto da água no processo de ensilagem de grão de milho reidratado na alimentação de ruminantes.

## 1.2 Revisão de Literatura

### 1.2.1 Características pertinentes as regiões áridas e semiáridas

O Semiárido Brasileiro compreende uma região que engloba uma área de 1 milhão de quilômetros quadrados e uma população com cerca de 28 milhões de habitantes, se estende por 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, com cerca de 1,8 milhões de estabelecimentos agropecuários cadastrados (IBGE, 2018). Dentre as principais características dessa região, destacam-se a irregularidade de chuvas no tempo e no espaço com longos períodos de estiagem, altas temperaturas, solos rasos e de baixa retenção e armazenamento de água e precipitação pluviométrica anual média inferior ou igual a 800 mm (IBGE, 2018; SILVA *et al.*, 2014).

Esta região tem a maior parte de seu território ocupado por uma vegetação predominantemente xerófila denominada Caatinga, caracterizada por possuir espécies lenhosas e caducifólias, as quais são a principal fonte de alimentação para os rebanhos, porém este pasto nativo sofre grandes variações quantitativas e qualitativas ao longo do ano devido a irregular distribuição das chuvas e as altas taxas de evapotranspiração, o que limita o desempenho desses animais (CAMPOS *et al.*, 2017; CARVALHO *et al.*, 2011; GUSHA *et al.*, 2015). Os estabelecimentos rurais dessa mesma região têm na pecuária de leite e corte a principal fonte de renda, destacando-se a bovinocultura, ovinocultura e a caprinocultura (IBGE, 2017).

Um dos principais motivos que impossibilitam o sucesso da pecuária nessa região é o baixo uso de tecnologias adequadas para regiões semiáridas, sobretudo para a produção de forragens em épocas secas do ano, durante esse período, os animais consomem forragem com baixo teor de água e baixo valor nutricional e o acesso à água potável é irregular e limitado (ARAÚJO NETO; CÂMARA, 2000). A conservação de forragens por meio da ensilagem, aliada ao cultivo de espécies que melhor adaptam-se as condições inerentes a estas regiões, tornam-se primordiais para evitar prejuízos e conseqüentemente perdas financeiras na produção animal, sobretudo a produção de ruminantes independente do sistema de criação adotado.

### ***1.2.2 Fatores que determinam a qualidade de silagem***

Alguns aspectos são decisivos para o sucesso ou insucesso no processo de ensilagem. De maneira geral a fermentação da forragem é resultante de uma série de condições intrínsecas do material a ser ensilado, das práticas de manejo adotadas, como por exemplo, da colheita, o armazenamento, composição química e estado de maturação da planta, esses fatores podem gerar perdas e/ou mudanças durante o processo de ensilagem. Após a fase de estabilização das condições anaeróbias dentro do silo, dar-se início a fase de fermentação ativa, com duração média de 10 a 14 dias (VAN SOEST, 1994). O principal substrato dos microrganismos anaeróbios são os açúcares das forragens, principalmente hexoses (glicose e frutose) e pentoses (ribose e xilose) os quais são fermentados e produzem etanol, ácidos graxos voláteis (AGV), ácido láctico e CO<sub>2</sub>.

Com relação aos microrganismos envolvidos no processo de conservação de forragens, existem dois grupos bem distintos, os desejáveis e indesejáveis. O grupo de microrganismos indesejáveis incluem os que podem causar fermentações secundárias (clostrídios e enterobactérias) e/ou deterioração aeróbia (leveduras, bacilos, *Listeria* e fungos filamentosos) (OUDE ELFERINK *et al.*, 1999). Já as desejáveis, inclui as BAL que produzem apenas ácido láctico a partir da fermentação de hexoses (glicose e frutose) e conseqüentemente causa uma redução no pH, o qual inibe o crescimento dos microrganismos indesejáveis (KUNG JÚNIOR, 2008).

Com relação ao produto final de sua fermentação, podem ser classificadas como homoláticas que produzem apenas ácido láctico (BAL) e as bactérias heteroláticas que produzem ácidos láctico e acético, etanol e gás carbônico (CO<sub>2</sub>) o que exige uma maior gasto de energia, tal processo gera maiores perdas da matéria seca em relação às BAL (MUCK, 2010). Segundo Van Soest (1994) o tempo de fermentação depende, essencialmente, do teor de carboidratos solúveis, da capacidade tampão e do teor de umidade da forragem.

A concentração de carboidratos tem influência direta na fermentação durante o processo de ensilagem, vale salientar que forrageiras ricas em proteína e ou com elevado teor de fibra contem poucos carboidratos solúveis, situação que dificulta a proliferação de bactérias ácido lácticas (BAL), que estão atreladas a uma melhor conservação da massa ensilada (OLIVEIRA *et al.*, 2018). De acordo com Mciteka (2008) as forragens com

menos de 8% de carboidratos solúveis na MS podem não atingir um bom padrão fermentativo tornando a silagem instável. Após os três primeiros dias depois de fechado o silo, há um crescimento exponencial de BAL, nessa fase o pH reduz para valores abaixo de 5,0, o que diminui drasticamente a população de enterobactérias e Clostrídeos (COAN *et al.*, 2007).

A matéria seca é um dos fatores primordiais que determinam a qualidade do material ensilado. Segundo Jobim e Nussio (2014), forragens que apresentam percentuais de 28 a 40% apresentam um bom processo fermentativo, onde percentuais abaixo de 28% podem favorecer a ação de microrganismos indesejáveis, muitas vezes gerando perdas por efluentes e percentuais acima de 40% desfavorecem a compactação, conseqüentemente pode ocorrer processos fermentativos indesejáveis por microrganismos aeróbios devido a presença de ar entre os espaços formados pela má compactação.

A capacidade tampão (CT) em plantas forrageiras é definida como a resistência que a forragem apresenta ao abaixamento do pH, depende basicamente do teor de proteína bruta, íons inorgânicos (Ca, K, Na) e combinação de ácidos orgânicos e seus sais. O conhecimento da CT da forragem a ser ensilada é importante, pois fornece informações em relação à velocidade de abaixamento do pH (JOBIM *et al.*, 2007). Segundo Cherney e Cherney (2003) a CT da forragem é um fator determinante no processo de fermentação. A forragem quando apresenta alta CT sua velocidade de abaixamento do pH é lenta e por conseqüência as perdas no processo de ensilagem são maiores, o que reduz a qualidade do produto (JOBIM *et al.*, 2014).

### ***1.2.3 Palma forrageira na alimentação de ruminantes***

A queda da produtividade e do valor nutritivo dos pastos nas épocas secas do ano, faz com que produtores busquem por alimentos alternativos que possam mitigar os custos de produção e o uso de concentrados, sem que haja diminuição na produtividade do rebanho (SIQUEIRA *et al.*, 2017). Levando em consideração o uso de espécies forrageiras que melhor adaptam-se as condições do Semiárido brasileiro o uso da palma forrageira mostra-se como uma ótima alternativa para alimentação dos rebanhos no semiárido brasileiro. Nas últimas décadas a palma forrageira tem ganho destaque, no que diz respeito ao seu uso como ingrediente na dieta de animais do Semiárido nordestino, sobretudo para ruminantes (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Dentre as características que fazem a palma forrageira ser um dos principais recursos alimentar para os rebanhos nas regiões semiáridas, está a sua adaptabilidade a condições de estresse hídrico, grande teor de água em seus cladódios, a presença da mucilagem, possui elevado coeficiente de digestibilidade da MS, ainda possui alta palatabilidade, produtividade e produção de biomassa (SANTOS *et al.*, 2006), além disso apresenta também alto teor de carboidratos não fibrosos quando comparada com outras espécies de plantas forrageiras (SIQUEIRA *et al.*, 2017).

A palma forrageira compreende as plantas de diversas espécies dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, ambas da família Cactácea, são plantas suculentas, com folhas reduzidas em forma de pequenos apêndices. São espécies do tipo arborescente, podem ultrapassar 1 m de altura, possuem pseudocaule em forma de raquetes chamados de cladódios que são estruturas obovaladas com 30-60 cm de comprimento e 20-40 cm de largura, verde escuros, cobertos com uma camada de cera cuja espessura pode atinge 10 a 50  $\mu\text{m}$  (SCHULTZ, 1943). Essas cactáceas não toleram umidade excessiva e em solos profundos apresentam extraordinária capacidade de extração de água, a ponto de possuir cerca de 90 a 93% de teor de água em seus cladódios. O sistema radicular da palma forrageira é caracterizado por raízes superficiais e ramificadas com distribuição horizontal (> 2,5m) que lhe possibilita um eficiente aproveitamento das chuvas pouco intensas, e podem apresentar raízes suculentas não ramificadas, que chegam a atingir profundidades de 10 a 30 cm (HILLS, 2001).

A palma forrageira esta dentre as espécies que apresentam metabolismo ácido das crassuláceas (CAM, de *crassulacean acid metabolism*), uma vez que seu padrão de fechamento e abertura estomático difere daqueles encontrados em plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>. As espécies CAM, ao contrário das anteriormente citadas, abrem seus estômatos predominantemente a noite e os fecham durante o dia. Dessa forma, durante à noite o CO<sub>2</sub> atmosférico absorvido é armazenado temporariamente na forma de ácido málico no vacúolo celular nos cladódios para, posteriormente, ser utilizado nas reações fotossintéticas (TAIZ *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2010a). Uma vez que os estômatos ficam abertos durante a noite, quando as temperaturas são mais baixas e a umidade mais alta, a demanda transpiratória é reduzida, sendo a razão da perda de água para a absorção de CO<sub>2</sub> muito mais baixa em espécies CAM que em gramíneas e leguminosas (TAIZ *et al.*, 2017).

A enorme vantagem ecológica do processo de fixação de CO<sub>2</sub> CAM pode ser observada quando comparado com os processos das plantas C<sub>4</sub> e C<sub>3</sub> em relação à quantidade de água necessária para a produção de uma unidade de biomassa. A palma forrageira utiliza cerca de 50 kg de água para cada 1 kg de matéria seca formada, uma eficiência de 50:1, enquanto as plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> apresentam eficiências de 1000:1 e 500:1, respectivamente (PEREIRA; CORDERY; IACOVOS, 2012). A faixa ideal de precipitação para alcançar o potencial produtivo da palma forrageira concentra-se entre 368,4 mm e 812,4 mm, temperatura média oscila entre 16,1 °C e 25,4 °C e umidade relativa no período noturno entre 55 e 60% (ROCHA *et al.*, 2012). A realização do primeiro corte em condições de sequeiro ocorre aos dois anos após o plantio e a realização de cortes subsequentes a cada dois anos (LIMA *et al.*, 2015). De modo que o potencial produtivo da planta varia de acordo com a condição de manejo adotado, se em condições de sequeiro ou irrigada. Sua produtividade pode variar de 200 a 400 toneladas de matéria verde por hectare ao ano, oferecendo uma grande contribuição ao desenvolvimento da atividade pecuária no Nordeste (SANTOS *et al.*, 2010b).

A palma forrageira apresenta alta digestibilidade e palatabilidade, elevado teor de carboidratos solúveis, porém apresenta baixos teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e de matéria seca (MS). A presença da palma na dieta dos ruminantes em períodos de estiagem ajuda aos animais a suprir grande parte da água necessária ao corpo, além da grande quantidade de energia, a qual é similar ao milho podendo substituí-lo em parte em dietas de animais ruminantes (ALMEIDA *et al.*, 2015). É de suma importância salientar que a composição química da palma forrageira pode variar conforme a época do ano, a idade da planta, cultivar, manejo de adubação, espaçamento de plantio, entre outros fatores (SANTOS *et al.*, 2006; DUBEUX JÚNIOE *et al.*, 2010).

De maneira geral a composição química e bromatológica da palma forrageira apresenta valores de matéria seca (MS) variando de 92,5 a 116,9 g/kg de matéria natural (MN), matéria mineral (MM) de 96,7 a 126,2 g/kg de MS, Extrato Etéreo (EE) de 17,2 a 22,0 g/kg de MS, Carboidratos Totais (CHT) 772,9 a 837,8 g/kg de MS, Proteína Bruta (PB) varia de 40,1 a 103,9 g/kg de MS, Fibra em Detergente Neutro (FDN) de 196,5 a 373,2 g/kg de MS, Fibra em Detergente Ácido (FDA) de 110,9 a 201,6 g/kg de MS, Carboidratos não Fibrosos (CNF) de 423,6 a 557,0 g/kg de MS (MOURA *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Apesar da América do Sul possuir cerca de 4,5 milhões de km<sup>2</sup> de regiões áridas e semiáridas, apenas uma pequena porção dessa área é utilizada para o cultivo de cactáceas, estima-se que existam aproximadamente 675 mil ha de *Opuntia* e *Nopalea* cultivados na América do Sul, e destes 600 mil ha no Brasil, sobretudo nos estados de Pernambuco e Alagoas. Nestes estados a palma é cultivada nas principais bacias leiteiras, fortalecendo-se como uma das principais forrageiras para o gado leiteiro na época seca (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2013).

#### **1.2.4 Uso da palma forrageira na forma de silagem**

Apesar do baixo teor de matéria seca, a palma forrageira demonstra-se como uma boa alternativa de recurso forrageiro para a confecção de silagens. Apresenta percentual de matéria seca (MS) em torno de 10% em cladódios jovens recém colhidos (ÇÜREK; ÖZEN, 2004). Porém, baixo teor de MS associado ao alto teor de água nesta cactácea pode favorecer o desenvolvimento de fermentações indesejadas. São plantas que possui entre outros aspectos algumas características na sua composição que promovem condições favoráveis para manter ambiente propício para uma boa fermentação da massa ensilada (CAMPOS *et al.*, 2017).

A palma forrageira apresenta como uma das suas particularidades a mucilagem, uma substância hidrocolóide que proporciona uma grande retenção dos fluidos desta cactácea. Este gel emulsificante é armazenada nas células do clorênquima e parênquima, sua formação ocorre logo após a picagem dos cladódios, onde ocorre o rompimento destas células (SEPÚLVEDA *et al.*, 2007; SAAG *et al.*, 1975). Esse composto pode ser um dos principais responsáveis pela diminuição das perdas na ensilagem de palma, pois a mucilagem envelopa os compostos fluídos da planta impedindo sua perda por formação de efluentes (DALL-ORSOLETTA *et al.*, 2017). Portanto o baixo valor da MS da palma forrageira por si só não caracteriza essa forrageira como inadequada para a ensilagem.

Outro fator relevante ao avaliar o processo de ensilagem da palma forrageira é o seu percentual de carboidratos solúveis. A palma forrageira de maneira geral, apresenta em sua composição alguns carboidratos como a galactose, xilose, arabinose, glicose, frutose e sacarose nos cladódios, a presença pode variar de acordo com a espécie e em diferentes épocas do ano (RIBEIRO *et al.*, 2010). Esses açúcares podem ser utilizados como substratos durante o processo de fermentação pelas bactérias lácticas, proporcionando bom padrão fermentativo da massa ensilada (CAMPOS *et al.*, 2017).

Mciteka (2008) ao avaliar características fermentativas e valor nutricional de silagens exclusiva de palma, obteve os valores médios de 16% de MS, 16,5% de FDN, 15,5% de FDA, 6,5% de PB, 1,2% de EE, 1,85% de carboidratos solúveis, 16,05% de ácido acético, 3,41% de ácido butírico, 13,69% de ácido láctico, 5,3 de pH. Gusha, Ngongoni e Halimani (2013), em estudo da composição nutricional e a aceitabilidade de silagem mista de palma forrageira associada a feno de leguminosa, oferecida aos animais durante o período de estiagem na Turquia. Tal silagem mista apresentou bom padrão fermentativo, com os valores de pH entre 3,97 e 4,11; os teores de MS de 37 a 43%.

A técnica de associar a palma com outros ingredientes, promove um aumento efetivo no consumo dos nutrientes totais da dieta, como também melhora o consumo de fibras. Pois a aderência da fonte fibrosa e do concentrado a substância mucilagínosa que a palma apresenta no ato da homogeneização da ração, possibilita a ingestão equilibrada de nutrientes, reduzindo por sua vez, a seleção de ingredientes que sejam mais palatáveis (ALMEIDA, 2012; SOUZA *et al.*, 2010).

#### ***1.2.5 Silagem de grão de milho reidratado e seus benefícios nutricionais***

Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de grãos de milho e o segundo maior exportador (USDA, 2018). A estimativa de produção para a safra 2019/2020 considerando as três safras, é de 102,5 milhões de toneladas, representando um acréscimo de 2,5% em relação a produção anterior. (CONAB, 2020).

A silagem mais utilizada no mundo é a de planta inteira de milho, sua fermentação é considerada como ponto de referência, para produção de outras silagens (FERRARETTO; SHAVER; LUCK, 2018). Esta forragem possui adequados teores de carboidratos solúveis e elevada produção de matéria seca ha<sup>-1</sup> e baixa capacidade tampão, a associação destes fatores favorece a fermentação láctica, a qual é desejável, promove uma melhor conservação do material ensilado e mantêm o valor nutritivo da forragem semelhante ao material quando em seu estado natural (FERRARETTO; SHAVER; LUCK, 2018).

O milho grão é a principal fonte de energia utilizada na composição dos concentrados por ser um alimento amplamente disponível e possuir boa qualidade nutricional (SCHALCH *et al.*, 2001). Porém, sofre grandes variações de preço ao longo do ano, haja vista sua intensa utilização na alimentação humana e nas dietas de aves e suínos

(VÉRAS *et al.*, 2005). O cultivo de milho no Brasil é principalmente de variedades pertencentes à espécie *Zea mays* L., diferentemente do milho farináceo cultivado no resto do mundo, possui endosperma duro de alta vitreosidade, tal característica prejudica a digestibilidade do amido no rúmen, uma estratégia para melhorar a digestibilidade do milho utilizado no país é a realização de processamentos físicos e químicos (PEREIRA, 2014).

O grão de milho é formado por três principais estruturas físicas: o pericarpo (casca) parte externa que envolve o grão e possui um maior percentual de fibra; o gérmen rico em proteínas e lipídios e; endosperma, que representa aproximadamente 83% do peso seco do grão, formado principalmente de amido (88%). No endosperma estão também presentes as proteínas de reserva (8%) do tipo prolaminas, chamadas zeínas. Essas proteínas formam os corpos proteicos que compõem a matriz que envolve os grânulos de amido dentro das células no endosperma. Com base na distribuição dos grânulos de amido e da matriz de proteína, o endosperma é classificado em farináceo e vítreo (PAES, 2006).

A denominação vítreo ou farináceo refere-se ao aspecto dos endospermas nos grãos quando sujeitos à luz. A translucidez ou opacidade é definida de acordo com a distribuição do amido, em que nos grãos vítreos encontra-se fortemente ligados por matriz proteica o que os tornam mais duros e nos grãos farináceos estão mais dispersos, fatores que contribuem para a taxa de degradação dos mesmos (RIBAS *et al.*, 2007).

A técnica de reidratação do milho para o processo de ensilagem, consiste em devolver a umidade dos grãos para que sejam fermentados em sistema anaeróbio (MOMBACH *et al.*, 2018), aumentando a digestibilidade do amido no rúmen e no trato gastrointestinal, devido a ação das proteases bacterianas que somado aos ácidos advindos da fermentação, promovem maior solubilização das prolaminas que envolve os grânulos de amido no endosperma (JUNGES *et al.*, 2015). Além disso promove o armazenamento do grão na forma de ensilagem na fazenda, baixa ocorrência de perdas por pragas, sem o custo de transporte e de mão de obra para moagem do grão ao longo do ano, outra vantagem e a oportunidade de compra do grão seco em épocas de maior oferta no mercado (ARCARI *et al.*, 2016).

O ponto mais importante da silagem de milho reidratado é a correção da matéria seca, ao qual deve-se elevar os teores de umidade para valores entre 28 a 35% (BENTON;

KLOPFENSTEIN; ERICKSON, 2005). Esse valor de hidratação é necessário para que haja uma ótima fermentação e estocagem do material. Contudo, as silagens exclusivas de grão de milho apresentam alta quantidade de ácido lático, o que as tornam mais sujeitas a deterioração após a abertura (BERNARDES; NUSSIO; AMARAL, 2012).

Com relação ao tamanho da partícula, Silva *et al.*, (2018) avaliando o diâmetro médio do grão de milho, em que o grão de milho seco foi moído em moinho de martelos com peneiras de 2 mm e 6 mm, obtiveram resultados satisfatórios independentemente do diâmetro médio do grão, as silagens apresentaram perfil fermentativo adequado e permitiram a preservação de nutrientes com baixa perda de MS e alta estabilidade aeróbica. O processamento do milho, favorece a exposição dos grânulos de amido, por meio da eliminação do pericarpo, facilitando o ataque de microrganismos e a ação das enzimas digestivas do animal (KOTARSKI; WANISKA; THURN, 1992), O principal efeito nutricional do processamento do grão de milho reidratado é a mudança no local de digestão do intestino delgado para o rúmen e quando isso acontece, aumenta a produção de ácidos graxos voláteis e proteína microbiana (ZINN; OWENS; WARE, 2002).

Para Theurer *et al.* (1999), o aumento da utilização do amido no rúmen, reduz a quantidade a ser digerida no intestino delgado, o que pode aumentar a digestibilidade do amido nesse segmento do trato digestivo total. Com a maior digestão ruminal do amido, é possível haver aumento da síntese de proteína microbiana, da eficiência de utilização do nitrogênio dietético e consumo de matéria orgânica digestível (HUNTINGTON, 1997; OWENS *et al.*, 1997). Porém a alta disponibilidade de amido, pode causar distúrbios metabólicos, como a acidose ruminal ou acidose láctica, que ocorre devido a ingestão de grande quantidade de carboidratos solúveis (NETO *et al.*, 2014).

### 1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G.A.P. *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.

ALMEIDA, R.F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semi-árido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 08-14, 2012.

ARAÚJO NETO, R.B.; CÂMARA, J.A.S. **Conservação de forragem: fenação e silagem**. Teresina: Embrapa Meio Norte (Embrapa Meio Norte. Recomendações Técnicas, 6). 16p, 2000.

ARCARI, M. A. *et al.* Effect of substituting dry corn with rehydrated ensiled corn on dairy cow milk yield and nutrient digestibility. **Animal Feed Science and Technology**, v. 221, p. 167–173, 2016.

BENTON, J. R.; KLOPFENSTEIN, T. J.; ERICKSON, G. E. Effects of corn moisture and length of ensiling on dry matter digestibility and rumen degradable protein. **Beef Cattle Reports**, v. 151, p. 31-33, 2005.

BERNARDES, T.F.; NUSSIO, L.G.; AMARAL, R.C. Top spoilage losses in maize silage sealed with plastic films with different permeabilities to oxygen. **Grass and Forage Science**, p. 34–42, 2012.

CAMPOS, F.S. *et al.* Influence of diets with silage from forage plants adapted to the semi-arid conditions on lamb quality and sensory attributes. **Meat Science**. v. 124, p. 61–68, 2017.

CARVALHO, L. C. *et al.* Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 456-465, 2011.

CHERNEY, J.H.; CHERNEY, D.J.R. Assessing silage quality. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds.). **Silage Science and Technology**, Madison, WI: American Society of Agronomy, 2003. p. 141-198.

COAN, R.M. *et al.* Dinâmica fermentativa e microbiológica de silagens dos capins tanzânia e marandu acrescidas de polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 1502-1511, 2007.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. - SAFRA 2019/20 - Décimo segundo levantamento. Brasília, N. 12, V. 7, p. 1-33, 2020.

ÇÜREK, M.; N. ÖZEN. Feed value of Cactus and cactus silage. **Journal Veterinary Animal Science**, v. 28, p. 633-639, 2004.

DALL-ORSOLETTA, A.C. *et al.* Associative effects between *Arachis pintoi* and dwarf elephantgrass hays on nutritional value in sheep. **Animal Production Science**. v.58, p. 894-899, 2017.

NETO J.A.S. *et al.* Distúrbios metabólicos em ruminantes – Uma Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**. v.8, n.4 p. 157 – 186, 2014.

DUBEUX JR. J.C.B. *et al.* Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – genótipo IPA-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. *et al.* Potential of cactus pear in South America. **Cactusnet Newsletter**, v. 13, ed. esp., p. 29-40, 2013.

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R.D.; LUCK, B.D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3937-3951, 2018

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, p. 1–7. 2015

GUSHA, J.; NGONGONI, N.T.; HALIMANI, T.E. Nutritional composition and effective degradability of four forage trees grown for protein supplementation. **Journal of Animal Feed Research**, v. 3, n. 4, p. 170-175, 2013.

HILLS, F.S. Anatomia e Morfologia. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E.P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. 1. ed. Itália/Roma: FAO/SEBRAE-PB, cap. 4, p. 28-35, 2001.

HUNTINGTON, G. B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 2, p. 852-867, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Semiárido Brasileiro**. Pesquisa Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=sobre>> Acesso em: 2 de setembro de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agro 2017**. Pesquisa Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017>> Acesso em: 2 de setembro de 2020.

JOBIM, C.C. *et al.* Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.36, p.101-119, 2007.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G. Princípios básicos da fermentação na ensilagem. In: REIS, R.A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiro**. 1 ed. Jaboticabal:Finep. p. 649-660, 2014.

JUNGES, D. *et al.* Contribution of proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. **International Silage Conference**, Piracicaba. Rio das Pedras, SP, n. 17, p.566-567, 2015.

KOTARSKI, S. F.; WANISKA, R. D.; THURN, K. K. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. **Journal Nutrition**. v.122, n.1, p.178-190, 1992

KUNG JÚNIOR, L. Silage fermentation end products and microbial populations: their relationships to silage quality and animal productivity. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE AMERICAN ASSOCIATION OF BOVINE PRACTITIONERS, 41. 2008, Charlotte. **Proceedings...** Charlotte, NC: Frontier Printers, Inc Charlotte, p. 1-7, 2008.

LIMA, G.F.C. *et al.* **Palma forrageira irrigada e adensada: uma reserva forrageira estratégica para o Semiárido Potiguar**. EMPARN, Embrapa Semiárido (Documento 45), 2015.

MCITEKA, H. **Fermentation characteristics and nutritional value of *Opuntia ficus-indica* var. *Fusicaulis* cladode silage**. 2008. 113p. University of the Free State, Bloemfontein.

MENEZES, B.B. *et al.* Características estruturais do grão de milho sobre a digestibilidade do amido em bovinos. In: MOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ/ UFMS, 10. 2017, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: FAMEZ/UFMS, 2017. p. 155–163.

MOMBACH, M.A. *et al.* Rehydration of dry corn grain as an alternative for conservation purposes. **Australian Journal of Crop Science**, v.12, n.9, p.1472-1478, 2018.

MOURA, M.S.B. *et al.* Aptidão do Nordeste brasileiro ao cultivo da palma forrageira sob cenários de mudanças climáticas. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3. 2011, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro-BA: Embrapa Semiárido/UNIVASF/INSA, 2011. p.1-6.

MUCK, R.E. Silage additives and management issues. In: IDAHO ALFALFA AND FORAGE CONFERENCE, 2010, Burley. **Proceeding...** Burley: Idaho hay forage association inc., 2010. p. 49-55.

OLIVEIRA, J.P.F. *et al.* Carcass characteristics of lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v. 31, n. 4, p. 529-536, 2018.

OLIVEIRA, M.C. *et al.* Benchmarks for milk production systems in the Pernambuco Agreste Region, Northeastern Brazil. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 725 – 734, 2016.

OUDE ELFERINK, S.J.W.H. *et al.* Silage Fermentation process and their manipulation. In: MANNETJE, L. 'T. (Eds.). **Silage making in the tropics with particular emphasis on smallholders**. 1. ed. Itália/Roma: FAO, 1999. p. 17-30.

OWENS, F.N. *et al.* The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. **Journal of Animal Science**, v.75, n.3, p.868-879, 1997.

PAES, M.C.D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6p. (Circular Técnico 75).

PEREIRA, L.S.; CORDERY, I.; IACOVOS, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v.108, n.15, p.39-51, 2012.

PEREIRA, M. N. Dureza do grão de milho: um tópico brasileiro. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM FORMULAÇÃO DE DIETAS PARA GADO LEITEIRO, 3. 2014, Lavras. **Anais...** Lavras, MG: UFLA, 2014. p. 2-11.

- RIBAS, M.N. *et al.* Consumo e digestibilidade aparente de silagens de milho com diferentes graus de vitreosidade no grão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.6, n.1, p.104-115, 2007.
- RIBEIRO, E.M.D.O. *et al.* Study of carbohydrates present in the cladodes of *Opuntia ficus-indica* (fodder palm), according to age and season. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 4, p. 933–939, 2010.
- ROCHA, J.E.S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da arte**. Sobral: Embrapa, 2012. 40p. (Documentos / Embrapa Caprinos e Ovinos, 106).
- SAAG, L. *et al.* Cactaceae mucilage composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 26, n.7, p. 993–1000, 1975.
- SANTOS, D.G. *et al.* **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documento, 30).
- SANTOS, M.V.F. *et al.* Fatores que afetam o valor nutritivo da silagens de forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, n.232, p.25-43, 2010a
- SANTOS, M V. F. *et al.* Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, n.supl.spec., p.204 – 215, 2010b.
- SCHALCH, F.J. *et al.* Substituição do milho em grão moído pela polpa cítrica na desmama precoce de bezerros leiteiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.280-285, 2001.
- SCHULTZ, A.R. **Introdução ao estudo da botânica sistemática**. Porto Alegre: Livraria O Globo, 1943. 562p.
- SEPÚLVEDA, E. *et al.* Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. **Journal of Arid Environments**, v. 68, n. 4, p. 534–545, 2007.
- SILVA, M. R. H. da. *et al.* Corn grain processing improves chemical composition and fermentative profile of rehydrated silage. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.40, n.1, ed. 42564, 2018.
- SILVA, T.C. *et al.* Conservação de forrageiras xerófilas. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 15, n. 3, p.1-10, 2014.

SIQUEIRA, M.C.B. *et al.* 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**, v. 226, p. 56- 64, 2017.

SOUZA, C.M.S. *et al.* Desempenho de ovelhas nativas em confinamento recebendo palma-forrageira na dieta na região do Semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 5, p. 1146-1153, 2010.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

THEURER, C. B. *et al.* Invited review: summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 82, n. 9, p. 1950-1959, 1999.

USDA- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural Service**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: fevereiro de 2019.

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

ZINN, R. A.; OWENS, F. A.; WARE, R. A. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 5, p. 1145-1156, 2002.

**CAPÍTULO II - PARÂMETROS QUALITATIVOS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE  
SILAGENS DE MILHO MOÍDO REIDRATADO COM PALMA FORRAGEIRA  
(*Opuntia stricta*)**

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo fomentar dados sobre o uso da palma forrageira (*Opuntia stricta*) como agente umidificador na produção de silagem de grão de milho seco, por meio da determinação das perdas por gases e efluentes; recuperação de matéria seca e capacidade tampão; perfil fermentativo; perdas fermentativas; estabilidade aeróbica; análise químico-bromatológica; fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados, e produção de gases. O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Para a confecção das silagens, foi utilizado o grão de milho seco com textura dura e a palma cv. Orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta*). O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e cinco repetições, baseando-se na matéria seca da mistura dos dois ingredientes, os quais variam conforme os níveis de inclusão da palma forrageira, foram eles 25, 30, 35, 40 e 58% de MS. Após 30 dias de armazenamento, foi realizada a abertura dos silos e iniciado os procedimentos para análises quantitativas e qualitativas das silagens. Apresentaram efeito linear decrescente ( $P < 0,05$ ) à medida que foi elevado os níveis de MS, as perdas por gases (PG) e efluentes (PE), capacidade tampão (CT), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína (FDN<sub>cp</sub>), matéria mineral (MM); as frações potencialmente degradável (B2) e insolúvel (C) dos carboidratos e as frações proteica solúvel e NNP (A) e a de degradação intermediária (B1+B2). Já para recuperação da matéria seca (RMS), pH, matéria orgânica (MO), cinza insolúvel em detergente neutro (CIDN), fibra em detergente ácido corrigido para cinzas e proteína (FDN<sub>cp</sub>), cinzas insolúvel em detergente ácido (CIDA), carboidrato não fibroso (CNF) e nutrientes digestíveis totais (NDT); os carboidratos totais (CHOT) e a fração solúvel (A+B1); a quantidade de gases totais (Vt1) e gases encontrados a partir do modelo logístico bicompartimental (Vt2), latência ( $\lambda$ ), taxa de digestão estimada para os CNF (kd1) e taxa de digestão estimada para os CF (kd2), apresentara comportamento linear crescente a medida que aumentado o teor de MS. Os resultados obtidos no presente estudo aponta que a silagem com o nível de 40% de MS (38% de milho e 62% de palma forrageira), apresenta bom valor nutricional e um bom perfil fermentativo, dando ao material ensilado uma maior estabilidade após sua exposição a condições aeróbicas.

**Palavras chaves:** estabilidade aeróbica, N-NH<sub>3</sub>, perfil fermentativo, pH, produção de gases.

## ABSTRACT

This work has the goal of fomenting data about the use of spineless cactus (*Opuntia stricta*) as a humidifier agent in the production of dry corn grain silage, through the determination of losses by gases and effluents; recuperation of dry matter and buffer capacity; fermentative profile; fermentative losses, aerobic stability; chemical-bromatological analysis; carbohydrates and nitrogenous compounds fractioning and gases production. The experiment was conducted in the experimental farm of Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). The silages were made of dry corn grain with hard texture and spineless cactus cv. Mexican elephant ear (*Opuntia stricta*). The design used was the completely randomized (CRD), with five treatments and five repetitions based on the dry matter of the blend of both ingredients, which vary according to the spineless cactus including levels, that were 25, 30, 35, 40 e 58% of DM. After 30 days of storage, the silos were open and the procedures for the quantitative and qualitative analysis of the silages began. The increasing levels of dry matter (DM) led to a decreasing linear effect ( $P < 0,05$ ) to the following analysis: losses by gases (GL) and effluents (EL), buffer capacity (BC), ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>3</sub>), neutral detergent fiber adjusted for ashes and protein (NDFap), mineral matter (MM), potentially degradable (B2) and insoluble (C) fractions of carbohydrates and also the soluble (A) and intermediate degradation (B1 + B2) proteic fractions. On the other hand, presented increasing linear effect ( $P < 0,05$ ): dry matter recuperation (DMR), pH, organic matter (OM), insoluble ash in neutral detergent (IAND), acid detergent fiber adjusted for ashes and protein (ADFap), insoluble ashes in acid detergent (IAAD), non-fiber carbohydrates (NFC), total digestible nutrients (TDN), total carbohydrates (TC) and its soluble fraction (A+B1), total gases amount (Vt1) and gases found through the bicompartimental logistical model (Vt2), latency ( $\lambda$ ), estimated digestion rate for NFC (kd1) and estimated digestion rate for FC (kd2). The results obtained in this work points out that the silage with the 40% level of DM (38% of corn and 62% of spineless cactus), presents good nutritional value and a good fermentative profile, what gives to the ensiled material a better stability after its exposure to aerobic conditions.

Keywords: aerobic stability, N-NH<sub>3</sub>, fermentative profile, pH, gases production.

## **2.1 OBJETIVOS**

### **2.1.1 Geral**

Considerando a importância das espécies forrageiras disponíveis na região e sua conservação para a alimentação dos ruminantes no Semiárido, o presente trabalho tem como objetivo esclarecer se o uso da palma forrageira (*Opuntia stricta*) como agente umidificador do grão de milho seco para confecção de silagem é de fato adequado, sem que haja prejuízos no material ensilado, sobre tudo a sua composição químico-bromatológica e perfil fermentativo.

### **2.1.2 Específicos**

- Avaliar o perfil fermentativo e o potencial nutricional da silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca;
- Determinação de perdas por gases;
- Determinação de perdas por efluentes;
- Quantificar a recuperação de matéria seca;
- Determinar a composição químico-bromatológica;
- Fracionamento de proteínas e carboidratos;
- Análise de produção de gases.

## 2.2 INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro abrange 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, essa região é caracterizada por apresentar irregularidade pluviométrica no tempo e no espaço e grande variação na quantidade de chuva durante os anos, possui solos são rasos e de baixa retenção e armazenamento de água (IBGE, 2018). Em pouco mais de 95 milhões de hectares do Semiárido nordestino, uma das atividades econômicas de destaque é a pecuária (NUNES, 2011). A alta temperatura e a alta radiação solar promovem uma acentuada evaporação anual provocando déficit hídrico no solo e conseqüentemente redução da produtividade e na qualidade das forrageiras (SILVA *et al.*, 2014).

Um dos maiores entraves tecnológicos enfrentados pelos pecuaristas desta região é a produção de forragens para os rebanhos durante todo o ano. A escassez de forragem sobretudo nos períodos secos do ano, acarretam grandes perdas para os produtores nesta região, uma forma de solucionar tal problemática é o uso de técnicas de conservação de forragens, as quais têm como principal objetivo armazenar o excesso de forragem produzido no período chuvoso para ser utilizado nas épocas secas do ano, sem que haja perdas na qualidade do material original. Campos *et al.*, (2017), falam que o desenvolvimento de uma pecuária eficiente, competitiva e economicamente capaz de atingir alta produtividade e altos índices zootécnicos, passa pelo desenvolvimento e aplicação de tecnologia de produção de volumosos de boa qualidade.

O milho é um dos principais ingredientes que compõe a dieta dos animais ruminantes, por ser um alimento bastante energético e possuir alta digestibilidade (SCHALCH *et al.*, 2001). A utilização do milho planta inteira para a confecção de silagem é uma das práticas mais comuns nos sistemas de produção de ruminantes, e sua fermentação é considerada ponto de referência (FERRARETTO; SHAVER; LUCK, 2018). Porém, alternativas de produção de silagem de milho podem ser exploradas, como é o caso da silagem a partir dos grãos secos. O processo de reidratação do grão milho seco, consiste em devolver ao grão umidade necessária para que possa ser fermentado, aumentando a digestibilidade do grão (MOMBACH *et al.* 2019).

A palma forrageira, planta que compreende diversas espécies dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, ambas da família Cactácea, apresenta elevada produção de fitomassa, alta

palatabilidade, possui extraordinária capacidade de extração e retenção de água, destaca-se como um excelente recurso forrageiro no Semiárido brasileiro (SCHULTZ, 1943; CAMPOS *et al.*, 2017). Apresenta também um bom padrão fermentativo, elevada concentração de carboidratos solúveis os quais favorecem a proliferação de bactérias ácido lácticas, que promovem uma melhor conservação da massa ensilada, e a presença da mulsilagem, substância hidrocolóide que proporciona menores perdas por efluentes (DALL-ORSOLETTA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Alimentos suculentos com altas concentrações de água e baixo teor de matéria seca, como é o exemplo da palma forrageira, constituem importantes fontes de água para os rebanhos de ruminantes criados nessa região (ARAUJO *et al.* 2010).

Diante da dificuldade hídrica inerente às regiões semiáridas do Brasil, surgiu então a necessidade de substituir a água utilizada nesse processo de reidratação do grão de milho, por algo que lhe permitisse ter uma umidade suficiente para que pudesse ser fermentado. Além disso, pesquisas a respeito da utilização da palma forrageira como agente umidificador no processo de ensilagem são escassas, contudo, o conhecimento dessa técnica pode ser uma vantagem para que produtores reduzam o custo com alimentação, além das melhorias na eficiência alimentar pelos animais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é elucidar quais os benefícios que podem ser alcançados com o uso da palma forrageira como substituto da água no processo de ensilagem de grão de milho reidratado na alimentação de ruminantes.

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.3.1 Local do Experimento

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), situada na cidade de Garanhuns no agreste meridional do estado de Pernambuco. As análises foram realizadas com o suporte dos laboratórios de nutrição animal (LANA).

### 2.3.2 Processo de Ensilagem

Para a produção das silagens, foi adquirido comercialmente o grão de milho seco com textura dura, em casa agropecuária da cidade. Posteriormente, o grão de milho foi moído em peneira de 4 mm, em máquina estacionária picadora e trituradora de forragem e grãos secos (LABOREMUS® - Modelo: MC1n 2.0e). Foi utilizado a palma Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), oriunda da fazenda experimental da UFRPE com idade aproximada de dois anos, que foi colhida a planta inteira, preservando apenas o cladódio mãe, em seguida triturada em máquina forrageira estacionária até que houvesse a exposição da emulsilagem, tornando uma massa homogênea com pequenas partículas de dimensões variadas, e posteriormente homogeneizado ao milho moído, sob uma lona plástica e em seguida transferidos para os silos experimentais. Na tabela 1 estão apresentados a composição química dos ingredientes antes do processo de ensilagem.

Tabela 1-Composição químico-bromatológica do grão de milho seco e da palma forrageira cv. Orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta*).

Itens	Mas	MO <sup>b</sup>	MM <sup>a</sup>	PB <sup>b</sup>	EE <sup>b</sup>	FDN <sub>CP</sub> <sup>b</sup>	FDA <sup>b</sup>	NDT <sup>b</sup>
Milho	89,9	979,1	20,9	83,9	64,0	179,8	42,1	790,6
Palma	9,8	901,7	98,3	60,5	13,4	295,6	134,9	641,2

<sup>a</sup>g kg<sup>-1</sup> de matéria natural; <sup>b</sup>g kg<sup>-1</sup> de MS. MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN<sub>CP</sub>: fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; FDA: fibra em detergente ácido; NDT: nutrientes digestíveis totais.

Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em cinco tratamentos, contendo cinco repetições, totalizando 25 unidades experimentais, os tratamentos foram com base na matéria seca da mistura dos dois ingredientes, os quais variaram conforme os níveis de inclusão da palma forrageira (25, 30, 35, 40 e 58% de MS), sendo este último o tratamento controle, composto apenas de milho reidratado com água, para que atingisse o nível de 40% de umidade (Tabela 2).

Tabela 2- Porcentagem dos ingredientes utilizados na confecção das silagens de grão de milho seco reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*).

Ingredientes (%) –	Níveis de matéria seca dos tratamentos (%)				
	25	30	35	40	58
Milho	18,8	25,2	31,5	38,0	100
Palma Forrageira	81,2	74,8	68,5	62,0	0

Os silos experimentais utilizados foram tubos em PVC de 100mm de diâmetro por 550 mm de comprimento, no fundo de cada silo foi acomodado um saco de TNT (tecido não tecido) com aproximadamente 500g de areia esterilizada, comprometendo cerca de 10 cm do comprimento total do silo e na parte superior uma válvula do tipo Bunsen. A densidade estabelecida ficou entre 552 a 849 kg de matéria natural por metro cúbico (m<sup>3</sup>). Por fim, os silos foram lacrados, identificados e armazenados.

### 2.3.3 Variáveis analisadas

Após 30 dias de armazenamento foi feita a abertura dos silos, os quais foram pesados, para posterior determinação das perdas por efluentes (PE), perdas por gases (PG) e a recuperação de matéria seca (RMS), segundo equações descritas por Zanine *et al.* (2007).

Para a determinação de perdas por gases:

$$PG = (PCf - PCa) / (MFf \times MSf) \times 10000$$

Onde: PG = perdas por gases (%MS); PCf = Peso do silo cheio vedado no fechamento (kg) PCa = Peso do silo aberto (kg); MFf = Massa de forragem na vedação do silo (kg) e MSf = Teor de MS da forragem na vedação do silo (%).

Para a determinação de perdas por efluentes:

$$PE = [(PVf - Tb) - (PVi - Tb)] / MFi \times 1000$$

PE: perdas de efluentes (kg/ tonelada de silagem); PVi: peso do balde vazio + peso da areia no fechamento (kg); PVf: peso do balde vazio + peso da areia na abertura (kg); Tb: tara do balde e MFi: massa de forragem no fechamento (kg).

Determinação da recuperação de matéria seca:

$$RMS = (Mfa \times MSa) / (MFf \times MSf) \times 100$$

Onde: RMS = Taxa de recuperação de matéria seca (%); MFa = Massa de forragem na abertura do silo (kg); MSa = Concentração de matéria seca da forragem na abertura do silo (%); MFf = Massa de forragem na vedação do silo (kg) e MSf = Matéria seca da forragem na vedação do silo (%).

#### 2.3.4 Análise Químico-bromatológica

Após a abertura dos silos o material ensilado foi totalmente retirado e acondicionado em bandejas, sendo desprezado aproximadamente os 10 primeiros e os 10 últimos centímetros desse material. Logo após o material foi homogeneizado e foram amostrados 200g de silagem de cada unidade experimental e levado a estufa de ventilação forçada a uma temperatura entre 50-55°C por 36 horas, após a secagem, as amostras foram processadas em moinho tipo Willey®, em peneiras de 1 e 2 mm, depois, acondicionado em sacos plásticos do tipo zip lock hermético (7x10cm) identificados e logo em seguida foi dado início as análises químico-bromatológicas.

As análises quanto aos teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB) matéria orgânica (MO) e fibra em detergente neutro e ácido (FDN e FDA) foram realizadas segundo metodologia descrita por Detmann, Souza e Valadares Filho (2012). Para a determinação da lignina, o resíduo de FDA foi imerso em ácido sulfúrico a 72%, visando à solubilização da celulose, e obtendo a lignina digerida em ácido (LDA), em que se seguiu a metodologia de Van Soest, Robertson e Lewis (1991), e as frações de hemicelulose (HEM) e celulose (CEL) foram estimadas pelas equações:  $HEM = FDN - FDA$  e  $CEL = FDA - LDA$ , respectivamente.

As frações dos carboidratos totais foram calculados conforme a metodologia proposta por Sniffen *et al.* (1992), em que, os carboidratos totais (CHOT) =  $1000 - (PB + EE + MM)$ , e fracionados em A+B1, B2 e C, sendo os carboidratos não-fibrosos (CNF) representados pelas frações A+B1, que foram obtidos pela diferença entre os CHOT e a fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína bruta (FDNcp). A fração B2 correspondente à fração disponível da fibra, foi obtida pela diferença entre a FDNcp e a fração C. A fração C que corresponde a FDN indigestível foi obtida através da equação:  $C = (100 * FDN (\% MS) * 0,01 * LIGNINA (\% FDN) * 2,4) / CHOT(\% MS)$ .

Os teores de nitrogênio não proteico (NNP), nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram determinados conforme a metodologia descrita por Licitra, Hernandez e Van Soest (1996). A fração

“A” foi obtida pela diferença entre o nitrogênio total e o nitrogênio insolúvel (residual) em ácido tricloroacético (10%). A fração B1+B2 foi calculada a partir da equação:  $B1+B2 = 100 - (A + B3 + C)$ . Enquanto a fração B3 foi obtida pela diferença entre o NIDN e o NIDA, e a fração C foi considerada como o NIDA. Os valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) foram calculados de acordo com a equação proposta por Weiss (1999):

$$NDT = PBD + (2,25 \times EED) + CNFD + FDNcpD.$$

Onde, NDT (g/kg) = Nutrientes digestíveis totais, PBD= Proteína bruta digestível; EED=Extrato etéreo digestível; CNFD =carboidratos não fibrosos digestíveis; FDNcpD= fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína digestíveis.

### **2.3.5 Capacidade tampão**

A capacidade tampão na massa ensilada foi determinada segundo metodologia proposta por Mizubuti *et al.*, (2009), empregou-se a seguinte equação:

$$CATP = 0,1 * (Va - Vb) * 100 ) / PA$$

Onde: CATP = capacidade tampão em e.mg NaOH/100 g MS; 0,1 = Normalidade do NaOH; Va = volume de NaOH gasto para mudar o pH da amostra de 4,0 para 6,0 ; Vb = volume de NaOH (ml) gasto para mudar o pH do branco de 4,0 para 6,0; PA = peso da amostra seca = [(peso da amostra\*MS)/100].

### **2.3.6 Estabilidade em Aerobiose**

Na abertura do silo foi realizada a aferição da temperatura da massa das silagens seguindo a metodologia de Santos *et al.* (2014) em um intervalo de 2 horas, durante um período de 96 horas. Para a determinação da estabilidade em aerobiose foi utilizado a metodologia adaptada de Kung Jr. *et al.*, (2000), cada unidade experimental foi composta por um recipiente plástico com capacidade para 4 L, contendo aproximadamente 2 kg da silagem, mantido em sala fechada, sob temperatura controlada a 24°C.

As determinações de pH foram realizadas também na estabilidade aeróbia com aferição a cada 6 horas, durante um período de 96 horas de exposição ao ar (BOLSEN *et al.*, 1992).

### **2.3.7 Potencial Hidrogeniônico**

O pH foi determinado segundo Bolsen *et al.* (1992), em 100 ml de água destilada foram adicionados 25 g de silagem, permanecendo em repouso por 1 h, para leitura de pH, utilizando-se um PHmetro digital de bancada (BEL Engineering® - modelo: W3B).

### 2.3.8 Nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>)

Para a determinação do N-NH<sub>3</sub> das amostras, seguiu-se a metodologia conforme Bolsen *et al.* (1992), onde, 25 g de amostra foram adicionadas em 200 ml de solução de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a 0,2 N. Após repouso de 48 horas em refrigeração, a mistura foi filtrada com auxílio de papel filtro e ocorreu a estimativa considerando o nitrogênio total da amostra, de acordo com Detmann, Souza e Valadares Filho (2012).

### 2.3.9 Análise de produção de gases

Para cinética de produção de gás, foi utilizada a técnica *in vitro* com uso do transdutor de pressão, proposta por Theodorou *et al.* (1994). As amostras foram incubadas em frascos (160 mL), com 1,0 g de amostra, juntamente com 90 mL de meio nutritivo de Goering e Van Soest (1970), injetados CO<sub>2</sub> constantemente e 10 mL de líquido ruminal de caprinos fistulados no rúmen. Em seguida, os frascos foram vedados com rolhas de borracha e lacres de alumínio. Os frascos foram incubados em uma estufa com temperatura constante de 39°C. A produção cumulativa dos gases foi estimada por meio da mensuração da pressão dos gases produzidos no decorrer do processo fermentativo, utilizando-se transdutor de pressão (LOGGER AG100® - Agricer), nos tempos 2, 4, 6, 8, 9, 10,11, 12,13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 42 e 48h pós-incubação.

A pressão em PSI (pressão por polegada quadrada) foi transformada em mL através da equação: Produção de gás em mL=5,1612\*PSI – 0,3017, r<sup>2</sup> = 0,9873, pertencente ao Laboratório de Produção de Gases da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns (-8°90'77" S, -36°49'49" W, altitude de 844 metros), e ajustada em relação ao branco e a matéria seca incubada. Para estimativa dos parâmetros, foi utilizado o modelo Logístico Bicompartimental (SCHOFIELD; PITT; PELL, 1994):

$$V_t = \frac{V_{f1}}{1 + e^{[2-4k1(t-\lambda)]}} + \frac{V_{f2}}{1 + e^{[2-4k2(t-\lambda)]}}$$

Onde:

V<sub>t</sub>= Volume total de gases produzido;

Vf1= volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF), de rápida fermentação;

Vf2= volume de gases produzido pela degradação da fração B2 do Sistema de Cornell (CF), de lenta degradação;

k1= taxa específica de produção de gases pela degradação da fração A+B1 (CNF);

k2= taxa específica de produção de gases pela degradação da fração B2 (CF);

t= tempo de fermentação;

$\lambda$  = fase de latência;

### ***2.3.10 Análise estatística***

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos e cinco repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância (anova) e as médias comparadas ao teste Dunnett a 5% de probabilidade, por meio do pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System, 2002).

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação ao perfil e perdas fermentativas (Tabela 3), o crescente nível de matéria seca dos tratamentos reduziram ( $P < 0,05$ ) as perdas por gases (PG), perdas por efluentes (PE) e capacidade tampão (CT). Todos os tratamentos diferiram do tratamento controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

A diminuição das perdas por gases (PG) à medida que houve uma elevação nos níveis de MS, neste caso, o maior incremento de milho nestes tratamentos, podem estar associadas ao perfil de fermentação ocorrido na silagem. As silagens com maiores níveis de milho possuem uma maior quantidade de amido, forrageiras com elevado teor carboidratos solúveis promovem uma maior proliferação de bactérias ácido lácticas (BAL), as quais estão inseridas no grupo de bactérias homofermentativas e que estão atreladas a menores perdas por gases e melhor conservação da massa ensilada (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Já as maiores produções de gases são pertinente às bactérias heterofermentativas, que produzem ácido láctico, dióxido de carbono, etanol ou ácido acético (MUCK, 2010; PAHLOW *et al.*, 2003). Valores semelhantes aos encontrados por Gandra *et al.* (2019) em análise da atividade amilolítica e composição química de silagem de milho moído e reidratado com adição da  $\alpha$ -amilase ou glucoamilase, obtiveram valores médios para perdas por gases de 8,9 % da MS.

Para as perdas por efluentes (PE), houve uma diminuição à medida que foi aumentado o nível de MS dos tratamentos. Isso pode ter ocorrido, pois, as perdas estão ligadas diretamente com o conteúdo de matéria seca, onde percentuais de 28 a 40% favorecem uma boa fermentação, valores abaixo de 28% favorecem a ação de microrganismos indesejáveis, principalmente clostrídeos, ocasionando maiores perdas por efluentes, como observado por Jobim *et al.* (2014). Ao testar níveis de inclusão de água em silagem de grão de milho seco, Mombach *et al.* (2018) obtiveram perdas por efluentes de 11,65% da MS para o tratamento com até 40% de água.

Tabela 3-Perdas e perfil fermentativo de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca

Item	Níveis de Matéria Seca (%)					EPM	P-valor	
	25	30	35	40	58		L	Q
PG	17,2*	14,4*	10,8*	9,3*	4,8	0,96	<,0001 <sup>1</sup>	0,740
PE	44,1*	48,5*	35,5	22,2	22,4	2,79	<,0001 <sup>2</sup>	0,577
pH	3,7*	3,7*	3,8	3,8	3,8	0,01	0,0011	0,807
CT	75,4*	63,7*	50,1*	49,3*	22,5	3,64	<,0001 <sup>3</sup>	0,004
N-NH <sub>3</sub>	4,4*	4,7*	5,3*	4,1*	8,1	0,29	<,0001 <sup>4</sup>	<,001
RMS	87,2*	79,5*	90,1	85,6*	93,0	1,08	0,0004	0,007
Variável	Equações					R <sup>2</sup>		
PG	$\hat{Y} = 24,9 - 0,363X$					0,93		
PE	$\hat{Y} = 64,1 - 0,78X$					0,68		
CT	$\hat{Y} = 109,72 - 1,53X$					0,97		
N-NH <sub>3</sub>	$\hat{Y} = 1,23 + 0,11X$					0,73		

PE (kg/t MN) = perdas por efluentes; PG (%MS) = perdas por gases; pH = potencial hidrogeniônico; CT (e.mg/100 g MS) = capacidade tampão; N-NH<sub>3</sub> (% do N total) = nitrogênio amoniacal; RMS (%) = recuperação da matéria seca. EPM = erro padrão da média. \* Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

A diminuição da capacidade tampão (CT) com o aumento da MS pode ser explicada pelo menor nível de palma forrageira nesses tratamentos (Tabela 3). Pois à medida que aumentaram-se os níveis de MS diminuiu-se a concentração de matéria mineral (MM), e esta redução pode estar associada à presença de ortofosfatos, sulfatos, nitratos e sais de ácidos orgânicos (ânions) que podem ser encontrados na da palma forrageira (*Opuntia stricta*) fatores estes que alteram a dinâmica tamponante da silagem (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Outro fator com influência direta na CT da palma forrageira são as particularidade no seu metabolismo, CAM. Corrales-García *et al.*, (2004) avaliaram mudanças na acidez e a capacidade tampão de diferentes espécies do gênero *Opuntias*, descreveram que as mudanças de acidez assim como a capacidade tampão da palma forrageira variaram em relação ao horário de corte, pois espécies CAM absorvem CO<sub>2</sub> atmosférico durante à noite e este é armazenado temporariamente na forma de ácido málico no vacúolo celular dos cladódios para, posteriormente, ser utilizado nas reações fotossintéticas ao decorrer do dia, recomendando a colheita dos cladódios para ensilagem nos horários após as

primeiras horas do dia, pois estes podem sugerir menos capacidade tampão do material a ser ensilado. Silva *et al.* (2010), verificaram valor médio para capacidade tampão de 43 e.mg/100g de MS para silagens de grãos úmidos de milho com diferentes inoculantes bacterianos, valores um pouco a baixo da média observada no presente estudo (52,2 e.mg/100g de MS).

Houve um pequeno aumento sobre o pH, à medida que foi elevado os níveis de matéria seca dos tratamentos. Esse elevação do pH pode ter ocorrido devido ao conteúdo de CNF, que para os tratamentos com menor nível de MS foram maiores (Tabela 4), e consequentemente aumentaram o conteúdo das frações de carboidratos solúveis provenientes da palma forrageira, que por sua vez tem relação direta com o aumento da atividade das bactérias ácido lácticas, as quais reduzem o pH e favorecem uma melhor conservação do material ensilado (MCCULLOUGH, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Outro fator que pode ter ocorrido e que exerce influência no pH é a redução gradativa do conteúdo de FDN com o aumento de MS, pois estes tratamentos tem uma maior quantidade de milho e por consequência um menor teor de FDN. Provocado, em parte, pela atividade enzimática do material ensilado, que irá promover uma maior hidrólise do amido e da hemicelulose, produzindo monossacarídeos, que forneceram energia adicional para a fermentação láctica (McDONALD; HENDERSON; HERON, *et al.*, 1991), levando a menores valores finais de pH. Ferraretto *et al.* (2018) encontraram valores de pH de 4,0 para silagens de grãos de milho reidratados com 30% de umidade, valor ligeiramente mais alto que os encontrados nesse estudo.

O Nitrogênio amoniacal N-NH<sub>3</sub> é um dos parâmetros que tem influência direta na distinção da qualidade do processo fermentativo, tal parâmetro contribui para a elevação do pH, sendo, dessa forma, um indicativo de fermentação indesejável, expresso em porcentagem do nitrogênio total, aponta a quantidade de proteína degradada durante a fase de fermentação (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). Os valores de N-NH<sub>3</sub> encontrados no presente estudo (Tabela 3) indicam que à medida que houve o aumento na MS dos tratamentos, houve uma elevação gradativa dos teores de nitrogênio amoniacal. Durante o processo de ensilagem do grão de milho reidratado, as subunidades de proteína que se liga a grânulos de amido, sofrem maior proteólise, o que explica os maiores de valores N-NH<sub>3</sub> nos tratamentos cuja quantidade de milho foi maior (FERRARETTO *et al.*, 2018). Todos os tratamentos apresentaram níveis de nitrogênio

amoniaco abaixo de 10% do nitrogênio total, indicativo de silagens de boa qualidade (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

A recuperação de matéria seca (RMS) foi inversamente proporcional às perdas por efluentes e gases, ou seja, nos tratamentos onde ocorreram maiores perdas por gases e efluentes, a RMS foi menor (Tabela 3). Outro fator que influencia na RMS é o teor original de umidade, McCullough (1977), aponta que o potencial de uma gramínea para ensilagem depende do seu teor de umidade o qual deve situar-se próximo a 70%, pois do contrário a fermentação por bactérias do gênero *Clostridium* é significativamente alta. Em estudo realizado por Nogueira (2015) foi verificado valores superiores de RMS (92,65%) para silagens de palma forrageira não tratadas com inoculantes, valor que se assemelha ao encontrado neste trabalho. Por sua vez, Gandra *et al.* (2019) registraram valor médio 84,5%, valor bem próximos ao do presente trabalho.

Quanto aos valores de pH em função do tempo de exposição das silagens (96 horas), pode-se observar que os tratamentos com menores valores de MS tiveram um maior tempo de estabilidade para esta variável, enquanto o tratamento controle (58%) perdeu a estabilidade aeróbia a partir das 72 horas (Figura 1). Bem como a temperatura da silagem do tratamento controle aumento a partir de 60 horas de exposição do material ao ambiente (Figura 2). O aumento da temperatura reflete as reações exotérmicas que ocorrem na massa ensilada quando na presença de oxigênio, como a respiração e multiplicação de microrganismos deletérios à qualidade da silagem (PITT; MUCK; PICKERING, 1991).

Assim, os valores de pH encontrados nesse estudo ficaram dentro da faixa ótima para que haja um bom processo fermentativo, variando de 3,7 para 3,8. Esses valores corroboram com os encontrados por Gusha Ngongoni e Halimani, (2013) e; Çürek e Özen (2004), que avaliaram silagens de palma forrageira. Já as silagens de milho tendem a apresentar valores de pH mais elevados, como foi observado por Lopes *et al.* (2005).

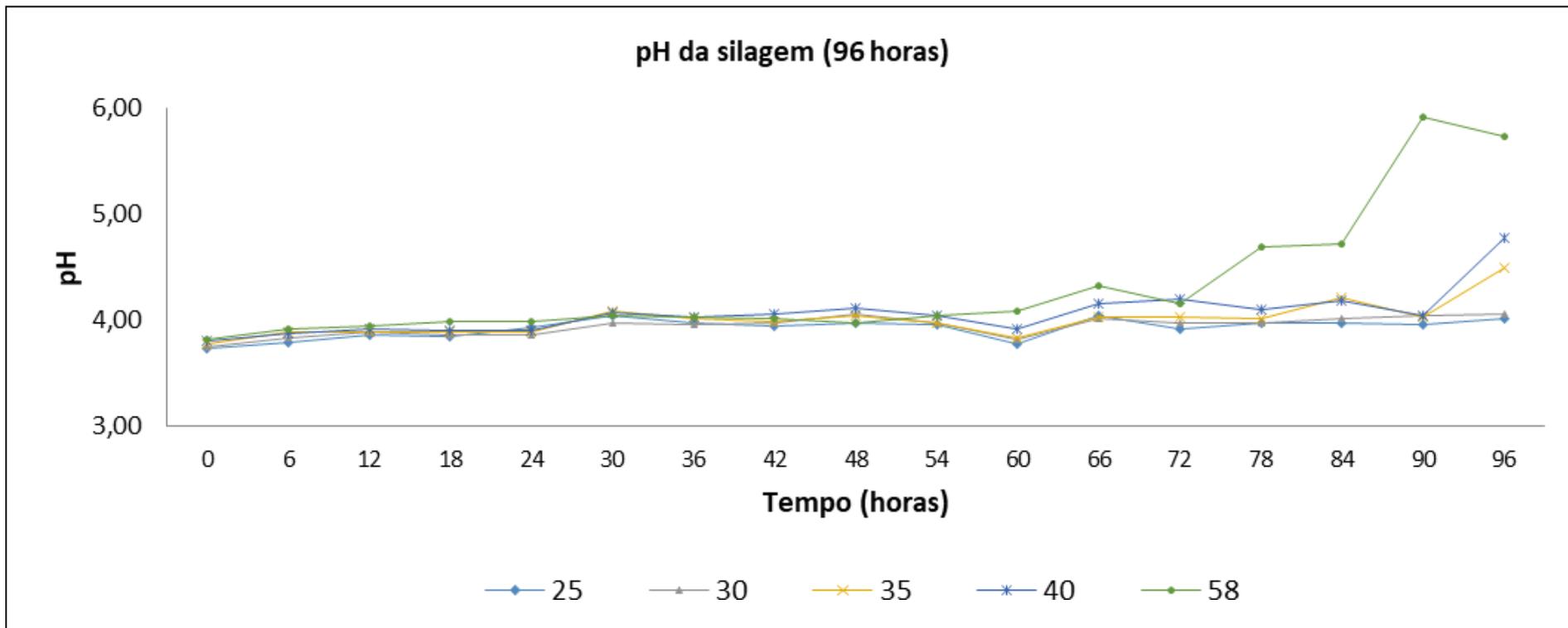


Figura 1. Variação do pH ao longo de 96 horas, em silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca.

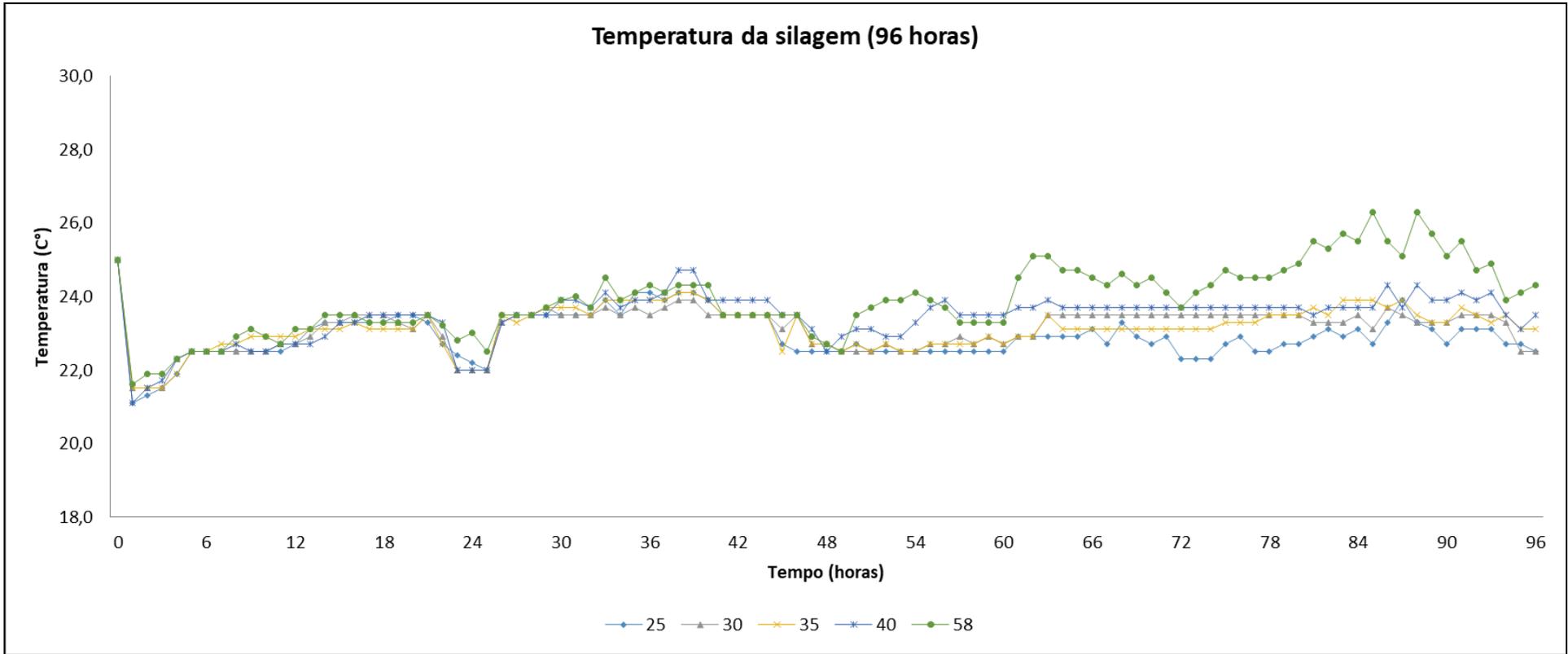


Figura 2. Variação da temperatura (°C) ao longo de 96 horas em silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca.

Quanto a composição química, à medida que houve um aumento na MS dos tratamentos, observou-se comportamento linear decrescente ( $P < 0,05$ ) para a MM.

Isso pode ser justificado pela menor porcentagem de palma nos tratamentos com maiores níveis de MS. Pois esta cactácea apresenta um elevado teor de matéria mineral devido à alta concentração dos macroatmentos minerais (DUBEUX JÚNIOR *et al.* 2010). Que de maneira geral, independente da espécie, apresenta teores de matéria mineral entre 96,7 a 126,2  $\text{g/kg}^{-1}$  (SANTOS *et al.* 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Conseqüentemente a matéria orgânica (MO), apresentou efeito linear crescente ( $P < 0,05$ ) com o aumento dos níveis de MS (Tabela 4).

A proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e a proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) não foram influenciados ( $P > 0,05$ ) com o aumento dos níveis de MS (Tabela 4). Apesar do uso da palma os teores de proteína bruta (PB) não diferiram entre os tratamentos (média de 86,75  $\text{g kg}^{-1}$ ). A fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDN<sub>cp</sub>) apresentou efeito linear decrescente, já o conteúdo de cinzas insolúvel em detergente neutro (CIDN) apresentaram efeito linear crescente ( $P < 0,05$ ).

Houve uma diminuição no conteúdo de fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína (FDN<sub>cp</sub>) com a elevação da MS. Isso ocorreu devido ao menor incremento de palma forrageira nos tratamentos, apesar da palma forrageira apresentar alto teor de água em seus cladódios, esta cactácea apresenta maior conteúdo de FDN<sub>cp</sub> quando comparado ao grão de milho (Tabela 1). Independentemente da idade da planta ou da espécie, pode-se encontrar valores para fibra em detergente neutro (FDN) entre 196,5 a 373,2  $\text{g/kg}$  de MS (MOURA, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A fibra em detergente ácido corrigida para cinzas e proteína (FDA<sub>cp</sub>) e as cinzas insolúvel em detergente ácido (CIDA), apresentaram efeito linear ( $P < 0,05$ ) decrescente ao passo que foi aumentado o nível de MS (Tabela 4). Houve efeito linear crescente ( $P < 0,05$ ) sobre os carboidratos totais (CHOT) com o aumento dos níveis de MS na silagem de milho. Mesmo comportamento foi observado para os carboidratos não fibrosos (CNF) (Tabela 4).

Tabela 4-Composição químico-bromatológica de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca.

ITENS	Níveis de Matéria Seca (%)					EPM	P-valor	
	25	30	35	40	58		L	Q
MS <sup>a</sup>	239,8*	264,3*	344,2*	368,6*	578,8	2,46	<,001	<,001
MM <sup>b</sup>	41,1*	34,9*	29,2*	27,2*	16,2	0,17	<,001	0,079
MO <sup>b</sup>	958,9*	965,1*	970,8*	972,8*	983,8	0,17	<,001	0,079
PB <sup>b</sup>	86,4	87,8	87,6	87,7	87,3	0,07	0,752	0,594
EE <sup>b</sup>	21,6	22,6	29,6	23,4	28,2	0,17	0,789	0,659
FDN <sub>CP</sub> <sup>b</sup>	280,6*	249,5*	240,0	229,0	224,7	0,59	<,001	0,929
CIDN <sup>b</sup>	11,3	8,0*	10,4*	11,1*	17,1	0,09	0,007	0,009
PIDN <sup>c</sup>	65,4	64,9	78,2	77,1	56,5	0,29	0,768	0,021
FDAC <sub>CP</sub> <sup>b</sup>	59,4*	55,2*	43,8*	42,3*	28,4	0,23	<,001	0,098
CIDA <sup>b</sup>	2,01*	2,16*	1,68	1,38	1,01	0,13	0,001	0,313
PIDA <sup>c</sup>	18,5	21,1	21,3	19,9	22,3	0,13	0,050	0,861
CHOT <sup>b</sup>	850,9*	854,7*	852,5*	873,6	868,2	0,24	0,001	0,719
CNF <sup>b</sup>	570,3	605,3	621,5	644,5	643,6	0,49	0,011	0,831
LIGNINA	6,19*	8,24*	8,29*	7,51*	1,11	0,65	0,008	<,001
NDT	71,4*	71,2*	72,7*	73,0*	83,5	0,81	<,001	<,001
Variável	Equações						R <sup>2</sup>	
MS	$\hat{Y} = 35,22 + 10,5X$						0,99	
MM	$\hat{Y} = 56,71 - 0,72X$						0,96	
MO	$\hat{Y} = 943,28 + 0,72X$						0,96	
FDN <sub>CP</sub>	$\hat{Y} = 298,5 - 1,43X$						0,67	
FDAC <sub>CP</sub>	$\hat{Y} = 80,84 - 0,93X$						0,95	
NDT	$\hat{Y} = 59,86 + 0,38X$						0,90	

<sup>a</sup>g kg de matéria natural; <sup>b</sup>g kg de MS; <sup>c</sup>g kg de PB; L = linear; Q = quadrático; EPM = erro padrão da média; MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; MM = matéria mineral; PB: proteína bruta; EE = extrato etéreo; FDN<sub>CP</sub> = fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; CIDN = cinzas insolúvel em detergente neutro; PIDN = proteína insolúvel em detergente ácido; FDAC<sub>CP</sub> = fibra em detergente ácido corrigida para cinzas e proteína; CIDA = cinzas insolúvel em detergente ácido; PIDA = proteína insolúvel em detergente ácido; CHOT: carboidratos totais; CNF: carboidratos não fibrosos; NDT= nutrientes digestíveis totais; \* Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Com relação ao fracionamento de carboidratos (Tabela 4), ocorreu efeito linear crescente (P<0,05) para a fração solúvel (A+B1) à medida que foi acrescido o nível de MS, comportamento contrário foi observado para a fibra potencialmente degradável (B2), e a fração indigestível (C) que reduziu (P<0,05).

Para os compostos nitrogenados, houve efeito linear decrescente ( $P>0,05$ ) com o aumento nos níveis de MS sobre a fração A dos compostos nitrogenados, referente aos teores de nitrogênio não proteico (NNP) e proteína solúvel (Tabela 5). Assim como a fração B1+B2 que faz menção aos valores com degradação ruminal rápida e intermediária.

Tabela 5-Fracionamento de carboidratos e de compostos nitrogenados de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca.

Item	Níveis de Matéria Seca (%)					EPM	P-valor		
	25	30	35	40	58		L	Q	
Fracionamento de Carboidratos									
A+B1 <sup>b</sup>	669,94*	708,14	718,56	737,96	741,14	9,214	0,0082	0,3897	
B2 <sup>b</sup>	278,33	247,2	236,89	211,88	253,14	8,623	0,1494	0,0702	
C <sup>b</sup>	44,012*	37,89*	37,96*	43,78*	4,978	3,385	<.0001	0,0006	
A <sup>b</sup>	415,6*	429,7*	453,6*	419,9*	325,3	11,15	0,001	0,0002	
Fracionamento de Compostos nitrogenados									
B1+B2 <sup>b</sup>	518,9*	505,4*	468,2*	503,0*	618,2	12,36	0,001	<.0001	
B3 <sup>b</sup>	46,9	43,7	56,9	57,2	34,2	3,310	0,587	0,0541	
C <sup>c</sup>	18,5	21,1	21,3	19,9	22,3	1,250	0,499	0,858	
Variável	Equações							R <sup>2</sup>	
C	$\hat{Y} = 76.53 - 1.14x$							0,78	
A	$\hat{Y} = 766,08 - 10,78X$							0,78	
B1+B2	$\hat{Y} = 393,3 + 3,45X$							0,60	

<sup>a</sup>g/kg de MS; <sup>b</sup>g/kg de CHOT; <sup>c</sup>g/kg de PB; PB A+B1 = fração dos carboidratos solúveis; B2= fibra potencialmente degradável; C = fibra indigestível; A= fração proteica solúvel e NNP; B1+B2 = proteína de rápida degradação e degradação intermediária; B3= proteína lentamente degradável; C = fração indigestível. \* Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Houve um aumento na concentração de carboidratos totais com o incremento dos níveis de MS. O aumento gradativo da matéria seca também proporcionou um maior incremento nos carboidratos solúveis (fração A+B1), que são os carboidratos de alta taxa de degradação, os quais são comumente encontrados na palma forrageira (BATISTA; CARVALHO; ROCHA FILHO, 2013). Bem como houve um maior conteúdo de nitrogênio não proteico (NNP), referente à fração A, em contra partida a fração B1+B2, referente à proteína de rápida degradação e degradação intermediária, diminuíram (Tabela 5).

O uso da palma forrageira favoreceu o acréscimo da fração proteica prontamente disponível (fração A) e a soma dessa fração com as de rápida degradação e intermediária (fração B1+B2), aliados a uma maior disponibilidade de carboidratos solúveis (fração A+B1) permitem uma maior utilização destas, aumentando o teor de proteína degradável no rúmen (PDR), o que poderia proporcionar uma maior utilização desses compostos pelos microrganismos ruminais (SNIFFEN *et al.*, 1992). Pois quando a forragem apresenta alto teor de proteína de rápida degradação, é essencial que haja uma fonte de carboidratos também com alta taxa de degradação ruminal, para que esses maximizem a síntese de proteína microbiana (NOCEK e RUSSEL, 1988).

Tabela 6- Parâmetros de produção de gases in vitro de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca obtidos pelo modelo logístico bicompartimental.

Item	Níveis de Matéria Seca (%)					EPM	P-valor	
	25	30	35	40	58		L	Q
Vt1	396,38*	390,92*	394,62*	428,21	455,75	6,663	0,001	0,023
Vt2	391,94*	387,65*	391,63*	424,59	443,93	6,269	0,004	0,067
Vf1	256,35*	247,76*	283,78	282,27	306,16	6,506	0,002	0,549
Kd1	0,040	0,039*	0,041	0,042	0,043	0,005	0,035	0,127
Vf2	135,58	139,88	107,84*	142,31	137,76	3,412	0,700	0,028
Kd2	0,13*	0,13*	0,16*	0,15*	0,19	0,006	<,001	0,037
$\lambda$	5,82*	6,04*	6,10	6,25	6,39	0,055	0,002	0,836
Variável	Equações					R <sup>2</sup>		
Vt1	$\hat{Y}=345,4 + 1,75x$					0,83		
Vt2	$\hat{Y}=339,63 + 1,82x$					0,85		
Vf1	$\hat{Y}=212,8 + 1,66x$					0,82		
Kd1	$\hat{Y}=0,1 + 0,002x$					0,9		
$\Lambda$	$\hat{Y}=5,5 + 0,02x$					0,9		

Vt1 = volume (mL/g MS) total observado; Vt2 = volume (mL/g MS) total encontrado a partir do modelo; Vf1 = volume (mL) de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF); kd1=taxa (%/h) específica de produção de gases pela degradação da fração A+B1 (CNF); Vf2 = volume (mL) de gases produzido pela degradação da fração B2 do Sistema de Cornell (CF); kd2 = taxa (%/h) específica de produção de gases pela degradação da fração B2 (CF);  $\lambda$  = latência (h). \* Diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

A fermentação dos CHOT apresentaram maiores valores de gases totais (Vt1) e gases encontrados a partir do modelo logístico bicompartimental (Vt2) para as silagens com a maior porcentagem de MS, que foram os tratamentos 40% MS (maior porcentagem

de milho) e 58% MS (tratamento controle) esses tratamentos possuem maiores valores de CNF e NDT quando comparados com os demais (Tabela 4). O que implica dizer, que tais tratamentos demonstram uma maior disponibilidade de energia para os microrganismos ruminais. Os dados referentes aos parâmetros de produção de gases *in vitro* (Tabela 6) auxiliam na avaliação dos alimentos, uma vez que a quantidade de gases produzidos de um alimento incubado refletem a produção de ácidos graxos de cadeia curta, os quais são a principal fonte de energia dos ruminantes (GETACHEW *et al.*, 2004).

O volume final de gás oriundo da degradação dos carboidratos não fibrosos (Vf1) variou de 256,35 a 306,16 mL/g de MS, apresentando efeito linear crescente ( $P < 0,05$ ) a medida que foi aumentado os níveis de MS dos tratamentos. A maior produção provenientes da fermentação dos CNF foi observada na silagem com 58% de MS (tratamento controle) enquanto a menor produção foi observada no tratamento com o 25% MS (maior quantidade de palma). Comportamento semelhante foi visto para o volume final de gás originário da degradação dos carboidratos fibrosos (Vf2), com ressalva ao tratamento com 35% MS o qual apresentou uma menor produção, diferindo do tratamento controle pelo teste de Dunnett ao nível de 5%.

A Latência ( $\lambda$ ), que corresponde ao tempo de adesão e colonização das bactérias (período essencial para início da degradação via atividade enzimática bacteriana) apresentou um efeito linear crescente ( $P < 0,05$ ) e o aumento nos níveis de MS dos tratamentos alterou de forma negativa o tempo de colonização. Estes tratamentos possuem maior quantidade de milho, este grão apresenta uma película externa, o pericarpo, que constitui uma barreira física que dificulta o ataque de enzimas digestivas microbianas (KOTARSKI; WANISKA; THURN, 1992). O que pode ser claramente visualizado nos resultados da taxa de digestão estimada para os CF (kd2), onde o tratamento com o maior nível de MS obteve a maior taxa de degradação.

A taxa de digestão estimada para os CNF (kd1) aumentou a medida que foi elevado os níveis de MS, apenas o tratamento com 30% de MS apresentou diferença pelo teste de Dunnett ao nível de 5%. Este tratamento demonstrou o menor valor para Kd1, o que pode ser parcialmente explicado pelos baixos teores da fração (A+B1) dos CHOT e seus altos teores de FDNcp, os quais podem ter retardado sua utilização pelos microrganismos ruminais, o que reflete na baixa produção total de gases Vt1 e Vt2, ao contrário do que ocorre para os tratamentos com os maiores níveis de MS, ou seja, aqueles cujo o percentual de milho foi em maior quantidade na mistura dos ingredientes, fato

ligado diretamente a uma maior disponibilidade de CHOT, sobre tudo da fração solúvel (A+B1), seus baixos teores de FDNcp somados a pequena disponibilidade de proteína solúvel e nitrogênio não proteico (fração A) (Tabela 5).

Na Figura 3, observa-se as taxas de produção de gases das silagens com níveis crescentes de MS avaliados nos diferentes tempos de fermentação. Ao passar de seis horas, período de latência dos tratamentos (6 a 12 horas), nota-se uma elevação na produção de gases.

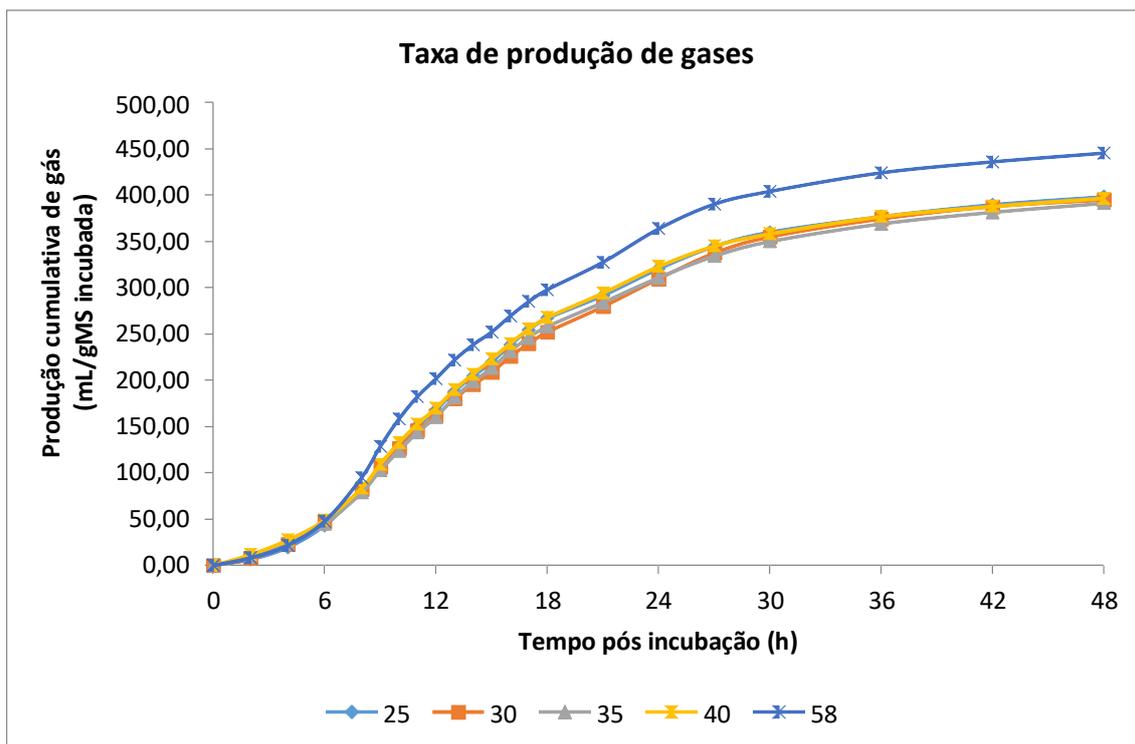


Figura 3. Volume de gases produzidos durante incubação in vitro de silagem de grão de milho reidratado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) com crescentes níveis de matéria seca.

Observa-se entre os períodos de fermentação 12 a 18 horas elevação na taxa de produção de gases, que provavelmente está relacionada à fermentação dos carboidratos fibrosos. Verifica-se também a superioridade da taxa de fermentação do tratamento com maior nível de MS (tratamento controle, apenas milho reidratado), quando comparado aos demais.

## **2.5 CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos no presente estudo aponta que a silagem com o nível de 40% de MS (38% de milho e 62% de palma forrageira), apresenta bom valor nutricional e um bom perfil fermentativo, conferindo ao material ensilado uma maior estabilidade após sua exposição a condições aeróbicas.

## 2.6 REFERÊNCIAS

ARAUJO, G.G.L. de. *et al.* Water and small ruminant production **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. supl. especial, p. 326-336, 2010.

BATISTA, A.M.V.; CARVALHO, F.F.R.; ROCHA FILHO, R.R. A palma forrageira na alimentação de ruminantes no semiárido brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 2. 2013, Itapetinga-BA. **Anais...** Itapetinga-BA: UESB, 2013. p. 166-196.

BOLSEN, K. K. *et al.* Effects of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 11, p. 3066 – 3082, 1992.

CAMPOS, F.S. *et al.* Influence of diets with silage from forage plants adapted to the semi-arid conditions on lamb quality and sensory attributes. **Meat Science**, v. 124, p. 61–68, 2017.

CORRALES-GARCÍA, J. *et al.* Acidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (*Opuntia* spp.). **Postharvest Biology and Technology**. v.32, n.2, p.169-174, 2004.

ÇÜREK, M.; N. ÖZEN. Feed value of Cactus and cactus silage. **Turkey Journal Veterinary Animal Science**, v. 28, n.4, p. 633-639, 2004.

DALL-ORSOLETTA, A.C. *et al.* Associative effects between *Arachis pintoi* and dwarf elephantgrass hays on nutritional value in sheep. **Animal Production Science**. v.58, p. 894-899, 2017.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2012. 214 p.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. *et al.* Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – genótipo IPA-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D.; LUCK, B. D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3937-3951, 2018.

FERRARETTO, L.F. *et al.* Efeito do tempo de ensilagem no perfil de fermentação e na digestibilidade ruminal do amido *in vitro* em milho reidratado com ou sem concentrações variadas de grãos de cerveja úmida. **Journal of Dairy Science**, v.101, p.4643-4649, 2018.

GANDRA J.R. *et al.* Amylolytic activity and chemical composition of rehydrated ground maize ensiled with  $\alpha$ -amylase or glucoamylase. **The Journal of Agricultural Science**, v.157, n.5, p. 449 – 455, 2019.

GETACHEW, G. *et al.* Relationship between chemical composition, dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 111, n. 1-4, p. 57-71, 2004.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications)**. Agricultural Handbook, 379. Washington, DC: USDA, 1970.

GUSHA, J.; NGONGONI, N.T.; HALIMANI, T.E. Nutritional composition and effective degradability of four forage trees grown for protein supplementation. **Online Journal of Animal Feed Research**, v. 3, n. 4, p. 170-175, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Semiárido Brasileiro**. Pesquisa Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=sobre>> Acesso em: 2 de setembro de 2020.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G. Princípios básicos da fermentação na ensilagem. In: REIS, R.A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiro**. 1 ed. Jaboticabal: Finep, p. 649-660, 2014.

KOTARSKI, S. F.; WANISKA, R. D.; THURN, K. K. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. **Journal Nutrition**, v.122, n.1, p.178-190, 1992.

KUNG JR., L. *et al.* Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. **Journal of Dairy Science**, v.83, n.7, p.1479-1486, 2000.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J., Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminants feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 57, n. 4, p. 347-358, 1996.

- LOPES, A.B.R.C. *et al.* Método de reconstituição da umidade de grãos de milho e a composição química da massa ensilada. **Bioscience Journal**, v.21, n.1, p. 95-101, 2005.
- MCCULLOUGH, M. E. Silage and silage fermentation. **Feed stuffs**, v.49, n.13, p.49-52, 1977.
- McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2th ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. p.226.
- MIZUBUTI, I. Y. *et al.* **Métodos laboratoriais de avaliação de alimentos para animais**. 1 ed. Londrina: Eduei, 2009. 228p.
- MOMBACH, M.A. *et al.* Rehydration of dry corn grain as an alternative for conservation purposes. **Australian Journal of Crop Science**, v.12, n.9, p.1472-1478, 2018.
- MOMBACH, M.A. *et al.* Silage of rehydrated corn grain. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 3, p. 959-966, 2019.
- MOURA, J. G. **Valor nutritivo e características anatômicas de clones de palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) com diferentes níveis de resistência a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell)**. 2012. 97p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- MUCK, R. E. Microbiologia da silagem e seu controle com aditivos. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.39, n. supl. especial, p.183-191, 2010.
- NOCEK, J. E.; RUSSELL, J. B. Protein and energy as an integrated system: relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n.8, p. 2070-2107, 1988.
- NOGUEIRA, M.S. **Perfil fermentativo e composição química de silagens de palma forrageira enriquecidas com fontes proteica, energética e fibrosa**. 2015. 58f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2015.
- NUNES, C.S. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.6, n.1, p.58–66, 2011.

- OLIVEIRA, J. P. F. de. *et al.* Carcass characteristics of lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v. 31, n.4, p. 529-536, 2018.
- OLIVEIRA, P.C.S. *et al.* Qualidade na produção de silagem de milho. **PUBVET**, v. 8, n. 4, Ed. 253, Art. 1672, 2014.
- PAHLOW, G. *et al.* Microbiology of ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.; HARRISON, J. R. (Ed.). **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, p.31-93, 2003
- PITT, R.E.; MUCK, R.E.; PICKERING, N.B. A model of aerobic fungal growth in silage. 2. Aerobic stability. **Grass and Forage Science**, v.46, n.3, p. 301-312, 1991.
- SANTOS, D.C *et al.* Usos e aplicações da Palma Forrageira. In: LOPES, E.B. **Palma Forrageira: cultivo uso atual e perspectivas de utilização no Semiárido nordestino**. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, p. 56-88, 2007.
- SANTOS, E. M. *et al.* Effect of regrowth interval and a microbial inoculant on the fermentation profile and dry matter recovery of guinea grass silages. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n.7, p. 4423-4432, 2014.
- SCHALCH, F.J. *et al.* Substituição do milho em grão moído pela polpa cítrica na desmama precoce de bezerros leiteiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.30, n.30, p.280-285, 2001.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R. E.; PELL, A. N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 11, p. 2980-2991, 1994.
- SCHULTZ, A.R. **Introdução ao estudo da botânica sistemática**. Porto Alegre: Livraria O Globo, 562p, 1943.
- SILVA, J.M. *et al.* Influência de inoculante bacteriano-enzimático sobre a microbiota e qualidade nutricional de silagens de grãos úmidos de milho. **Ciência Animal Brasileira**, v.11, n.1, p.62-72, 2010.
- SILVA, T.G.F. *et al.* Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184-191, 2014.

SNIFFEN, C. J. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 7, p. 446-3562–3577, 1992.

THEODOROU, M. K. *et al.* A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 185-197, 1994.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

WEISS, W. P. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 61. 1999, Ithaca. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1999. p. 176-185.

ZANINE, A.M. *et al.* Características fermentativas e composição químico-bromatológica de silagens de capim-elefante com ou sem *Lactobacillus plantarum* e farelo de trigo isoladamente ou em combinação. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 4, p. 621-628, 2007.