

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO**

**RABECHE SCHMITH**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO E TAXA DE PASSAGEM DA SILAGEM  
DO RESÍDUO CULTURAL DO ABACAXI UTILIZADO NA  
ALIMENTAÇÃO DE OVINOS**

**Campos dos Goytacazes-RJ**

**2023**

**RABECHE SCHMITH**

**AVALIAÇÃO DO CONSUMO E TAXA DE PASSAGEM DA SILAGEM  
DO RESÍDUO CULTURAL DO ABACAXI UTILIZADO NA  
ALIMENTAÇÃO DE OVINOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.  
Orientador: Prof. Dr. Alberto Magno Fernandes.  
Coorientador: Prof. Dr. Tadeu Silva de Oliveira.

Campos dos Goytacazes-RJ

2023

### FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

S355

Schmith, Rabeche.

AVALIAÇÃO DO CONSUMO E TAXA DE PASSAGEM DA SILAGEM DO RESÍDUO CULTURAL DO ABACAXI UTILIZADO NA ALIMENTAÇÃO DE OVINOS / Rabeche Schmith. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

65 f.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2023.

Orientador: Alberto Magno Fernandes.

Coorientador: Tadeu Silva de Oliveira.

1. Fibra. 2. Subprodutos. 3. Ruminantes . 4. Taxa de passagem. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 636

RABECHE SCHMITH

AVALIAÇÃO DO CONSUMO E TAXA DE PASSAGEM DA SILAGEM DO  
RESÍDUO CULTURAL DO ABACAXI UTILIZADO NA ALIMENTAÇÃO DE  
OVINOS

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal na área de concentração de Zootecnia.

Aprovada em 18 de janeiro de 2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr Tadeu Silva de Oliveira (Membro Interno)  
Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro (UENF)

---

Dr.<sup>a</sup> Elizabeth Fonsêca Processi (Membro Externo)  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr. Michele Gabriel Camilo (Membro Externo)  
Escola Técnica Estadual Agrícola Antônio Sarlo (ETEAAS)

---

Prof. Dr. Alberto Magno Fernandes (Orientador)  
Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro (UENF)

Campos dos Goytacazes-RJ

2023

## DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus por ser meu apoio e guia durante a jornada.

Ao meu querido avô, Estomiro Schmith, *in memoriam*, meu maior incentivador, por todo apoio, amizade e força em todos os momentos da minha vida.

A minha família e amigos que sempre estiveram presentes direta e indiretamente em todos os momentos de minha formação. Em especial a minha mãe, Vanilda Schmith, por todo apoio e força que me ofereceu ao longo do período.

Dedico também a todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por estar presente em todos os momentos, por iluminar o meu caminho e por nunca soltar a minha mão.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Alberto Magno Fernandes, por ter-me deixado fazer parte do seu grupo de pesquisa e ter acreditado em mim e na minha capacidade. Obrigada por toda a paciência, conselhos, empenho e por ter-me oportunizado a primeira aula para alunos da graduação, experiência inesquecível. Muito obrigada por ter-me corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar.

Agradeço, de igual forma, ao meu coorientador, Prof. Dr. Tadeu Silva de Oliveira, pelas conversas e pela ajuda preciosa dada ao desenvolvimento do meu trabalho. Sua contribuição foi essencial para a concretização de todas as etapas.

À Prof. Dra. Rita, quero expressar o meu muito obrigada pela forma amiga e generosa com que sempre me incentivou e ajudou.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus amigos/colegas da Pós-Graduação: Elvanio, Raiany, Michele, Ismael, Elon, Junior e Lilian, cujo apoio e amizade estiveram presentes em todos os momentos.

À equipe de bolsistas e ICs do Nupro (Kissyla, Giuliano, Kevin, Carol, Bruno e Luisa) pela ajuda no desenvolvimento do experimento. Aos bolsistas e ICs que chegaram depois (Ana, Istefany, Lia, Manu, Miguel e Cleissa) que não mediram esforços para ajudar no manejo dos animais. Muito obrigada, equipe, aprendi muito com vocês!

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, a toda a equipe de funcionários e aos professores do Laboratório de Zootecnia e do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, pela dedicação, pelo respeito, pela amizade, pela competência e por me proporcionarem esta experiência ímpar.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro

concedido durante todo o período no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

À minha família, em especial a minha mãe, que sempre esteve ao meu lado me apoiando ao longo de toda a trajetória. Obrigada por entenderem a minha ausência nas datas comemorativas e nos momentos difíceis.

À Raiany Resende, amiga que fiz durante a graduação e que ajudou a entrar na Pós-Graduação. Obrigada por todo apoio ao longo desta caminhada. Dividimos a casa, os sonhos e as dificuldades. Ter você e o Simbinha por perto foi essencial para que eu conseguisse seguir em frente. Muito obrigada por tudo!

Ao meu amigo Elvanio Mozelli, pelo companheirismo diário no laboratório e na vida. Você tornou os dias de trabalho mais leves e divertidos. Obrigada por me ajudar em todos os momentos que precisei (apesar de não ter me ajudado nas minhas análises).

Agradeço a todos os amigos que fiz em Campos que direta e indiretamente me ajudaram (Michele, Isabella, Natiele, Gêssica, Bruna, Brenda, o pessoal da academia) e aos amigos da graduação por sempre me apoiarem, em especial Winny Silva e Ana Lara. Ao Gustavo Salvati, por toda ajuda nos estudos de nutrição animal.

A todos os amigos que a vida me presenteou e que me acompanharam durante a trajetória.

## RESUMO

**SCHMITH, Rabeche, Me., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Janeiro de 2023, Avaliação do consumo e taxa de passagem da silagem do resíduo cultural do abacaxi utilizado na alimentação de ovinos. Alberto Magno Fernandes.**

O Brasil é o terceiro maior produtor de abacaxi do mundo. Durante o cultivo do abacaxi, são geradas grandes quantidades de resíduo cultural que possui alta potencialidade de utilização na dieta como fonte de forragem para ruminantes. Entretanto, para que esse recurso alimentar possa ser empregado com mais segurança, é necessário conhecer sobre as variáveis que afetam seu desempenho. Dessa forma, objetivou-se avaliar o consumo, a digestibilidade da fibra e a taxa de passagem da silagem do resíduo da cultura do abacaxi (SRCA) em ovinos alimentados com diferentes planos nutricionais. O experimento foi conduzido nas instalações do Setor de Ovinos, no Galpão de Metabolismo da Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes/RJ. Foram utilizados 8 animais em crescimento e 4 adultos, machos, castrados, previamente vermifugados, alojados em gaiolas metabólicas individuais com comedouro e bebedouro. Os tratamentos foram diferentes planos nutricionais (L), L1 manutenção (M) para animais adultos; L2=1,5M e L3=2,5M para os em crescimento, em que  $L=ME/Mm$ , sendo ME a energia metabolizável e Mm a manutenção. As dietas foram compostas por SRCA, milho moído e farelo de soja. Os animais em crescimento foram distribuídos em um ensaio de reversão tipo switch-back. As análises bromatológicas e da cinética de trânsito de partículas foram realizadas no laboratório de zootecnia da UENF. Os dados foram estudados por meio de análise de regressão utilizando o procedimento MIXED do SAS, com significância de 0,05. Os dados de consumo de matéria seca e da fração fibrosa foram escalonados para o peso metabólico (peso vivo)<sup>3/4</sup> e analisados como medida repetida no tempo utilizando a instrução REPEATED do SAS. Foi observado que os consumos de matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN) e lignina (LIG) comportaram-se de maneira linear crescente ( $P<0,001$ ), conforme o incremento do L, enquanto a digestibilidade da FDN (dFDN) não foi afetada. Em relação aos parâmetros da cinética de trânsito de partículas sólidas, foi constatado numericamente maior taxa de escape do *pool* de partículas com indicador do rúmen para o restante do trato gastrointestinal ( $K_e$ ), menor tempo de trânsito do indicador entre sua saída do orifício retículo-omasal e o aparecimento nas fezes (tt) ( $P<0,002$ ), menor taxa de escape de partículas da *raft* para o *pool* ( $\lambda_1$ ) e menor concentração do cromo (g/kg) nas partículas de fezes no L3 ( $P<0,038$ ). Acerca dos parâmetros da cinética de trânsito de partículas líquidas, foi notado menor tempo de permanência ( $\lambda_2$ ) e menor concentração de cobalto (mg/kg) nas partículas de fezes no L3 ( $P<0,016$ ). O pico da excreção dos indicadores de fase sólida (cromo g/kg) e líquida (cobalto mg/kg) nas fezes dos animais foi atingido mais rapidamente no L3. Foi verificado menor tempo médio de retenção rúmen-retículo (TMR-RR), menor tempo médio de retenção rúmen-retículo fase líquida (TRRR), maior taxa de passagem ( $K_p$ ) e maior taxa de reciclagem na fase líquida (RR) no L3. O aumento dos planos nutricionais promoveu aumento do consumo de MS, FDN e lignina associado à diminuição do TMR-RR e TRRR e aumento do  $K_p$  e da RR. A dFDN não foi influenciada nos diferentes planos.

**Palavras-chave:** fibra, subprodutos, ruminantes, taxa de passagem



## ABSTRACT

**SCHMITH, Rabeche, Me., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. January 2023, Evaluation of intake and passage rate of pineapple crop waste silage in sheep feed. Alberto Magno Fernandes.**

Brazil is the third largest producer of pineapple in the world. Pineapple crops generates great amounts of waste that has high potential to be used in the diet as a roughage source for ruminants. However, in order for this food resource to be used more safely, it is necessary to know the variables that affect performance. Thus, the objective was to evaluate the intake, fiber digestibility, and passage rate of pineapple crop waste silage (PCWS) in sheep fed different nutritional planes. The experiment was conducted at the facilities of the Sheep Sector, in the Metabolism Shed of the Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes/RJ. We used 8 growing animals and 4 adults, males, castrated, dewormed, and housed in individual metabolic cages with feeder and drinker. The treatments were different nutritional planes (L), L1 maintenance (M) for adult animals; L2=1.5 M and L3=2.5 M for growing animals, where  $L=ME/Mm$ , being ME the metabolizable energy and Mm the maintenance. The diets were composed of PCWS, ground corn, and soybean meal. The growing animals were distributed in a switch-back reversal trial. Chemical and particle kinetics analyses were performed at the Animal Science laboratory of the UENF. The data were analyzed through regression analysis using the MIXED procedure of the SAS program, with 0.05 significance. Dry matter and fiber fraction intakes were staggered to metabolic weight (live weight)<sup>3/4</sup> and analyzed as a repeated measure over time using the REPEATED SAS instruction. It was observed that the intake of dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF), and lignin (LIG) displayed an increasing linear behavior ( $P<0.001$ ) with the increase in L, while the digestibility of NDF (dNDF) was not affected. Regarding the parameters of the solid particle kinetics, it was observed a numerically higher escape rate of the *pool* of particles with indicator from the rumen to the rest of the gastrointestinal tract ( $K_e$ ), shorter time of the indicator between the exit from the reticulo-omasal orifice and the appearance in the feces (tt) ( $P<0.002$ ), lower escape rate of particles from the *raft* to the *pool* ( $\lambda_1$ ) and lower concentration of chromium (g/kg) in feces particles in L3 ( $P<0.038$ ). Concerning the parameters of the liquid particle kinetics, a shorter residence time ( $\lambda_2$ ) and a lower cobalt concentration (mg/kg) in the feces particles for L3 were observed ( $P<0.016$ ). The excretion peak of solid (chromium g/kg) and liquid (cobalt mg/kg) phase indicators in the feces of animals were reached faster for L3. It was found a lower average rumen-reticulum retention time (TMR-RR), lower average rumen-reticulum retention time liquid phase (TRRR), higher passage rate ( $K_p$ ) and higher recycling rate in the liquid phase (RR) for L3. The increase in nutritional planes increased intake of DM, NDF, and lignin associated with decreased TMR-RR and TRRR and increased  $K_p$  and RR. The dNDF was not influenced by the different planes.

**Keywords:** fiber, by-products, ruminants, passage rate

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Perfis de excreção dos indicadores fecais em função dos planos de nutrição (L, adimensional) ..... **45**
- Figura 2.** Influência dos planos de nutrição na cinética de trânsito de sólidos e líquidos em ovinos mestiços (Dorper × Santa Inês) ..... **46**

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Composição química das rações fornecidas nos planos nutricionais, expressa em g/kg de MS ..... 35

**Tabela 2.** Consumo da matéria seca, da fração fibrosa e a digestibilidade da fibra em detergente neutro por ovinos mestiços (Dorper × Santa Inês) nos diferentes planos nutricionais ..... 42

**Tabela 3.** Parâmetros da cinética de trânsito de partículas sólidas e líquidas em ovinos mestiços (Dorper × Santa Inês) nos diferentes planos nutricionais ..... 43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGCC	Ácido Graxos de Cadeia Curta
CE	Carboidratos Estrutural
CF	Carboidratos Fibrosos
CNE	Carboidratos Não Estruturais
CNF	Carboidratos Não Fibrosos
CMS	Consumo de Matéria Seca
Co	Cobalto
CO1	Concentração do marcador de partículas cromo (g/kg) nas fezes
CO2	Concentração do marcador de partículas cobalto (mg/kg) nas fezes
Co-EDTA	Cobalto-EDTA
Cr	Cromo
Cu <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	Sulfato de Cobre
CZ	Cinzas
dFDN	Digestibilidade da Fibra Insolúvel em Detergente Neutro
EM	Energia Metabolizável
FB	Fibra Bruta
FDA	Fibra Insolúvel em Detergente Ácido
FDAi	Fibra Insolúvel em Detergente Ácido Indigestível
FDN	Fibra Insolúvel em Detergente Neutro
FDNe	FDN Efetiva
FDNfe	FDN Fisicamente Efetiva
FDNi	Fibra Insolúvel em Detergente Neutro Indigestível
g	Gramas
GB	Gordura Bruta
HCl	Ácido Clorídrico
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
Ke	Taxa de escape do <i>pool</i> de partículas escapáveis marcadas com indicador do rúmen para o restante do trato gastrintestinal (h)

Kp	Taxa de passagem da digesta no rúmen-retículo
L	Plano Nutricional
LIG	Lignina
M	Mantença
mm	Exigência de Energia Metabolizável dos animais
MN	Matéria Natural
MS	Matéria Seca
MSi	Matéria Seca Indigestível
N	Nitrogênio
Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dicromato de Sódio
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato De Sódio
NDT	Nutrientes Digestíveis Totais
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Fosfato de Amônio Monobásico PA (Difosfato)
PB	Proteína Bruta
RR	Rúmen-retículo
TMR-RR	Tempo Médio de Retenção no Rúmen-retículo
TRRR	Tempo de Retenção no Rúmen-retículo na Fase Líquida
TGI	Trato Gastrointestinal
tt	Tempo de trânsito do indicador entre sua saída do orifício retículo-omasal e o aparecimento nas fezes (h)
λ <sub>1</sub>	Taxa fracionária assintótica dependente da idade para transferência de partículas da <i>raft</i> para o <i>pool</i> escapável (h)
λ <sub>2</sub>	Parâmetro de taxa para tempos de residência distribuídos em gama
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>15</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
3.1 SILAGEM DO RESÍDUO DA LAVOURA DO ABACAXI .....	16
3.2 FIBRA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES .....	20
<b>3.2.1 Consumo de FDN</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2.2 Digestibilidade da fibra da dieta</b> .....	<b>26</b>
3.3 CINÉTICA DE TRÂNSITO DE PARTÍCULAS .....	29
<b>3.3.1 Indicadores externos para estudo de cinética de trânsito de partículas em ruminantes</b> .....	<b>32</b>
3.3.1.1 Fibra mordente com cromo (Cr) .....	32
<b>3.3.2 Taxa de passagem da fase líquida</b> .....	<b>33</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
4.1. LOCALIZAÇÃO E INSTALAÇÕES .....	35
4.2 PLANOS NUTRICIONAIS, ANIMAIS E MANEJO .....	35
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ENSAIO DE DIGESTÃO .....	36
4.4 ANÁLISES QUÍMICAS DAS DIETAS, DAS SOBRAS E DAS FEZES .....	36
4.5 CINÉTICA DE TRÂNSITO DE PARTÍCULAS SÓLIDA .....	37
4.6 CINÉTICA DE PASSAGEM DE PARTÍCULAS DA FASE LÍQUIDA .....	38
4.7 MODELOS UTILIZADOS NA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS DA CINÉTICA DE TRÂNSITO DE PARTÍCULAS .....	38
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	40
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>41</b>
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>53</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de abacaxi (*Ananas comosus L. Merrill*) do mundo (FAO, 2022), apresentando uma produção de 1,5 milhões de toneladas por ano (IBGE, 2022). O estado do Rio de Janeiro é um dos maiores produtores de abacaxi do Brasil e a produção concentra-se principalmente na região do Norte Fluminense, com destaque para a cidade de São Francisco de Itabapoana (IBGE, 2022). Durante o cultivo e industrialização do abacaxi, são geradas grandes quantidades de resíduo cultural (planta que permanece no campo) e industrial (processamento do fruto para obtenção da polpa) (LALLO et al., 2003; ANTUNES et al., 2018) e ambos os resíduos podem ser empregados na alimentação de ruminantes.

Um grande volume de resíduo cultural é produzido anualmente e muitas vezes, por falta de informação, são perdidos no campo e podem servir como meio de disseminação de pragas, especialmente a cochonilha branca, para o próximo plantio (SILVA, 2014). O resíduo cultural tem alta potencialidade de utilização na dieta como fonte de forragem alternativa para ruminantes em períodos de escassez (FERREIRA et al., 2009), assim como, de reduzir o custo alimentar e manter o desempenho animal (PINHEIRO, HENRIQUE e SILVA, 2019), visto que a alimentação, sem dúvidas, é um dos aspectos que mais impacta nos custos da produção pecuária e a demanda pela utilização de alimentos alternativos é crescente no cenário atual.

A determinação do valor nutricional dos resíduos da cultura do abacaxi é um passo importante para definir os níveis adequados de inclusão na formulação de dietas de ruminantes. Em geral, o resíduo da lavoura é considerado uma fonte de alimento de baixa qualidade, por apresentar baixos teores de proteína bruta e elevado percentual de fibra em detergente neutro (FERREIRA et al., 2009). A fibra é um componente crucial da dieta para fornecimento de energia e manutenção da saúde ruminal, contudo, se possuir baixa digestibilidade, restringe o consumo e, conseqüentemente, o desempenho dos ruminantes (VAN SOEST, 1994). Isso porque ela possui uma fração potencialmente digestível e uma fração indigestível que variam conforme diferenças na sua composição química e estrutural, dependendo da espécie da planta e estágio de maturidade (SNIFFEN et al., 1992; WEISS, 1993; VAN SOEST, 1994).

A hipótese deste estudo é que a inclusão da silagem de resíduo cultural do abacaxi (SRCA) em crescentes planos nutricionais afeta o consumo e a taxa de passagem da dieta no trato gastrointestinal.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo do presente estudo foi avaliar o consumo, a digestibilidade da fibra e a taxa de passagem de partículas da silagem do resíduo da cultura do abacaxi em ovinos alimentados com diferentes planos nutricionais.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 SILAGEM DO RESÍDUO DA LAVOURA DO ABACAXI

O abacaxi (*Ananas comosus* L., *Merril*) consiste em uma espécie oriunda da América do Sul, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo (CUTRIM et al., 2012), pertencente à família Bromeliaceae e ao gênero *Ananas*. A produção do fruto concentra-se principalmente nos países da Ásia e América. A nível mundial, as Filipinas lideram a produção, seguida por Costa Rica, Brasil, China e Índia. Em 2021, o Brasil produziu cerca de 1.545.036 toneladas de frutos de abacaxi, com rendimento médio de 24.297 frutos/ha (IBGE, 2022). Segundo dados da CONAB (2020), o fruto é produzido praticamente em todo o território nacional, sendo as regiões Nordeste, Norte e Sudeste as principais produtoras.

O estado do Pará é o maior produtor do fruto, com 361 milhões de unidades, seguido pela Paraíba (263 milhões), Minas Gerais (156 milhões), Rio de Janeiro (114 milhões) e Tocantins (97 milhões) (IBGE, 2022). Sendo o estado do Rio de Janeiro um importante produtor de abacaxi a nível nacional, a produção no estado se concentra principalmente na região do Norte Fluminense, onde se destacam os municípios de São Francisco de Itabapoana, São João da Barra, Campos dos Goytacazes e Quissamã (IBGE, 2022). Desde o ano de 2018, São Francisco de Itabapoana conquistou o título de segundo maior produtor de abacaxi do Brasil, segundo dados do IBGE (2022).

Todas as cultivares do abacaxi de interesse frutícola pertencem à espécie *Ananas comosus* (L.) *Merril*. Dentre as principais cultivares produzidas em todo o mundo destacam-se: *Smooth Cayenne* (*Cayenne*), *Singapore Spanish*, *Queen*, *Red Spanish* (*Española Roja*), *Pérola* e *Perolera* (GRANADA, 2004). A nível mundial, a *Smooth Cayenne* é a principal cultivar utilizada nas lavouras, enquanto no Brasil, as mais empregadas são *Smooth Cayenne* e *Pérola* (MELLO, 2016).

O abacaxi pode ser utilizado na forma natural, ou pode ser industrializado para a extração do suco, fruto em calda ou enlatado, geleia, além de diversos subprodutos que podem ser confeccionados, apresentando um rendimento médio de 35% (GOWDA et al., 2015). Cerca de 70% a 75% dos produtos da agroindústria do abacaxi são subprodutos, como casca, coroa, miolo, caule e folha que estão disponíveis em grandes quantidades durante um curto período, a época da colheita (KYAWT, et al., 2020).

Do plantio à industrialização do abacaxi, é possível obter dois tipos de resíduos: o resíduo cultural e o industrial. A parte vegetativa da planta (folhas e caule) que fica no campo

após a colheita dos frutos são designados como resíduo cultural (SANTOS et al., 2014). O resíduo industrial é composto principalmente por cascas, resíduo de polpas, coroas e talos (LALLO et al., 2003). Ambos podem ser utilizados na alimentação de ruminantes (LALLO et al., 2003).

Santos et al. (2014) reportaram uma produção média de 50 toneladas de matéria natural/ha de resíduos culturais do abacaxi e podendo variar de acordo com a cultivar e a densidade de plantio. Em um estudo mais recente, Mello (2016) relatou produções de 15 a 30 toneladas de matéria seca por hectare de resíduo (aproximadamente 0,4 a 0,6 kg/planta).

Diversas pesquisas buscaram incluir resíduos do abacaxizeiro na alimentação animal e avaliar seus efeitos, entretanto, podem existir algumas diferenças nos resultados a depender da fração da fruta que é aproveitada (resíduo industrial ou cultural ou ambos). Assim como sua composição química varia significativamente em razão do tipo de cultivar, maturidade, qualidade da produção fotossintética (conteúdo de açúcar), tratos culturais e tecnologia empregada na lavoura (MULLER, 1978; ALVES et al., 2016).

A prática do uso de resíduos de abacaxi como ração para ruminantes é bem conhecida em países tropicais e subtropicais por permitir a redução dos custos de alimentação (KYAWT et al., 2020). Além disso, possibilita diminuir os danos ambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos gerados no decorrer do processamento do abacaxi e também evita que os resíduos culturais quando deixados no solo sirvam como fonte de proliferação da cochonilha branca no próximo plantio (SILVA, 2014). Por fim, agrega valor ao material que até então tinha baixo ou nenhum valor econômico (GOWDA et al., 2015).

Marin et al. (2002) destacam que a planta pode ser fornecida na forma *in natura* para ruminantes, como farinha, feno, farelo ou silagem. Segundo os autores, além de serem digestíveis e ricas em carboidratos, todas essas formas de proveito da planta são palatáveis para os animais.

A maior disponibilidade do resíduo cultural do abacaxi ocorre durante o verão, momento esse que coincide com abundância de pastagens com alto valor nutritivo e baixo custo (Alves et al., 2016). Quando não usados nesse tempo, são desperdiçados no campo e contaminados com o meio ambiente. Dentre as técnicas mais aplicáveis para conservação do resíduo de abacaxi na fazenda incluem-se a fenação e a ensilagem (MARIN et al., 2002; ALVES et al., 2016).

Herrera et al. (2014) avaliaram a composição bromatológica do subproduto cultural do abacaxi e reportaram uma composição média de 15,0% de matéria seca (MS), 10,1% de proteína bruta (PB); 53,4% de fibra em detergente neutro (FDN); 32,6% de fibra em detergente ácido

(FDA); 25,8% de celulose; 17,3% de hemicelulose; 3,4% de lignina (LIG); 24,7% de carboidratos não fibrosos (CNF); e 62,8% de nutrientes digestíveis totais (NDT). De modo geral, deve-se tomar um certo cuidado na hora de comparar os trabalhos disponíveis, pois a composição química varia em função do resíduo utilizado (cultural/industrial) e da proporção que foi empregada. Na maioria dos casos, o resíduo cultural apresenta baixo teor de proteína e alto teor de fibra (FERREIRA et al., 2009; UPADHYAY, LAMA e TAWATA, 2010).

Carvalho et al. (1991) observaram que a época de colheita da planta (abril e outubro) afeta a composição bromatológica e recomendaram a utilização das folhas logo após a colheita dos frutos a fim de obter alta massa foliar com teores proteicos elevados e fibra em detergente neutro reduzido. A planta de abacaxi não apresenta nenhuma substância tóxica conhecida e dispõe de fotoquímicos benéficos como a bromelina, enzima proteolítica que é identificada em elevada concentração no caule da planta (MAURER, 2001).

Grande parte das pesquisas publicadas concentram-se na utilização do resíduo industrial do abacaxi. Em relação a utilização do resíduo cultural, Caetano et al. (2014) avaliaram a cinética de degradação ruminal da silagem de resíduos culturais de abacaxi (SRCA) submetidos a diferentes níveis de compactação durante a ensilagem (600, 700, 900 e 1000 kg/m<sup>3</sup>). A silagem compactada a 900 kg/m<sup>3</sup> apresentou maior fração potencialmente digestível (0.627±0.053), contudo, os autores recomendaram a utilização da silagem com densidade de 750 kg/m<sup>3</sup>, por apresentar menor custo e menor tempo médio de retenção no rúmen-retículo, aumentando assim a degradação ruminal e a dinâmica de passagem.

Santos et al. (2014) analisaram a taxa de desaparecimento e a digestibilidade da SRCA em substituição à silagem de cana-de-açúcar aditivada com 0,5% de ureia na alimentação de ovinos e constataram que houve aumento da taxa de desaparecimento de MS (8,1%/h vs. 7,0%/h;  $P < 0,05$ ) do rúmen com a adição de SRCA e diminuição do pH ruminal de forma linear (6,16 vs. 6,63). Não houve diferença entre os tratamentos para o consumo de MS, digestibilidade da MS e da FDN. Em contrapartida, Fernandes (2018) observou que a SRCA possui uma lenta degradação ruminal devido a sua natureza fibrosa e que promoveu um enchimento ruminal maior ao avaliar os parâmetros cinéticos de degradação ruminal *in vitro* de três silagens, uma confeccionada com SRCA e outras duas silagens de *Cynodon* cv. Jiggs com adição de diferentes coprodutos da agroindústria (farelo de canola e torta de algodão).

Mello et al. (2021) analisaram nutricionalmente o uso da SRCA na alimentação de touros (holandeses x gir) em diferentes planos nutricionais (L) e observaram que a inclusão de 2,7 x manutenção não comprometeu o desempenho dos touros em crescimento, entretanto, o aumento dos planos nutricionais reduziu a energia digestível (8,50 vs. 6,90 MJ/Kg MS) e

energia metabolizável (5,95 vs. 1,46 MJ/Kg MS) da dieta. Cordeiro et al. (2022) também avaliaram a SRCA na alimentação de ovinos em diferentes L e detectaram que o aumento do L elevou o consumo de MS (41,9 vs. 71,4 g/KgPV<sup>3/4</sup>), contudo, os níveis crescentes nos L não influenciaram a digestibilidade da PB (54,82 vs. 54,16 g/Kg MS) e da FDN (130,75 vs. 132,96 g/Kg MS) e que a eficiência de síntese microbiana diminuiu linearmente com o aumento do L (71,46 vs. 35,55 g matéria natural/Kg NDT).

Damas (2021) analisou a substituição parcial da SRCA por palma forrageira (0; 29,2; 58,4 e 87,6%) em ovinos e relatou uma redução no consumo de energia (933,4 vs. 617,3) quando SRCA foi substituída por palma forrageira. Silva (2018) observou que a adição do feno de leucena (0; 10; 20; 30 e 40%) à SRCA promoveu melhorias na composição química e diminuição nas perdas da silagem, porém, dificultou a degradabilidade da MS (59,85 vs. 48,45 g/Kg MS a 2%/h), sendo indicada a adição de 10% de feno de leucena à silagem.

### 3.2 FIBRA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES

Em nutrição de ruminantes, a fibra é uma importante fonte de energia que age estimulando a mastigação, salivação, ruminação, motilidade do trato gastrointestinal (TGI), saúde, regula o consumo, produz precursores da gordura do leite e forma o *mat* ruminal que é vital para digestão de partículas sólidas dos alimentos no rúmen (MERTENS, 1997). Mertens (1997) definiu a fibra como a fração do alimento indigestível ou de lenta digestão que ocupa espaço no TGI.

A partir disso, a fibra é utilizada para caracterizar os alimentos e para determinar limites máximos de ingredientes nas rações, já que é um componente crucial na dieta que restringe a produtividade animal quando fornecida em excesso ou abaixo do recomendado (MINSON, 1990; VAN SOEST, 1994). De modo geral, a fibra pode ser conceituada como sendo o componente estrutural das plantas (parede celular), a fração menos digestível dos alimentos, a fração do alimento que não é digerida por enzimas de mamíferos ou a fração do alimento que promove a ruminação e a saúde do rúmen (WEISS, 1993).

As forragens compõem de 40 a 100% das dietas de ruminantes e são vitais para manter a produtividade e saúde (PEYRAUD et al., 1996; BARGO et al., 2002). No decorrer do desenvolvimento vegetativo das plantas, elas sofrem modificações estruturais que alteram a concentração dos seus constituintes, bem como seu valor nutritivo. A disponibilidade dos carboidratos da forragem como nutriente para o animal depende dos açúcares que os compõem, das ligações estabelecidas entre eles e de outros fatores de caráter físico-químico (VAN SOEST, 1994).

Os carboidratos utilizados na alimentação de ruminantes podem ser classificados de acordo com sua função na planta em Carboidratos Não Estruturais (CNE) e Carboidratos Estruturais (CE). Os CNE são constituídos pelos carboidratos encontrados no conteúdo celular vegetal tais como as unidades de glicose e frutose e os carboidratos de reserva como o amido, sacarose e as frutanas (SNIFFEN et al., 1992). São importantes pois exercem funções fisiológicas e de reserva de energia para reprodução, crescimento e sobrevivência durante períodos de estresse (SNIFFEN et al., 1992).

Enquanto, os CE são os constituintes da parede celular vegetal e são representados principalmente pela pectina, hemicelulose e celulose. Os CE possuem função estrutural para os vegetais, fornecendo o suporte físico necessário para crescimento e resistência das plantas (SNIFFEN et al., 1992). Além disso, são os elementos mais importantes na determinação da qualidade dos alimentos volumosos a serem adicionados em dietas de ruminantes, já que a

parede celular pode constituir de 30 a 80% da matéria seca das plantas forrageiras (VAN SOEST, 1994). A separação dos carboidratos em CE e CNE está relacionada à função que estes desempenham nas plantas, não devendo ser confundido com sua finalidade na nutrição de ruminantes (MERTENS, 1992).

Os carboidratos podem ainda ser classificados nutricionalmente de acordo com sua taxa de degradação ruminal como Carboidratos Não Fibrosos (CNF), que incluem o conteúdo celular mais a pectina, e Carboidratos Fibrosos (CF), que compreende os constituintes da parede celular vegetal (celulose, hemicelulose) mais o composto fenólico lignina (MERTENS, 1992).

A celulose e a hemicelulose são os principais carboidratos que compõem a fibra e são digeridos no rúmen. Porém, a associação desses com a lignina e ácidos hidroxinâmicos, como o ácido ferúlico, dentro da parede celular da planta é a principal barreira para completa digestão das forragens e subprodutos fibrosos (ADESOGAN et al., 2019). O nível de associação entre os carboidratos com a lignina e os ácidos hidroxinâmicos que define se a fibra será digestível ou indigestível (ADESOGAN et al., 2019).

O principal componente da parede celular dos vegetais é a celulose, um polissacarídeo encontrado com elevada demasia na natureza. Sua quantidade varia entre 20 a 40% na matéria seca (MS) de plantas superiores (MCDOUGALL et al., 1993). A celulose é composta de cadeias lineares de D-glicose, unidas por ligações  $\beta$ -1,4 com elevado grau de polimerização e alto peso molecular. As cadeias de celulose podem se unir através de pontes de hidrogênio formando as microfibrilas de celulose.

A hemicelulose é uma associação heterogênea de polissacarídeos amorfos com grau de polimerização inferior ao da celulose (VAN SOEST, 1994). Os componentes são basicamente unidades de glicose, xilose, manose, arabinose e galactose. As plantas possuem grandes variações na quantidade de hemicelulose, geralmente entre 10 e 25% MS em forragens, farelos e polpas, já em grãos de cereais valores entre 2 e 12% MS (GIGER-REVERDIN, 1995).

A pectina é um polissacarídeo não amiláceo rico em unidades de ácido D-galacturônico com ligação  $\alpha$ -1,4, intercalado com unidades de ramnose com vínculo  $\alpha$ -1,2. Está presente principalmente na lamela média e na parede primária da planta; é uma substância amorfa parcialmente solúvel em água e totalmente solúvel em detergente neutro (BERCHIELLI, 2011). Além disso, desempenha um importante papel na adesão entre as células, são encontradas ligadas com a celulose e hemicelulose, sendo considerada o principal agente cimentante da parede celular, auxiliando desta forma para resistência mecânica, firmeza e aderência do tecido (PAIVA et al., 2009).

A lignina, que também faz parte da parede celular, consiste em um polímero fenólico

que se liga aos carboidratos estruturais, celulose e hemicelulose, durante a formação da parede celular, modificando consideravelmente a digestibilidade das forragens (VAN SOEST & WINE, 1968). A lignina é a substância responsável por interferir na degradação microbiana dos polissacarídeos da fração fibrosa devido a sua ação física, pois forma uma barreira ao acesso dos microrganismos aos polissacarídeos, logo é um fator determinante na digestão de forragens, exercendo influência direta no consumo voluntário. Sua composição, estrutura e quantidade variam de acordo com a origem botânica, idade da planta e com os fatores ambientais (AKIN, 1989).

Outros componentes como proteínas, sílica, cutinas e os taninos estão presentes na parede celular, associados ou não a polissacarídeos estruturais. Mesmo presentes em pequenas quantidades, estes compostos possuem importantes características físico-químicas que influenciam nos processos de digestão e absorção dos componentes da parede celular e do conteúdo celular (VAN SOEST, 1994).

A análise que melhor descreve a fração fibrosa das forragens e subprodutos é a FDN, na qual a amostra é submetida a temperatura de fervura imersa em uma solução detergente com pH neutro (VAN SOEST e WINE, 1967). Durante esse processo, a solução de detergente solubiliza todo conteúdo celular e a pectina contida na lamela média, restando no resíduo a parede celular (Celulose + Hemicelulose + Lignina + Cinzas + Proteína) (VAN SOEST e WINE, 1967).

A FDN contempla os componentes da parede celular dos vegetais que via de regra apresentam baixa taxa de degradação e dependem da ação de enzimas produzidas por microrganismos no rúmen e no intestino grosso (VAN SOEST e WINE, 1967). Ela é uma fonte de energia importante para ruminantes e, quando oriunda de forragem, possui uma função crucial no estímulo da mastigação, assim como a motilidade ruminal, sendo um mecanismo vital para manutenção da saúde ruminal.

A fração indigestível da FDN é a que mais afeta o uso da fibra, sendo capaz de ultrapassar a metade da FDN total no rúmen. Sendo assim, a esta constitui o parâmetro mais usado para o balanceamento de dietas, já que interfere em sua qualidade (MACEDO JUNIOR et al., 2007). Contudo, nem toda FDN da dieta é aproveitada da mesma forma ou exerce as mesmas funções na fisiologia digestiva de ruminantes.

A partir de tais observações, com base nas características da fibra, surgem dois conceitos: FDN efetiva (FDNe) e FDN fisicamente efetiva (FDNfe) (MERTENS, 1997). O FDNe, originalmente proposto para vacas leiteiras, considera todos os fatores químicos de um alimento que permite manter uma porcentagem adequada de gordura no leite. Em outras

palavras, está relacionado à habilidade de um alimento substituir a forragem ou fibra numa ração de forma com que a porcentagem de gordura no leite produzida por vacas comendo um tipo de ração seja efetivamente mantida, assim como, a saúde do rúmen, mesmo com pequeno tamanho de partícula, e seu monitoramento podem ser realizados pela análise química do percentual de gordura no leite (MERTENS, 1997). A grande vantagem desse conceito é permitir a comparação de fontes de FDN numa mesma escala, isto é, comparar subprodutos fibrosos com forragens, e forragens com diferentes graus de processamento (MERTENS, 2001).

Já a FDNfe abrange características químicas (teor de FDN) e físicas (tamanho de partículas) do alimento, dessa forma, está relacionada principalmente com o tamanho das partículas que estimula a atividade de mastigação, ruminação, produção de saliva, formação do *mat* ruminal e motilidade ruminal (MERTENS, 1997). Mertens (1997) definiu o teor de FDNfe como sendo a proporção da FDN no alimento retido em uma peneira com 1,18 mm de diâmetro, teoricamente representativo de partículas da digesta ruminal não aptas a passar pelo orifício retículo-omasal que estimularia a ruminação, já que constataram esse como o tamanho máximo observado nas fezes de carneiros (POPPI et al., 1985). Logo, alimentos finamente moídos não têm FDNfe e, logo, resultam em diminuição do tempo de mastigação e do pH ruminal, acarretando em alterações metabólicas. Em contrapartida, alimentos longos vão exigir mais mastigação, ruminação, salivação para que sejam reduzidos a tamanho de partícula compatível para passagem pelo orifício retículo-omasal (MERTENS, 2001).

Com os avanços nas pesquisas sobre fibra, um novo sistema de classificação dos carboidratos tem sido empregado, o Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS), o qual analisa as frações de carboidratos dos alimentos e com a utilização de equações predizem a taxa de degradação e de passagem dessas frações. Em outras palavras, este sistema considera a dinâmica da fermentação ruminal e objetiva a otimização da eficiência de crescimento dos microrganismos no rúmen (SNIFFEN et al., 1992, RUSSELL et al., 1992, FOX et al., 1992).

Nesse modelo, os carboidratos são classificados conforme a taxa de degradação em: fração A (carboidratos solúveis, como os açúcares) de alta degradação; fração B1 (amido e pectina) possui taxa de degradação superior à taxa de passagem; fração B2 (formada pela parede celular disponível) de baixa degradabilidade, suscetível aos efeitos da taxa de passagem e a fração C que constitui a parede celular não degradável (composta principalmente pela lignina) (SNIFFEN et al., 1992). As frações A e B1 são formadas principalmente por carboidratos não estruturais (CNE), enquanto que os carboidratos estruturais (CE) compõem as frações B2 e C (SNIFFEN et al., 1992, RUSSELL et al., 1992, FOX et al., 1992).



### 3.2.1 Consumo de FDN

A produção animal é dependente de fatores como consumo de matéria seca (CMS), valor nutritivo da dieta e resposta do animal. O CMS é o primeiro ponto determinante para a entrada de nutrientes necessários para atender as exigências de manutenção, crescimento e produção animal e, conseqüentemente, é considerado o parâmetro primordial na avaliação de dietas volumosas em função de sua alta correlação com a produção animal nestas condições. (NOLLER et al., 1996)

Nascimento et al. (2009) definiram o consumo voluntário como a quantidade de alimento ingerido por um animal, ou grupo de animais, durante um determinado período de tempo, em que eles têm acesso livre à ração, geralmente é apresentado na unidade de kg de MS/animal/dia, ou ainda em uma medida comparativa relativa ao seu peso vivo, ou peso vivo metabólico em %. Mertens (1994) ressalta que o consumo em ruminantes pode ser regulado por três mecanismos básicos: físico, fisiológico e psicogênico.

A regulação do CMS por mecanismos físicos está associada à capacidade de distensão do rúmen e pode ser restrito nos ruminantes ingerindo dietas exclusivas de forragens com baixa qualidade (ALLEN, 1996). Ou seja, para animais que se alimentam de dietas palatáveis, mas com alto teor de material fibroso e baixa em concentração de energia disponível, o consumo é limitado devido a alguma restrição na capacidade do TGI (MERTENS, 1994). Essas dietas resultam em ingestão de quantidades insuficientes de energia que não atendem à demanda potencial do animal, em consequência, há redução do desempenho ou perda de peso para acomodar os limites da dieta, principalmente em animais de alta exigência energética (NASCIMENTO et al., 2009).

Mertens (1992) propôs que a limitação por enchimento pode ser relacionada ao nível de FDN de uma ração e sugeriu o valor médio de consumo de 1,2% do peso vivo em FDN como nível de ingestão regulado por mecanismos físicos. Dietas com alto teor de fibra têm o consumo limitado fisicamente, ou seja, o CMS máximo atingido é determinado pela capacidade de enchimento do TGI por fibra.

Fisiologicamente, a regulação do consumo é dada pelo balanço nutricional ou *status* energético. Em outros termos, por suas exigências de manutenção e produção (MERTENS, 1997) e pode ser interpretada em uma situação em que a ingestão energética é igual à demanda do animal (MERTENS, 1994). Quando os animais são alimentados com rações palatáveis, de alta energia, baixas em capacidade de enchimento e prontamente digestíveis, a ingestão é regulada para atender às demandas energéticas do animal (MERTENS, 1994). Neste caso, a

ingestão de forragens de alta digestibilidade pode ocorrer em quantidades menores quando comparada à teoria do controle físico. Assim sendo, o consumo é determinado provavelmente por entraves metabólicos ligados à habilidade animal em utilizar nutrientes absorvidos (ILLIUS e JESSOP, 1996) que desencadeiam reações hormonais de regulação de consumo.

A regulação psicogênica da ingestão de alimentos compreende respostas do comportamento do animal a fatores que estimulam ou inibem o consumo associados ao alimento ou ao ambiente, que não estão correlacionados ao enchimento do rúmen ou ao valor energético (MERTENS, 1996). A intensidade do consumo de um determinado alimento pode ser afetada por fatores como sabor, odor, textura, aparência visual, *status* emocional do animal, interações sociais e o aprendizado (MERTENS, 1994). Tais associações de aprendizado são bem ilustradas em casos em que os animais possuem a disposição para escolha de dois ou mais alimentos com diferentes aromas e distintos padrões de fornecimento de nutrientes (FERREIRA et al., 2013). A característica alimentar mais comumente reconhecida que causa impacto psicogênico a modulação da ingestão de alimentos é a palatabilidade (MERTENS, 1996). A palatabilidade inclui particularidades do alimento que estimulam ou inibem a ingestão quando este é fornecido sozinho ou em uma escolha entre alimentos alternativos.

Os mecanismos responsáveis pelo controle do consumo são complexo e, assim, diversas teorias individuais baseadas no enchimento físico do retículo-rúmen (ALLEN, 1996; MERTENS, 1994), fatores de *feedback* metabólico (ILLIUS e JESSOP, 1996; MERTENS, 1994), lipostática (KENNEDY, 1953) e de consumo de oxigênio (KETELAARS e TOLKAMP, 1996) têm sido propostas para determinar e prever o consumo voluntário de MS. No entanto, acredita-se que apesar dos avanços em seu entendimento os mecanismos não estão totalmente desvendados e compreendidos, além disso, na maioria das vezes ocorre efeito aditivo de muitos estímulos regulatórios que influenciam o CMS (FORBES, 2007).

Potencializar o CMS é um fator-chave para produção de ruminantes. Uma retenção prolongada pode representar um problema para animais que necessitam de altas taxas de passagem para atender suas demandas energéticas (SAENZ, 2005). Essa questão é agravada quando se considera a baixa digestibilidade da fração fibrosa de algumas forrageiras tropicais, dada a importância e a quantidade de volumoso que é ofertada diariamente para ruminantes.

Análises laboratoriais realizadas em resíduos culturais do abacaxizeiro indicam um alimento rico em fibra, principalmente fonte de FDN. A FDN é uma medida do conteúdo total de fibra insolúvel do alimento e inclui a celulose, a hemicelulose e lignina sendo o parâmetro mais usado para o balanceamento de rações. Além disso, Silva (2014) relatou que a silagem de restos culturais de abacaxi pérola apresenta níveis de digestibilidade da MS superior a 50%

tornando-se um resíduo com potencialidade para alimentação de ruminantes, nos locais onde existe disponibilidade do produto.

### **3.2.2 Digestibilidade da fibra da dieta**

A digestibilidade da fibra é descrita como a proporção ingerida que não é eliminada nas fezes. A fibra possui uma fração potencialmente digestível e uma fração indigestível. A digestão da fibra baseia-se na hidrólise dos polissacarídeos e na conversão dos monossacarídeos provenientes em ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), gases da fermentação e calor, sendo a taxa de hidrólise normalmente o fator limitante na digestão da fibra (TAMMINGA et al., 1990). Essa taxa é limitada pela ação de enzimas no complexo lignina-polissacarídeos, que degradam a parede celular (CHESSON e FORSBERG, 1988).

A digestibilidade da fibra de forragens não é fixa para todos os animais ou para todas as condições de alimentação (MACEDO e ZANINE, 2006). Os principais fatores relacionados à planta que afetam a digestibilidade da fibra são: 1) composição química dos tecidos, 2) tipo de tecido e sua proporção e 3) estágio de maturidade. A interação entre esses fatores tem um grande efeito no consumo e na digestibilidade de nutrientes pelos ruminantes (COLEMAN et al., 2004; JUNG, 2012).

Como citado anteriormente, a fração indigestível da FDN é a que mais afeta a utilização da fibra pelos ruminantes (MERTENS, 1997). Alto teor de fibra de digestibilidade lenta está associada a um maior tempo de retenção ruminal e, conseqüentemente, a uma redução do consumo quando o enchimento ruminal é o fator limitante.

O aumento na digestibilidade da fibra permite maior inclusão de forragens e subprodutos fibrosos nas dietas de ruminantes em detrimento do uso de alimentos concentrados de alto custo. Logo, melhorar a digestibilidade da fração fibrosa impacta diretamente na lucratividade. Grabber (2005) reportou uma relação intrínseca entre o teor de lignina e a digestibilidade da parede celular da planta de milho, sendo que para cada unidade percentual de aumento na lignina repercutiu na redução de 2 unidades percentuais na digestibilidade da parede celular.

A segunda importância de aumentar a digestibilidade de fibra é aumentar o aporte energético de forragens e subprodutos fibrosos (que não competem com o consumo de seres humanos) nas dietas de ruminantes (ADESOGAN et al., 2019). Os grãos de cereais são ricos em energia e vários processos têm sido desenvolvidos para aumentar a extração de energia de tais alimentos para uso em dietas de monogástricos e ruminantes. Contudo, a grande demanda por grãos devido à competição com o mercado de nutrição de monogástricos, biocombustíveis

e indústria alimentícia para humanos resulta em alta de preço dessas matérias-primas e aumento da volatilidade. As forragens e subprodutos fibrosos que são utilizados nas dietas de ruminantes são menos suscetíveis a essas competições de mercado, no entanto, a matriz ligninocelulose (lignina + celulose) reduz a disponibilidade da energia contida nesses alimentos (ADESOGAN et al., 2019).

Outra razão para se aumentar a digestibilidade de fibra é a questão ambiental. Em comparação ao nutriente amido, a fermentação ruminal das hexoses oriundas de fibra gera mais íons hidrogênios que reduzem o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a metano ( $\text{CH}_4$ ) (VAN SOEST, 1994). Dessa forma, a fermentação de alimentos fibrosos resulta em maior produção de  $\text{CH}_4$  e menor eficiência energética comparados a alimentos concentrados.

Os ruminantes possuem a habilidade de aproveitar alimentos fibrosos de reduzida qualidade e convertê-los em produtos essenciais para o seu desenvolvimento e para atender às necessidades nutricionais humanas (HOFMANN, 1989; VAN SOEST, 1994). A capacidade da dieta em suprir os nutrientes necessários pelos ruminantes e possibilitar um desempenho adequado é influenciada pelo consumo de alimentos e pela degradabilidade desses. (MACEDO e ZANINE, 2006). Diversas pesquisas objetivaram elucidar os mecanismos regulatórios do consumo, contudo, não estão totalmente desvendados e compreendidos.

O aproveitamento de alimentos fibrosos pelos ruminantes resulta em uma notável simbiose entre o animal hospedeiro e a multidão de microrganismos que habitam o rúmen (MORAIS e MIZRAHI, 2019). O ruminante fornece o material vegetal e, através da ruminação, aumenta a degradação e, conseqüentemente, a área de superfície de contato para os microrganismos aderirem e liberarem enzimas que promovem a hidrólise da parede celular das plantas. Além disso, o animal hospedeiro fornece ainda um ambiente favorável para a hidrólise da fibra microbiana (movimentos ruminais, pH, temperatura, umidade estáveis) (MORAIS e MIZRAHI, 2019).

Os microrganismos ruminais realizam a digestão e a fermentação da fibra liberando a energia armazenada nos carboidratos complexos da planta que são inacessíveis ao animal, e converte-os em AGCC, que são absorvidos pelo animal através do TGI para obtenção de energia (MIZRAHI, 2013). Estes microrganismos também servem como uma importante fonte de proteína para o animal após a digestão posterior no trato alimentar.

A microbiota ruminal é representada principalmente por bactérias, em cerca de 95%, e uma minoria de arqueas (2–5%), enquanto que protozoários eucarióticos e fungos também estão presentes em porcentagens muito baixas (0,1-1%) (MIZRAHI, 2013). As bactérias são os microrganismos mais ativamente implicados neste processo de digestão da parede celular, pois

apresentam alta atividade enzimática e estão em elevada concentração no rúmen (MORAIS e MIZRAHI, 2019). As principais bactérias degradadoras de fibras aparecem no rúmen logo após o nascimento do animal, com o ecossistema ruminal sendo funcional no que diz respeito à degradação da fibra nessa idade precoce (GUZMAN et al. 2015).

Diversos autores buscaram isolar e caracterizar bactérias ruminais a fim de melhorar a compreensão sobre a degradação da fibra no rúmen. As principais bactérias importantes na degradação de fibra encontradas são de três espécies distintas: *Ruminococcus flavefaciens*, *Ruminococcus albus* e *Fibrobacter succinogenes* (CHESSON e FORSBERG 1997; DASSA et al. 2014; ARNTZEN et al. 2017). Tais bactérias digerem a celulose em velocidade constante de 0,05 a 0,10<sup>h</sup><sup>-1</sup>, mais rápido do que praticamente qualquer outra espécie de bactérias celulolíticas (ALVES et al., 2016).

Na formulação de dietas para ruminantes de alta produção, o nível mínimo de forragem tem sido um fator levado em consideração. De acordo com Mooney e Allen (1997), um nível mínimo de fibra na dieta é imprescindível para ótima produção e saúde dos animais. Os autores relatam que uma quantidade insuficiente de fibra pode acarretar em um baixo pH ruminal, alteração da fermentação ruminal, decréscimo da eficiência microbiana, além de diminuição da porcentagem de gordura do leite em casos de vacas leiteiras.

Dependendo da qualidade da forragem, a redução do tamanho das partículas por moagem ou peletização pode aumentar significativamente a ingestão de forragens e alimentos fibrosos (VAN SOEST, 1994). O tamanho de partícula também afeta a taxa de passagem da ingesta através do rúmen. Quando o conteúdo ruminal atinge o ponto em que é impossível incremento adicional, a taxa de passagem da digesta determina o consumo de alimento, ou seja, fibra mais digestível pode estimular o consumo, pelo aumento na taxa de passagem, criando espaço para outra refeição (BOSCH, 1991). A velocidade com que o alimento é reduzido a partículas suficientemente pequenas para atravessar o orifício retículo-omasal e a taxa de degradação pelos microrganismos são os fatores mais importantes que limitam o desaparecimento de digesta do rúmen (SAENZ, 2005).

### 3.3 CINÉTICA DE TRÂNSITO DE PARTÍCULAS

A produção em ruminantes é influenciada pela capacidade do rúmen em remover o alimento ingerido através da degradação microbiana ou por passagem para porções posteriores do TGI (SILVA, 2013). Dessa forma, dentro do rúmen-retículo (RR), em condições normais, há em ação um sistema físico-químico complexo, composto por conteúdo heterogêneo estratificado em fases líquida, sólida e gasosa (COLODO, 2009).

A região dorsal do rúmen, é ocupada pelas partículas de forragem recém-ingridas que são expostas à sucessivas movimentações através de contrações dos pilares ruminais e reticulares (ALLEN e MERTENS, 1988). A ruminação associada à motilidade ruminal e a colonização por microrganismos promovem redução e hidratação das partículas e, assim, elas ocupam a região ventral RR, tornando possível passagem pelo orifício retículo-omasal (ALLEN e MERTENS, 1988; VAN SOEST, 1994).

Em geral, o processo digestivo de ruminantes é dinâmico e envolve a entrada de alimentos no rúmen e a saída de líquidos, microrganismos e resíduos não digeridos (ELLIS et al., 1994). A população microbiana permanece ativa pelo suprimento regular de substrato e pelos mecanismos que adicionalmente tornam o rúmen um ecossistema singular como a ruminação, a eructação, o suprimento de saliva (tampão químico), a motilidade e a remoção de produtos finais por assimilação ou passagem (CZERKAWSKI, 1986).

Dessa forma, a taxa de passagem ou de trânsito consiste no fluxo de resíduos não digeridos, indigestíveis e microrganismos pelo TGI. Tal fenômeno atua de forma simultânea e competitiva com a digestão (MOORE et al., 1990; VAN SOEST, 1994). A taxa com que a dieta é ingerida pelos ruminantes e a velocidade com que o alimento é degradado e removido fisicamente do rúmen vão definir a liberação de nutrientes para os microrganismos no rúmen e, logo implicará nas variações do consumo (ELLIS et al., 1994). A taxa de passagem do conteúdo ruminal mostrou depender do produto químico e composição física do ingrediente, enquanto que a taxa de degradação microbiana resulta do tamanho de partícula e pH no rúmen (SUTHERLAND, 1987).

Dias et al. (2011) encontraram resultados que confirmam que a digestibilidade do feno diminuiu linearmente com o aumento do consumo de matéria seca. De acordo com a observação bem estabelecida de que a digestibilidade do alimento é diminuída à medida que a ingestão aumenta, provavelmente porque há menor tempo de retenção da digesta no TGI.

O nível de enchimento do RR é uma das principais condições que suprimem a ingestão voluntária de dietas baseadas em forragens de baixa qualidade, dado que estas apresentam alto

tempo de retenção ruminal (COLODO, 2009). Entretanto, altos níveis de consumo promovem diminuição do tempo de retenção por incremento na taxa de passagem associado à redução da duração da digestão da fibra no rúmen e, em consequência, da digestibilidade *in vivo* da dieta.

As partículas de alimento ingeridas devem atender a alguns critérios para que ocorra a passagem ao longo do TGI, tal como, redução no tamanho de partícula por cominuição, aumento da gravidade específica funcional e redução da flutuabilidade (LUND, WEISBJERG e HVELPLUND, 2006). Entretanto, partículas recém-ingерidas não atendem a esses critérios.

A taxa de passagem do rúmen está estreitamente associada à diminuição do tamanho de partículas pelo animal (ULYATT et al., 1986). Kovács et al., (1998) salientam que quanto maior o tamanho das partículas fornecidas, maior a dificuldade de acesso dos microrganismos para realizar a degradação e fermentação devido à menor área de superfície exposta.

Em condições normais, as partículas são reduzidas de tamanho através da combinação dos seguintes eventos: mastigação inicial, ruminação, fricção da digesta pelos movimentos ruminais, ação microbiana e digestão (FAICHNEY, 2005). Allen e Mertens (1988) explicam que o principal meio de redução do tamanho de partícula é através da ruminação, que é dependente da eficiência mastigatória. Contudo, salientam que a fermentação também é essencial, haja vista que atua enfraquecendo os tecidos e aumentando a sua fragilidade e, logo, contribuindo com a diminuição das partículas.

Em bovinos, Shaver et al. (1988) citaram que aumentos na taxa de passagem podem ser obtidos pela redução dessas partículas para tamanhos menores que 3,6 mm. Entretanto, Poppi et al. (1980), estudando ovinos, observaram que, para ocorrer a saída das partículas do rúmen, é preciso que elas sejam reduzidas a um tamanho em aproximado de 1-2 mm.

Além do tamanho da partícula, a densidade também é um importante fator que interfere na digestão, pois é alterada ao longo do TGI por ações como hidratação, redução de partículas devido a ruminação e ataque microbiano, além da adsorção de gás (EHLE, 1984). De modo geral, as características físicas de um alimento representam um importante fator que contribui para determinar a sua taxa de passagem e, assim, sua digestibilidade (BLAXTER et al., 1956).

A estimativa da taxa de passagem é complexa devido ao rúmen ter, no mínimo, duas fases principais: a líquida (*pool*, de pequenas partículas) e partículas flutuantes (*raft, pool* de grandes partículas recém-ingерidas) (ALLEN e MERTENS, 1988). Dessa forma, a taxa de passagem de partículas e fluídos em ruminantes pode ser mensurada por metodologias diretas e indiretas.

As metodologias diretas baseiam-se em realizar esvaziamento ruminal, o qual pode ser feito em animais abatidos ou através da cânula ruminal. A técnica de esvaziamento ruminal por

cânulas é mais utilizada, entretanto, a probabilidade de erros é maior devido à dificuldade de obtenção de amostras representativas do conteúdo ruminal (SILVA, 2013). Além disso, este método utiliza animais modificados cirurgicamente, e tal procedimento pode modificar a atividade normal do rúmen (HUHTANEN et al., 2007).

A técnica de abate dos animais é considerada o método padrão, pois está menos susceptível às alterações inerentes aos animais dotados de cânulas, além de ser ferramenta eficaz para analisar diferenças entre espécies (CANNAS et al., 2003). Contudo, é pouco utilizada pelo alto custo e por ser muito trabalhosa.

As metodologias indiretas utilizam indicadores complexados com a fração fibrosa do alimento, por meio da infusão de dose única do indicador diretamente no rúmen, com posterior amostragem das fezes, realizadas em intervalos de tempo conhecidos, nas quais são analisadas as concentrações do elemento químico empregado (OLIVEIRA, 2010; SILVA, 2013). Em seguida, em função do tempo transcorrido desde a administração do indicador e as coletas de fezes, gera-se uma curva de concentração do indicador que será ajustada a um modelo matemático para determinar os coeficientes relacionados à passagem das partículas no TGI (LASCANO e QUIROZ, 1990).

A técnica de excreção do marcador fecal supera o problema da amostragem representativa e também tem a vantagem de que os animais fistulados não são obrigatoriamente necessários. É baseado no fato de que o padrão de excreção do marcador nas fezes após uma dose intraruminal do marcador reflete os efeitos cumulativos do seu tempo de permanência nas várias seções do trato digestivo (DHANOA et al., 1985).

Alguns critérios devem ser analisados na escolha de um bom indicador, como exemplo: não ser absorvível; não afetar e nem ser afetado pelos processos digestivos; não ser tóxico; ser determinado por metodologias simples; estar intimamente ligado e não se separar das respectivas frações marcadas; misturar-se bem ao alimento e permanecer uniformemente distribuído na digesta; e não influenciar a microflora do TGI (PELLIKAAN et al., 2012; SILVA, 2013). Entretanto, nenhum indicador consegue atender a todos esses requisitos, assim, o grau tolerável de erro deve estar de acordo com a variável que está sendo medida.

Os indicadores são classificados em duas grandes categorias, internos e externos. No TGI, qualquer composto vai desaparecer pela ação da digestão ou da passagem, de modo que compostos indigestíveis irão desaparecer somente por causa da passagem e, assim, podem ser utilizados como indicadores para medição dessa taxa (SILVA, 2013).

Os indicadores internos possuem a vantagem de já estarem incluídos no alimento, serem de fácil análise, baixo custo, não necessitar de preparação especial e de permanecerem



distribuídos na digesta durante o processo de digestão e excreção (PIAGGIO et al., 1991). Os principais marcadores internos frequentemente utilizados são cinza insolúvel em ácido, lignina e frações de fibras indigeríveis (SUDEKUM et al., 1995).

Os indicadores externos são compostos inertes que se aderem firmemente às partículas alimentares, como o óxido crômico e os elementos terras raras (Lantânio, Samário, Cério, Itérbio e Disprósio), que são adicionados à dieta ou fornecidos, via oral ou ruminal, aos animais (SILVA, 2013). É imprescindível que o elemento utilizado como indicador externo tenha as mesmas características da fração marcada. Essas características compreendem peso molecular, gravidade específica e grau de hidratação. Os indicadores externos são contraindicados por alguns autores, pois podem alterar as características físicas das partículas (EHLE, 1984) ou se dissociar do material marcado e associar-se às partículas pequenas e aos microrganismos (COMBS; SATTER, 1992).

A escolha do emprego do método direto ou indireto deve estar de acordo com as limitações de cada técnica, a fim de se ajustar às necessidades do experimento.

### **3.3.1. Indicadores externos para estudos de cinética de trânsito de partículas em ruminantes**

Nas últimas décadas, nenhum tipo de marcador foi apresentado e muito menos um que cumprisse todas as especificações supracitadas. Sendo assim, os marcadores disponíveis para estudos de taxa de passagem são os mesmos que foram amplamente pesquisados no terço final do século passado, como é o caso do cromo e dos metais terras raras (UDÉN et al., 1980; EHLE, 1984).

#### **3.3.1.1 Fibra mordente com cromo (Cr)**

O Cromo (Cr) mordente, entre os marcadores externos mais aceitos, como as terras raras, é o único que permanece aderido à partícula de forma irreversível (VAN SOEST et al., 1985). Isto é, o Cr ligado à fibra se mantém fixado a ela em todo processo digestório até o seu aparecimento nas fezes. Além disso, os complexos de Cr com a parede celular de plantas e proteínas são altamente insolúveis e totalmente estáveis no rúmen (UDÉN et al., 1980).

A formação do complexo trivalente entre o Cr e a fibra ocorre por redução de complexos hexavalentes de Cr por ácido ascórbico e, assim, o Cr faz ligações covalentes com a matéria orgânica (VAN SOEST et al., 1985; VAN SOEST, 1994). Devido ao poder do Cr de formar

complexos estáveis com aproximadamente qualquer composto que possua grupos álcoois livres (Hidroxila), a fibra deve estar livre de substâncias potencialmente solúveis como amido, açúcar e outros elementos. Caso apresente tais compostos, o Cr pode reagir e levar a produção de complexos solúveis (VAN SOEST, 1994).

Graças à força da ligação, o Cr reduz a digestibilidade da porção do alimento a ele complexado (digestibilidade zero) (VAN SOEST et al., 1985). Contudo, é necessária atenção na concentração de Cr utilizada na fibra. Conforme Udén et al. (1980), alta concentração de Cr  $\geq 8\%$  na fibra aumenta a densidade das partículas, de modo que a fibra marcada não se comporte no rúmen de forma compatível à mesma porção do alimento não marcada (EHLE, 1984; OFFER e DIXON, 2000). Sendo assim, é recomendado restringir sua utilização apenas para baixas concentrações (aproximadamente 2% na fibra marcada ou menos). Em níveis mais baixos, o Cr influencia em menor grau a digestibilidade (UDÉN et al., 1980) e a gravidade específica da partícula.

### **3.3.2 Taxa de passagem da fase líquida**

Os líquidos representam um *pool* distinto da fase sólida no rúmen e, assim, a atenção dos pesquisadores que estudam a absorção e utilização de nutrientes no rúmen tem incidido sobre o volume ruminal. Com isso, indicadores da fase líquida são adotados tanto em estudos de digestibilidade, como também do balanço hídrico de avaliação do volume ruminal e da taxa de passagem da fase líquida (OWENS e GOETSCH, 1988). O aumento da taxa de passagem de fluido, ou taxa de diluição, pode influenciar o consumo, a digestibilidade, o tempo disponível para fermentação ruminal, a eficiência de síntese dos microrganismos da fase líquida do rúmen, bem como, a taxa de passagem de sólidos (COLODO, 2009).

Conforme Owens e Goetsch (1988), os fatores que atuam sobre a taxa de passagem da fase líquida são o nível de ingestão, a proporção de concentrado, o indicador utilizado, assim como os locais de amostragem. Faichney (1986) considera que a taxa de passagem de líquidos está mais associada aos fatores da dieta que tendem a aumentar a osmolaridade ruminal do que à ingestão de água. O aumento da osmolaridade do fluido ruminal ocorre após a ingestão de alimentos, com pico entre 1 e 2 horas após a alimentação em bovinos, segundo Colucci et al. (1990). Além disso, aumentos no consumo de MS estão relacionados a maiores osmolaridade e taxa de passagem, independentemente do nível de concentrado da dieta, principalmente devido a um aumento na salivação, no consumo de água e possivelmente na difusão de água pela parede ruminal.

De um modo geral, a avaliação da cinética ruminal pode ser comprometida com a escolha da metodologia da taxa de passagem, o tipo de indicador, bem como a determinação do tempo e o número de colheita de fezes (DETMANN et al., 2001) e o modelo matemático utilizado para o ajuste dos dados. Ellis et al. (1984) declararam que um indicador adequado deve se comportar exatamente como a partícula alimentar, além disso, deve-se distribuir por toda a fase líquida da digesta e não ser adsorvido pelas partículas sólidas, a fim de evitar interferências dessa fração e, também não deve alterar o processo normal de mistura e fluxo.

A taxa de passagem da fase líquida pode ser estimada através da administração do indicador seguido pela coleta de fezes (UDÉN, 1980; ELLIS et al., 1999). Geralmente, a ascensão ao pico e o declínio da concentração do indicador nas fezes são mais rápidos na fração líquida do que na sólida (UDÉN, 1980).

UDÉN et al. (1980) propuseram o uso do Co-EDTA e Cr-EDTA como indicadores da fase líquida e concluíram que estes apresentam boa recuperação, sendo válidos para este tipo de estudo. Segundo os autores, os metais quelatados com EDTA são bons marcadores devido à solvatação, ou seja, o composto iônico ou polar se dissolve em uma substância polar sem formar uma nova substância.

Geralmente, o Co-EDTA é mais utilizado quando se usa fibra mordentada com cromo, já que não é possível distinguir nas amostras fecais qual porção de Cr está relacionada com as distintas fases (VAN SOEST, 1994). Além disso, o Co-EDTA apresenta resultados semelhantes ao Cr-EDTA (UDÉN et al., 1980).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E INSTALAÇÕES

Todos os procedimentos experimentais foram submetidos à avaliação pelo Comitê de Ética no Uso de Animais de Experimentação (CEUA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Protocolo 207/2013.

O experimento foi conduzido nas instalações do Setor de Ovinos, no Galpão de Metabolismo do Câmpus Experimental Leonel Brizola, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes/RJ.

### 4.2 PLANOS NUTRICIONAIS, ANIMAIS E MANEJO

A dieta foi calculada com base na exigência nutricional de ovinos em manutenção descritas no AFRC (1993). As dietas foram compostas com a proporção de 60% de volumoso e 40% de concentrado, nas quais a silagem do resíduo do cultivo do abacaxi (*Ananas comosus* L., Merr., cv. Pérola) correspondia ao volumoso e o concentrado foi composto por milho moído e farelo de soja (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química das rações fornecidas nos planos nutricionais, expressa em g/kg de MS.

Variáveis	Silagem	Concentrado
Matéria Seca	170.40	897.09
Proteína Bruta	81.1	97.72
Cinzas	10.3	4.57
Lignina	54.20	64.47
Gordura Bruta	30.94	48.50
Fibra Detergente Neutro	540.75	102.07
Fibra Detergente Ácido	350.8	31.96
Carboidratos Não Fibrosos	323.01	709.3

Os tratamentos consistiram em três planos nutricionais (L): L1= 1xManutenção (M); L2= 1,5xM e L3=2,5xM, onde  $L = \frac{ME}{M_m}$ , sendo ME a energia metabolizável suprida pela dieta e  $M_m$  a exigência de energia metabolizável dos animais (AFRC, 1993). Segundo o ARC (1980) a quantidade de energia proveniente do alimento consumido e a exigência energética dos animais,

auferindo quantas vezes a energia exigida para manutenção é ingerida, e a este valor foi dado o nome de plano nutricional, representado por L. O sistema AFRC (1993) também assume este postulado.

Foram utilizados 12 ovinos, machos, castrados, previamente vermifugados. Oito ovinos em crescimento, com média de idade de 2 anos, e 4 ovinos adultos, com média de idade de 3,5 anos. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas individuais com comedouro e bebedouro e foram arraçoados duas vezes ao dia (às 08 e às 16 horas).

#### 4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ENSAIO DE DIGESTÃO

Os animais em crescimento foram distribuídos em um ensaio de reversão tipo switch-back, com dois tratamentos e três períodos. O período experimental compreendeu 63 dias, divididos em três períodos de 21 dias, sendo 14 dias de adaptação dos animais à gaiola e aos tratamentos e 7 dias de coleta. Os animais foram pesados no primeiro dia de cada período para ajustar os planos nutricionais. Em relação aos tratamentos, todos receberam os planos nutricionais L2= 1,5M e L3=2,5M.

Os animais adultos foram pesados a cada três dias até a estabilização da massa corporal e do seu consumo e receberam o plano nutricional L1= 1M.

Foram realizadas as coletas totais de fezes por meio de bolsas coletoras. As bolsas foram checadas a cada 1 hora para evitar seu enchimento excessivo, o que pode provocar desconforto aos animais. Ao término de cada coleta, que consistiu em 24 horas, as fezes foram pesadas, homogeneizadas e retirada uma amostra correspondente a 10% do peso fresco total, em seguida, foram colocadas em sacos de polietileno, devidamente identificados, e armazenadas em um freezer - 18°C para posteriores análises.

#### 4.4 ANÁLISES QUÍMICAS DAS DIETAS, DAS SOBRAS E DAS FEZES

As amostras das dietas e das sobras, de cada tratamento, foram pesadas, amostradas e registradas diariamente para determinar o consumo dos nutrientes. Em seguida, foram armazenadas em freezer a - 18°C para posteriores análises.

O material coletado, sobras e fezes foram secas a 55°C em estufa de ventilação forçada por 72 horas. Após a secagem, foram processadas em moinho de faca com tela de 1 mm. Em seguida, foram homogeneizadas para formar amostras compostas por animal por período (as amostras compostas representam a amostra individual de cada animal em cada tratamento).

As amostras das dietas, das sobras e das fezes foram analisadas quanto aos teores de matéria seca ([MS], AOAC 967.03; AOAC, 1990), gordura bruta ([GB], AOAC 2003.06; THIEX et al., 2003), e cinzas [CZ] (AOAC 942.05; AOAC, 1990). O conteúdo de proteína bruta (PB) foi obtido pela digestão das amostras (0,25 g) em tubos de 100 mL, utilizando blocos de digestão de alumínio de acordo com as orientações descritas nos métodos AOAC 984.13 e AOAC 2001.11, contendo 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 1 g de uma mistura com uma proporção de 56:1 de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e Cu<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, incluindo a recuperação do N com certificação do NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e Lisina-HCl (AOAC, 1990; THIEX et al., 2002). O teor de FDN foi analisado com sulfito de sódio e duas adições de uma solução padronizada de amilase estável ao calor, excluindo as cinzas de acordo com o método AOAC 2002.04 ([FDN]; MERTENS, 2002). O teor dos carboidratos não fibrosos (CNF) foi estimado como: CNF = 100 - PB - GB - CZ - FDN. As análises de FDA e Lignina foram determinadas de acordo com as descrições de Silva e Queiroz (2006).

#### 4.5 CINÉTICA DE TRÂNSITO DE PARTÍCULAS SÓLIDA

Do 15° ao 21° dia de cada período experimental, foram realizados procedimentos para avaliação da cinética de trânsito gastrointestinal de partículas fibrosas, que se basearam no fornecimento de indicador externo, em procedimento de dose única (ELLIS et al., 1994), sendo empregado como indicador o Cromo mordente à fibra (UDÉN et al., 1980).

Primeiramente, as amostras de SRCA foram levadas à estufa de ventilação forçada a 55±5 °C, processo com duração de 72 horas. Posteriormente, esse material foi fervido, com adição de água e detergente neutro. A proporção dos ingredientes utilizada foi de 100g de amostra seca para 100mL de detergente e 1L de água, a fervura ocorreu por uma hora. Após este procedimento, o material foi filtrado em saco de tecido de algodão e lavado com água corrente de torneira, até o clareamento da água para a remoção dos componentes solúveis, e seco a 55±5 °C, durante 72 horas.

Para a marcação da fibra, inicialmente foi feita uma solução de dicromato de sódio (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. 2 H<sub>2</sub>O), na proporção de 13% de cromo em relação ao peso da fibra que foi marcada. Em seguida, a solução de dicromato de sódio foi diluída em um recipiente de vidro, com posterior imersão da fibra neste recipiente. Este recipiente foi coberto com papel alumínio e mantido em estufa a 105°C por 24 horas. A partir deste procedimento, o material foi acondicionado em saco de tecido de algodão e submetido à lavagem em água corrente, para remover o excesso de dicromato. Depois o material foi imerso em solução de ácido ascórbico

comercial, na proporção da metade do peso da fibra, deixando em repouso por uma hora, até atingir a cor verde intensa. Logo após, o material foi novamente acondicionado em saco de tecido de algodão e lavado repetidas vezes até o completo clareamento da água e então seco em estufa de ventilação forçada a  $60 \pm 5$  °C por 72 horas.

Foram fornecidas, para cada animal, 50g de fibra marcada às 8h do 15° dia por via oral. A dosagem do indicador foi realizada nas fezes a partir de amostras coletadas nos tempos zero (imediatamente após a administração do alimento marcado), 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 120, 144 e 168 horas.

As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada (55°C/72 horas) e processadas em moinho de facas com peneira de 1mm. Os teores de Cromo foram dosados utilizando metodologia descrita por Campbell e Plank (1992) com modificações, na qual as amostras foram digeridas em bloco digestor por via úmida utilizando ácido nítrico e peróxido de hidrogênio e posterior leitura em Espectrômetro de emissão atômica por plasma (ICPE-9000).

#### 4.6 CINÉTICA DE PASSAGEM DE PARTÍCULAS DA FASE LÍQUIDA

Para estimar a taxa de passagem da fase líquida, foi utilizado o indicador CoETDA, segundo a metodologia descrita por Udén et al. (1980). O indicador foi fornecido em dose única aos animais em cada período na quantidade de 5g de Co-ETDA diluídos em 25mL de água destilada via sonda para administração oral acoplada a uma seringa. A administração do indicador foi realizada imediatamente após cada animal terminar o consumo das partículas complexadas com indicadores. Foram adotados os mesmos tempos de coleta das fezes para a taxa de passagem de partículas.

As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada (55°C/72 horas) e processadas em moinho de facas com peneira de 1mm. Os teores de Cobalto foram dosados utilizando metodologia descrita por Campbell e Plank (1992) com modificações, na qual as amostras foram digeridas em bloco digestor por via úmida utilizando ácido nítrico e peróxido de hidrogênio e posterior leitura em Espectrômetro de emissão atômica por plasma (ICPE-9000).

#### 4.7 MODELOS UTILIZADOS NA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS DA CINÉTICA DE TRÂNSITO DE PARTÍCULAS

Os parâmetros da cinética de passagem de partículas da fase sólida foram estimados utilizando o modelo generalizado GNG1 conforme descrito por Pond et al. (1982):

$$C(t) = 0 \leq t \leq \tau, \quad \text{Eq. 1}$$

$$C(t) = C_0 K_e \left\{ \delta^{N_r} e^{-k_e(t-\tau)} - e^{\lambda_r(t-\tau)} \sum_{i=1}^{N_r} \delta^i \frac{[\lambda_r(t-\tau)]^{N_r-i}}{(N_r-i)!} \right\} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que: C (t) = concentração do indicador na matéria seca fecal em g/kg; C(0) = concentração inicial do indicador no *raft* (mg/kg);  $\lambda_r$  (h<sup>-1</sup>) = taxa de transferência das partículas marcadas pelo indicador do *raft* para o *pool* de partículas escapáveis;  $k_e$  (h<sup>-1</sup>) = taxa de escape do *pool* de partículas escapáveis, marcadas com indicador, do rúmen para o restante do trato gastrointestinal; t (h) = tempo após o fornecimento do indicador;  $\tau$  = tempo de trânsito do indicador entre sua saída do orifício retículo-omasal e o aparecimento nas fezes;  $N_r$  = ordem de dependência do tempo.

$$\delta = \frac{\lambda_r}{\lambda_r + K_e} \quad \text{Eq. 3}$$

em que  $k_p$  (h<sup>-1</sup>) correspondente à taxa de passagem da digesta no rúmen-retículo, foi calculada, segundo a expressão: 1/TMR-RR, em que TMR-RR foi obtida através da expressão:

$$TMR - RR = \frac{N_r}{\lambda_r + \frac{1}{K_e}} \quad \text{Eq. 4}$$

Os parâmetros da cinética de passagem de partículas da fase líquida foram estimados utilizando os modelos gama (G1 à G6) conforme descrito por Pond et al. (1982):

$$\text{Modelo G1: } C(t) = C_0 e^{-kt} \quad \text{Eq. 5}$$

$$\text{Modelo G2: } C(t) = C_0 \lambda t \frac{e^{-\lambda t}}{0.59635} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{Modelo G3: } C(t) = C_0 \lambda^2 t^2 \frac{e^{-\lambda t}}{(2 \times 0.47454)} \quad \text{Eq. 7}$$

$$\text{Modelo G4: } C(t) = C_0 \lambda^3 t^3 \frac{e^{-\lambda t}}{(6 \times 0.40857)} \quad \text{Eq. 8}$$

$$\text{Modelo G5: } C(t) = C_0 \lambda^4 t^4 \frac{e^{-\lambda t}}{(24 \times 0.36528)} \quad \text{Eq. 9}$$

$$\text{Modelo G6: } C(t) = C_0 \lambda^5 t^5 \frac{e^{-\lambda t}}{(120 \times 0.33929)} \quad \text{Eq. 10}$$

Em que C (t) = concentração do indicador na matéria seca fecal em mg/kg; k = parâmetro de taxa para distribuição exponencial em tempos de permanência, t = tempo após a dose do marcador (h);  $\lambda$  = parâmetro de taxa para distribuição gama em tempos de residência.



#### 4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os parâmetros da cinética de trânsito de partículas foram estimados utilizando o pacote NLIN do SAS (version SAS Ondemand for Academics, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). A escolha da estrutura de covariância e dos modelos foi feita por meio do critério de Akaike ( $AIC_C$ ) (SUGIURA, 1978; BURNHAM E ANDERSON, 2004).

Foi utilizado o modelo estatístico proposto por Tempelman (2004):

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + a_k + \alpha\beta_{ij} + e_{ijkl} \quad \text{Eq. 11}$$

em que  $y_{ijkl}$  é a observação no k-ésimo animal que recebeu o tratamento i no j-ésimo período;  $\mu$  é a média geral;  $\alpha_i$  é o efeito dos planos nutricionais, para  $i = 1, 2, 3$ ;  $\beta_j$  é o efeito do j-ésimo período, para  $j = 1, 2$  e  $3$ ;  $a_k$  é o efeito de animal,  $\alpha\beta_{ij}$  é o efeito da interação entre planos nutricionais e período e  $e_{ijkl}$  é o erro aleatório.

Os dados foram analisados por meio da análise de regressão utilizando o procedimento MIXED do SAS, com máxima verossimilhança restrita (REML) como método de estimação e probabilidade de significância de 0,05. Os dados de consumo de matéria seca e da fração fibrosa foram escalonados para o tamanho metabólico  $W^{3/4}$  e analisado como medida repetida no tempo utilizando a instrução REPEATED do SAS.

## 5. RESULTADOS

Os planos nutricionais (L1, L2 e L3) aumentaram linearmente o consumo de MS, FDN e lignina (LIG) ( $P < 0,001$ ), enquanto a digestibilidade da FDN (dFDN) não foi afetada (Tabela 2). Animais em L3 ingeriram 39,62% (43,11/71,4) mais MS (Tabela 2) do que aqueles em L2 e 41,20% (41,98/71,4) mais que aqueles em L1. Em relação à ingestão de FDN, os animais em L3 ingeriram 46,03% (11,9/22,05) mais (Tabela 2) do que aqueles em L2 e 50,61% (10,89/22,05) mais que aqueles em L1. Animais em L3 ingeriram 42,58% (2,71/4,72) mais LIG (Tabela 2) do que aqueles em L2 e 43,22% (2,68/4,72) mais que aqueles em L1.

Os parâmetros da cinética de trânsito de partículas sólidas e líquidas, nos diferentes planos nutricionais, encontram-se listados na Tabela 3. A taxa fracionária de escape de partículas do *pool* escapável ( $k_e$ ) (h) nos planos nutricionais L1, L2 e L3 apresentaram os seguintes valores: 3%/h; 2%/h; 8%/h, respectivamente; embora estes valores não diferiram estatisticamente entre si. O tempo de trânsito do indicador entre sua saída do orifício retículo-omasal e o aparecimento nas fezes (tt) foi menor no L3 (11,70h), comparado ao L2 (14,08h) e L1 (26,84h) ( $P < 0,002$ ). Enquanto a taxa fracionária assintótica de partículas do *raft* para o *pool* escapável ( $\lambda_1$ ) (h) nos planos nutricionais L1, L2 e L3 foi de 48%/h; 70%/h; 24%/h, respectivamente. Em relação à concentração do cromo (g/kg) nas fezes, foi maior nos planos L2, seguido pelo L1 e L3 ( $P < 0,038$ ). Nota-se que os animais no plano L3 consumiram maior quantidade de MS e apresentaram maior  $k_e$ , menor tt e  $\lambda_1$ , comparado aos animais dos outros planos nutricionais, resultando em uma maior taxa de passagem e, conseqüentemente, menor tempo de retenção rúmen-reticular; apesar de não ter diferenças estatísticas entre os tratamentos. Em relação à fase líquida, o parâmetro de taxa para tempos de permanência distribuídos em gama ( $\lambda_2$ ) dos planos nutricionais L1, L2 e L3 foi de 17%/h; 14%/h; 14%/h, respectivamente. Enquanto a concentração do cobalto (mg/kg), aumentou conforme diminuiu o plano nutricional ( $P < 0,016$ ).

Tabela 2 – Consumo da matéria seca, da fração fibrosa e a digestibilidade da fibra em detergente neutro por ovinos mestiços (Dorper × Santa Inês) nos diferentes planos nutricionais.

Variáveis	Planos Nutricionais (L)			EPM	Equação de regressão		P-valores				
	1	1.5	2.5		$\beta_0 \pm SD$	$\beta_1 \pm SD$	Tratamento	Período	Interação	L	Q
MS <sup>a</sup>	41.98	43.11	71.4	0.623	7.17±5.752	26.27±2.975	<0.001	0.496	0.223	<0.001	<0.001
FDN <sup>b</sup>	10.89	11.9	22.05	0.197	-1.75±1.380	9.79±0,604	<0.001	0.912	0.395	<0.001	<0.001
LIG <sup>c</sup>	2.68	2.71	4.72	0.041	0.09±0.366	1.91±0.173	<0.001	0.524	0.149	<0.001	0.001
dFDN <sup>d</sup>	130.75	135.54	132.96	2.572			0.787	0.268	0.365	0.861	0.848

EPM = erro padrão da média,  $\beta_0$  = Interceptação,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = inclinações, SD = desvio padrão. L = Linear, Q = <sup>a</sup>Quadrático.

<sup>a</sup> Matéria seca, <sup>b</sup> fibra detergente neutro e <sup>c</sup> lignina (LIG), todos expressos em g/PV<sup>3/4</sup>. <sup>d</sup> Fibra detergente neutro digestível, expressa em g/kg de MS.

Tabela 3- Parâmetros da cinética de trânsito de partículas sólidas e líquidas em ovinos mestiços (Dorper × Santa Inês) nos diferentes planos nutricionais.

Variáveis	Planos Nutricionais (L)			EPM	Equação de regressão			Tratamento	P-valores			
	1	1.5	2.5		$\beta_0 \pm SD$	$\beta_1 \pm SD$	$\beta_2 \pm SD$		Período	Interação	L	Q
<i>Fase sólida</i>												
Ke	0.03	0.02	0.08	0.008				0.598	0.763	0.687	0.3003	0.6759
tt	26.84	14.08	11.70	2.799	198.4±49.5	-199.5±57.6	49.2±15.4	0.002	0.257	0.119	0.308	0.004
$\lambda_1$	0.48	0.70	0.24	0.099				0.689	0.85	0.358	0.476	0.609
C01	216.70	364.93	203.62	18.753	-537.5±325	1059.4±371.9	-305.2±96.7	0.038	0.526	0.435	0.0606	0.045
<i>Fase líquida</i>												
$\lambda_2$	0.17	0.14	0.14	0.002				0.395	0.567	0.358	0.659	0.173
C02	7709	2300	1127	230	2888±726	-2788±822	6707±215	0.016	0.628	0.768	0.092	0.015

EPM = erro padrão da média,  $\beta_0$  = Interceptação,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = inclinações, SD = desvio padrão. L = Linear, Q = <sup>a</sup> Quadrático

Ke = Taxa de escape do *pool* de partículas escapáveis marcadas com indicador do rúmen para o restante do trato gastrintestinal; (h), tt = Tempo de trânsito do indicador entre sua saída do orifício retículo-omasal e o aparecimento nas fezes; (h),  $\lambda_1$  = Taxa fracionária assintótica dependente da idade para transferência de partículas da *raft* para o *pool* escapável (h), C01 e C02 = Concentração de um marcador de partículas nas fezes (C01 = cromo g/kg e C02 = cobalto mg/kg de matéria seca fecal).  $\lambda_2$  = parâmetro de taxa para tempos de residência distribuídos em gama.

A figura 1 representa o comportamento da excreção fecal dos indicadores de fase sólida [cromo g/kg (1-a, 1-b e 1-c)] e líquida [cobalto mg/kg (1-d, 1-e e 1-f)] nas fezes de ovinos, em função dos tempos de coleta (h) e planos nutricionais. Percebe-se na figura 1-c que o pico de excreção do indicador de fase sólida (cromo) ocorreu em tempo menor (30h) comparado a figura 1-a (36h) e 1-b (36h). A figura 1-c representa os animais que receberam o plano nutricional L3, ou seja, animais que ingeriram maior quantidade de MS e apresentaram maior taxa de passagem e menor tempo de retenção rúmen-reticular em relação aos outros planos nutricionais. O mesmo foi observado para o indicador de fase líquida cobalto, o qual apresentou na figura 1-f um pico de excreção no tempo 18h, enquanto 1-e no tempo 24h e 1-d no tempo 30h.

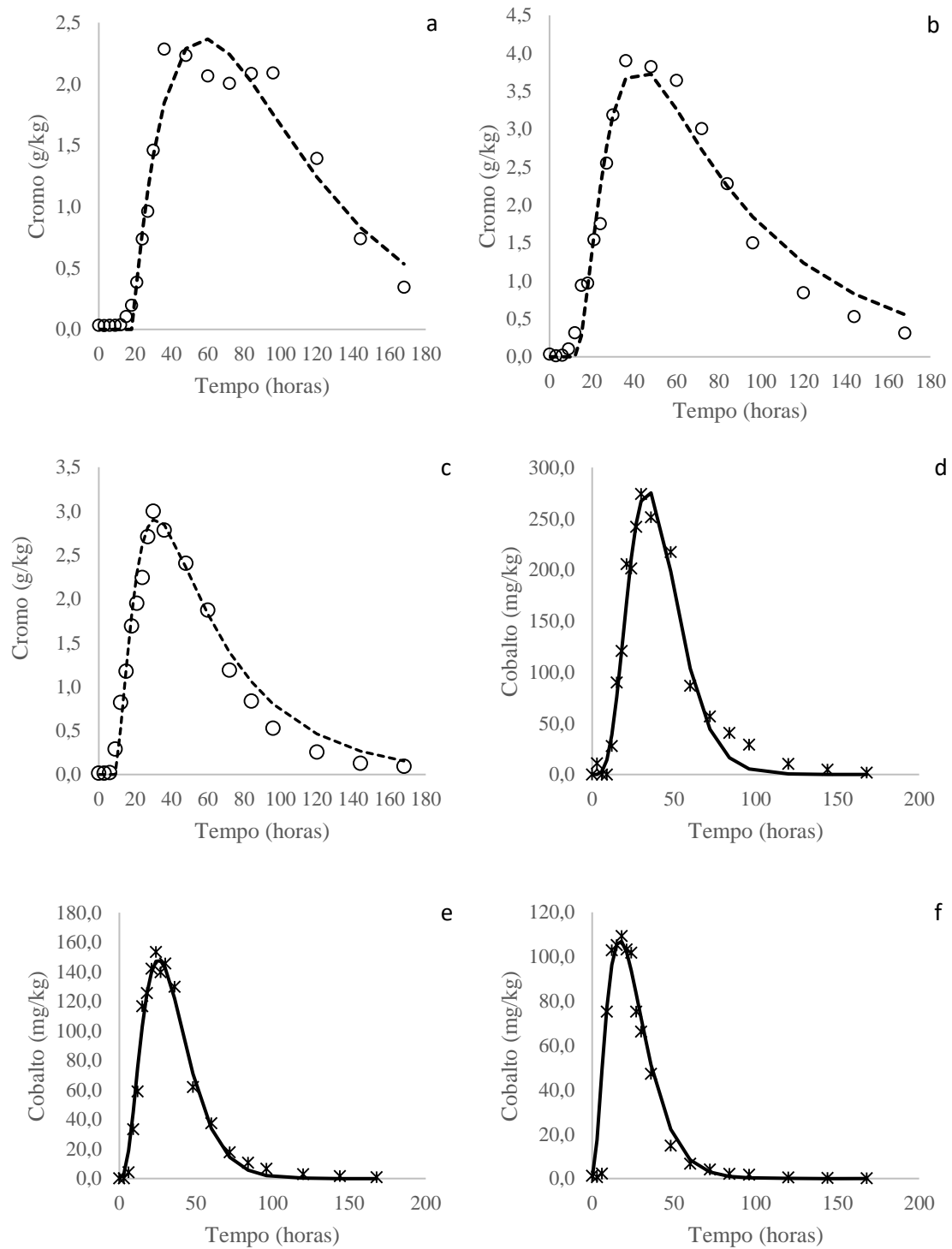


Figura 1 - Perfis de excreção dos indicadores fecais em função dos planos de nutrição (L, adimensional).

No painel (a)  $\frac{MEI}{M_m}$  [ $N = 1$ ]; (b)  $\frac{MEI}{1.5M_m}$  [ $N = 3$ ], (c)  $\frac{MEI}{2.5M_m}$  [ $N = 3$ ], (d)  $\frac{MEI}{M_m}$  [ $G = 6$ ]; (e)  $\frac{MEI}{1.5M_m}$  [ $G = 4$ ],

(f)  $\frac{MEI}{2.5M_m}$  [ $G = 3$ ],

A figura 2 representa a influência dos planos de nutrição na cinética de trânsito de sólidos e líquidos em ovinos mestiços (Dorper × Santa Inês). Observa-se que o tempo médio de retenção no rúmen-retículo (TMR-RR) (h) no plano nutricional L3 foi de 57,05h, enquanto o L2 foi de 73,53h e L1 foi 90,04h. A taxa de passagem (kp) (h) nos planos nutricionais L1, L2 e L3 apresentaram os seguintes valores: 1%/h; 1,5%/h; 2%/h, respectivamente. O tempo de retenção no rúmen-retículo (TRRR) na fase líquida (h) no plano nutricional L3 foi de 25,38h, enquanto o L2 foi de 28,57 e L1 foi 32,93h. A taxa de reciclagem (RR) na fase líquida (h) foi maior no L3 (97%/dia), seguido do L2 (85%/dia) e L1 (71%/dia). O plano nutricional L3 proporcionou menor TMR-RR, maior kp, menor TRRR e maior RR.

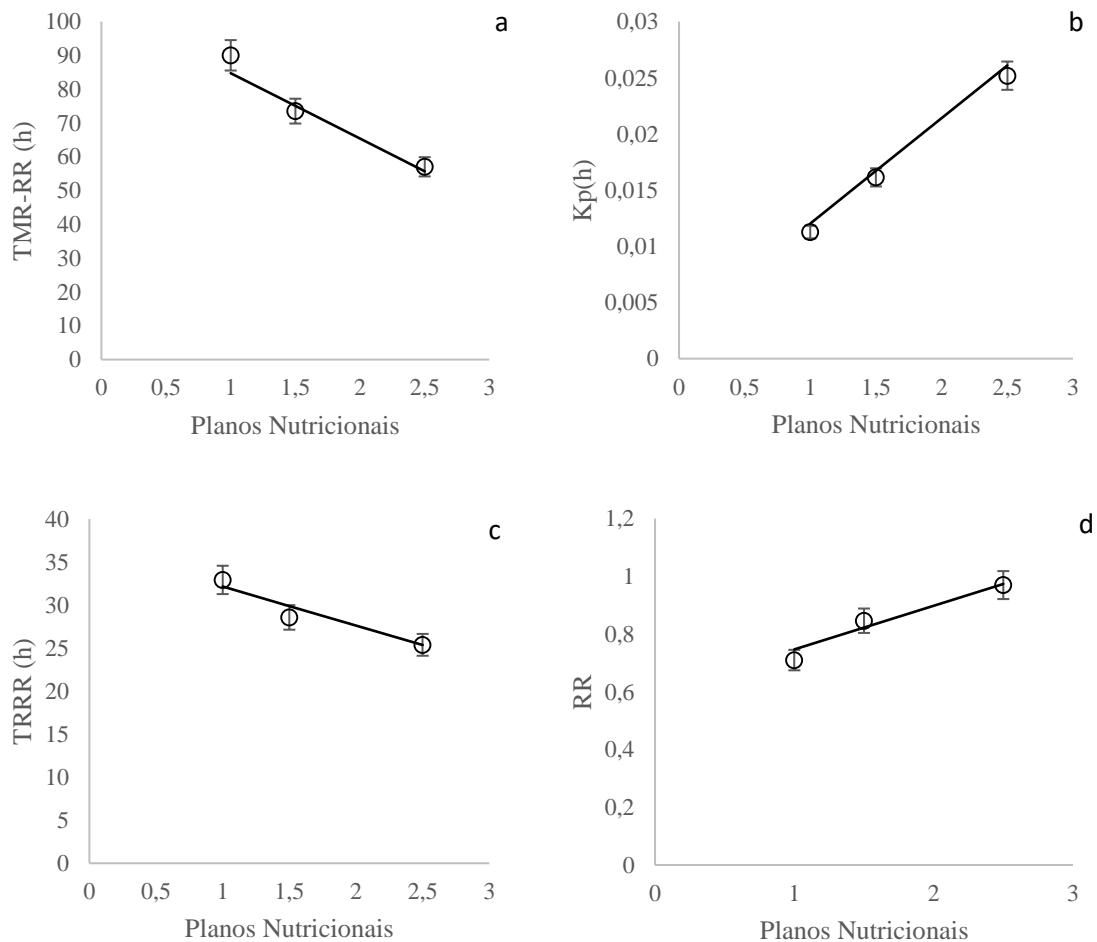


Figura 2 - Influência dos planos de nutrição na cinética de trânsito de sólidos e líquidos em ovinos mestiços (Dorper × Santa Inês). No painel, (a) TMR-RR = Tempo médio de retenção no rúmen-retículo; (b) Kp = Taxa de passagem da digesta no rúmen-retículo; (c) TRRR = Tempo de retenção no rúmen-retículo na fase líquida; e (d) RR = Taxa de reciclagem na fase líquida.

## 6. DISCUSSÃO

Os ruminantes possuem a capacidade única de utilizar materiais fibrosos como fonte de energia devido às adaptações fisiológicas no seu TGI. Dessa forma, a utilização de subprodutos de resíduos culturais possibilita uma redução no uso de alimentos convencionais, minimizando a competição entre humanos e animais, além de permitir reduzir os custos de alimentação e diminuir os impactos ambientais do descarte inadequado desse resíduo (ADESOGAN et al., 2019).

Entretanto, antes da utilização em larga escala de subprodutos de resíduos culturais é necessário primeiramente ter conhecimento do valor nutricional, principalmente da fibra que é o maior constituinte da matéria seca. A fibra tem um impacto direto na ingestão de MS e é inversamente proporcional à digestibilidade do alimento, ou seja, quanto maior o teor de fibra numa dieta, menor é a sua digestibilidade. Tais fatores diminuem a absorção de nutrientes dos alimentos, sobretudo de energia e proteína necessárias para atender as exigências de crescimento, manutenção, reprodução e produção (FORBES, 2007). De modo semelhante, a quantidade de nutrientes absorvidos depende também da interação entre ingestão e digestibilidade, uma vez que o aumento do consumo de MS promove aumento da taxa de passagem e, conseqüentemente, diminuição da digestibilidade (BLAXTER et al., 1956; VAN SOEST, 1994).

A ingestão de nutrientes pelos ovinos alimentados com dietas de baixa energia (ricas em fibra) é controlada por fatores físicos, como enchimento ruminal e passagem da digesta (CONRAD, 1966; ALLEN, 1996). Assim, observamos que os consumos de MS, FDN e LIG foram maiores com o aumento dos planos nutricionais (Tabela 2), comportamento esperado, pois houve maior oferta de alimentos nos planos nutricionais acima da manutenção. Segundo Mertens (1997) a FDN representa a fração de carboidratos dos alimentos de digestão lenta e variável e, quando incluída acima de determinados limites definidos pelo potencial de produção animal, pode limitar tanto o consumo de MS quanto o desempenho.

No presente trabalho, não foram observados efeitos como limitação do consumo devido ao maior consumo de FDN (50,61%) e LIG (43,22%) no plano L3 comparado ao plano em manutenção. Van Soest (1965) salienta que os efeitos prejudiciais relacionados ao consumo voluntário surgem quando a ingestão do FDN ultrapassa 550 a 600 g/kg MS. No experimento, a silagem fornecida aos animais possuía em torno de 540.75 g/kg MS de FDN.

Mello et al. (2021) trabalharam com silagem de resíduos culturais de abacaxi na alimentação de bovinos em diferentes planos nutricionais (L1M, L1,5M, L2M e L2,7M).



Segundo os autores, o aumento nos planos nutricionais afetou ( $P < 0,05$ ) a ingestão de nutrientes entre L1M e L1,5M. Entretanto, não houve efeito na ingestão de nutrientes para L1,5M e 2,7M. No presente trabalho, realizado com ovinos, as diferenças na ingestão de MS, FDN e LIG entre os planos nutricionais L3, L2 e L1 foram representativas e não diminuíram no maior plano nutricional.

Não houve diferença entre a digestibilidade da FDN com os níveis crescentes de ingestão MS ( $P=0.787$ ), encontrando-se valor médio de 13% MS (Tabela 2). A digestão do alimento fibroso pelos ruminantes é dependente da permanência do alimento no órgão de fermentação rúmen-retículo (RR), sendo assim, é afetada pelo consumo e taxa de passagem. Dessa forma, era esperado, com o aumento da ingestão de MS (Tabela 2) e diminuição do TMR-RR (h), associado ao aumento da  $k_p$  (Figura 2), que ocorresse a diminuição da dFDN no plano L3, contrapondo o que Allen e Mertens (1988) reportaram que a digestibilidade dos nutrientes diminui à medida que a taxa de passagem aumenta. Entretanto, nossos resultados corroboraram com os encontrados por Pearson et al. (2006) avaliando bovinos, ovinos, pôneis e burros. Os autores não verificaram efeito do nível de ingestão na digestibilidade dos nutrientes.

O fato de não ter havido diferença estatística quanto a dFDN (Tabela 2), com o aumento do consumo de MS (Tabela 2) e da taxa de passagem (Figura 2-b), provavelmente deve-se à baixa digestibilidade da SRCA. A SRCA é um alimento pouco digestível comparado a outros como a cana-de-açúcar (dFDN 23,1%) e o milho (dFDN 42,1%) (CORRÊA et al., 2003). De modo geral, a utilização de fibras pelos microrganismos ruminais é complexa e é afetada por muitos fatores, incluindo fonte de fibra, composição de monossacarídeos, tipos de ligação, comprimento de cadeia, tamanho de partícula e a interação de outros compostos associados à própria fibra (TELLO et al., 2020).

Jung e Allen (1995) reportaram a lignina como o composto chave que diminui a digestibilidade da parede celular. Os diferentes padrões de lignificação dos tecidos das plantas determinam a digestibilidade da forragem (AKIN, 1989; JUNG, 2012) afetando o tempo de mastigação e ruminação (COLEMAN et al., 2004), a redução do tamanho de partículas (WILSON e KENNEDY, 1996), a taxa de passagem ruminal (KENNEDY e DOYLE, 1993) e por último o desempenho animal (BATISTOTI et al., 2012). Em nosso estudo, a composição química da SRCA apresentou valor de lignina de 5,4% MS, tal valor está próximo do encontrado em outras culturas como a silagem de milho, cana-de-açúcar e casca de soja (4,52%, 5,61% e 3,38%, com base na MS, respectivamente) (GOULART et al., 2020). Com isso, acreditamos que outros fatores além da lignina possam ter influenciado a dFDN, como por exemplo o tamanho das partículas.

Allen e Mertens (1988) propuseram que os fatores que afetam a digestibilidade dos alimentos podem ser atribuídos às características cinéticas do alimento, além dos eventos que ocorrem em virtude da possível concorrência existente entre as taxas de passagem e digestão. O tamanho que a partícula chega no rúmen é um importante fator que interfere tanto na digestibilidade, como também na taxa de passagem do alimento. No presente estudo, a SRCA apresentava partículas grandes, superiores a 3cm. Kovács et al. (1998) salientam que quanto maior o tamanho das partículas, maior a dificuldade de acesso dos microrganismos para realizar a degradação e fermentação devido à menor área de superfície exposta. Sendo assim, possivelmente, a alta proporção de partículas grandes na silagem fornecida aos animais contribuiu com a baixa digestibilidade da FDN.

De Vega e Poppi (1997) reportaram que diversos fatores influenciam a taxa de passagem, os quais podem ser classificados como inerentes aos animais ou à dieta. De acordo com os autores, entre os relativos ao animal destacam-se raça, sexo, idade e estado fisiológico; e com relação aos da dieta, tem-se a natureza dessa dieta, tamanho e densidade das partículas e o nível de ingestão.

Com o aumento da ingestão de MS no plano nutricional L3, houve também um aumento da taxa de escape do *pool* ruminal de partículas marcadas com indicador do rúmen para o restante do trato gastrointestinal (Ke), redução do tempo de trânsito do indicador entre sua saída do orifício retículo-omasal e o aparecimento nas fezes (tt) e da taxa de escape do *raft* para o *pool* ( $\lambda_1$ ), comportamentos esses já esperados (Tabela 3). Também houve com o aumento da ingestão de MS uma redução do tempo médio de retenção no rúmen-retículo das partículas nas fases sólida (TMR-RR) e líquida (TRRR), aumento das taxas passagem (Kp) e reciclagem da fase líquida (RR) (Figura 2). Os resultados supracitados estão de acordo com os reportados na literatura, na qual o aumento nos níveis de consumo da dieta, geralmente, resulta em taxa de passagem mais rápida de solutos e partículas, assim como o aumento da proporção de fibra estimula a atividade propulsiva (VAN SOEST, 1994). Em condições de dietas com alto teor de fibra, o maior enchimento do rúmen estimula os receptores presentes na parede do rúmen a aumentarem o número de contrações ruminais, o que provoca incremento na motilidade ruminal e permite maior escape da digesta (BALCH e CAMPLING, 1962).

A quantidade de alimento ingerido é com certeza a variante mais pertinente relacionada com o tempo de retenção de digesta no TGI de animais ruminantes. Variações no tempo de retenção com alterações no consumo têm sido evidenciadas em inúmeras pesquisas nas quais esses dois parâmetros foram avaliados (BLAXTER et al., 1956; COLUCCI et al., 1990; DIAS et al., 2011). Tal relação é provável, já que, em ruminantes, o aumento na quantidade de

alimento ingerido é acompanhado por expansão do rúmen e por maior taxa de desaparecimento (através da digestão ou da passagem), e ambos os fenômenos podem atuar ao mesmo tempo. A intensidade da resposta desses dois parâmetros certamente depende das características químicas e físicas da dieta (densidade, tamanho de partícula, parede celular, composição química) (BLAXTER et al., 1956).

Alguns autores sugeriram que a  $k_p$  de forragem pode variar de 1% a 6%/h, pois essa taxa é afetada pelo nível de ingestão dos animais, pela gravidade específica das partículas no conteúdo ruminal, pela densidade de partículas e pelo tamanho das partículas de ração no rúmen (MARTZ e BELYEA, 1986; OWENS e GOETSCH, 1988; GIGER-REVERDIN, 2000). Os valores da  $k_p$  de forragens mencionados por Owens e Goetsch (1988) são consistentes com os valores apresentados neste estudo: 1%/h; 1,5%/h; 2%/h, nos planos nutricionais L1, L2 e L3, respectivamente. Confirmando que o aumento da ingestão de MS promoveu alta taxa de passagem e menores valores de TMR-RR e TRRR no plano L3. De acordo com Galyean e Defoor (2003), mudanças na passagem de componentes da dieta do rúmen para o TGI podem estar relacionadas a alterações no CMS resultantes de diferenças nas fontes e concentrações da forragem. No presente estudo, os animais receberam a mesma fonte de volumoso, contudo, em diferentes níveis de concentração, o que promoveu alterações na cinética digestiva (Tabela 3 e Figura 2).

Ellis et al. (2005) reportaram que as principais condições determinantes da taxa de passagem são o tamanho e a gravidade das partículas pois definem o período em que o alimento fica no RR e a sua distribuição pelas distintas regiões. O tamanho da partícula interfere na  $k_p$ , uma vez que estabelece a maior ou menor capacidade de renovação do conteúdo ruminal e, portanto, a ingestão e a eficiência de aproveitamento dos alimentos ingeridos (KOVÁCS et al., 1998). Um tamanho adequado das partículas é necessário para que os microrganismos ruminais tenham condições de acesso e colonização destas (ALLEN e MERTENS, 1988; AKIN, 1989). Partículas longas impedem o acesso dos microrganismos ao interior da célula para realizar a degradação, em função da menor área específica (AKIN, 1993). Bem como, elevam o tempo necessário à ruminação e formam uma malha suspensa no interior do RR. Essas condições aumentam o volume e reduzem a extensão da renovação do conteúdo do RR, fazendo com que o desempenho animal seja influenciado pelo baixo nível de ingestão.

Como relatado anteriormente, a silagem ofertada aos animais do presente estudo continha partículas de tamanho grande (superiores a 3 cm), sendo assim, a menor taxa de passagem observada nos planos L1 e L2 podem estar relacionados a essa dificuldade de acesso dos microrganismos às partículas, sendo necessário aumentar o tempo para ruminação e, logo,

o TMR-RR. Por outro lado, a maior taxa de passagem constatada no tratamento L3 pode ter sido influenciada pelo maior nível de ingestão que promoveu estímulos aos receptores presentes na parede do rúmen e aumentou o número de contrações ruminais e, portanto, a motilidade do TGI.

Não foram observadas diferenças estatísticas na taxa de passagem da fração líquida de Co-EDTA nos tratamentos L1, L2 e L3, que foi de 17%/h; 14%/h; 14%/h, respectivamente (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Moore et al. (1990), que não observaram diferença na taxa de passagem da fração líquida em bovinos alimentados com dieta contendo diferentes fontes de volumoso (feno de alfafa picado, casca de algodão ou palha de trigo picada). Além disso, Shain et al. (1999) também não relataram diferenças na taxa de passagem de líquido em bovinos alimentados com dieta concentrada de milho laminado a seco ou dietas contendo milho laminado a seco balanceado para fornecer FDN igual de feno de alfafa, palha de trigo ou espigas de milho. Enquanto a taxa de reciclagem aumentou de 71% a 96%/dia (Figura 2-d) com o aumento dos planos nutricionais, respectivamente. Dietas com maiores níveis de ingestão de MS apresentaram maiores taxas de diluição neste estudo, assim como encontrado por Colucci et al. (1990). O aumento do fluxo de líquido no rúmen-retículo, observado em função do consumo, pode ser atribuído, principalmente, ao aumento da salivação, oriunda da atividade mastigatória durante a alimentação e ruminação, o que aumenta o fluxo salivar e conseqüentemente a fluidez da digesta, como também o consumo de água (COLLUCI et al., 1990). Ospina (1995) mencionou que, em geral, animais alimentados com volumosos apresentam maiores taxas de passagem da fase líquida que animais alimentados com concentrados, estando este fato aparentemente relacionado à maior produção de saliva.

Os comportamentos da excreção fecal dos indicadores (cromo e cobalto) apresentaram excelentes visualizações (Figura 1). Nota-se que ocorreu constância na excreção do cromo da fibra mordentada e do Co-EDTA e que a ascensão ao pico e o declínio da concentração do indicador nas fezes foram mais rápidos (h) na fração líquida do que na sólida, conforme observado por Udén (1980). O nível de ingestão teve um efeito nas curvas de excreção, conforme houve o aumento da ingestão de MS no tratamento L3, mais rápido (horas) atingiu-se o pico de excreção de cromo e cobalto. Tais resultados corroboram com os outros resultados encontrados no presente trabalho relacionados ao aumento da taxa de passagem, menor TMR-RR da fase sólida e líquida e maior taxa de reciclagem no plano L3.

O conhecimento da dinâmica de partículas e do fluxo da digesta permite definir estratégias alimentares visando a melhor utilização de resíduos culturais de lavouras na alimentação animal e fornecer um suporte quantitativo para os estudos de nutrição e, por

consequente, a melhoria da eficiência de exploração dos animais domésticos (UDÉN et al., 1982).

## **7. CONCLUSÕES**

O aumento dos planos nutricionais promoveu aumento do consumo de MS, FDN e lignina associado à diminuição do tempo médio de retenção no rúmen-retículo da fase sólida e líquida e aumento da taxa de passagem e taxa de reciclagem na fase líquida. A digestibilidade da FDN não foi influenciada nos diferentes planos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ADESOGAN, A. T.; ARRIOLA, K. G.; JIANG, Y.; OYEBADE, A.; PAULA, E. M.; PECH-CERVANTES, A. A.; ROMERO, J. J.; FERRARETTO, L. F.; VYAS, D. Symposium review: Technologies for improving fiber utilization. **J. Anim. Sci.**, v. 102, p. 5726-5755, 2019.
- AFRC. **Energy and Protein Requirements of Ruminants**. CAB International, Cambridge, UK, 1993. 159 p.
- ARC - AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (London, England). **The nutrient requirement of ruminant livestock**. Farnham Royal: CAB, 1980. 228-229 p.
- AKIN, D. E. Histological and physical factors affecting digestibility of forages. **J. Agron.**, v. 81, p. 17-25, 1989.
- AKIN, D. E. Perspectives of Cell Wall Biodegradation—Session Synopsis. In: Jung, H. G.; Buxton, D. R.; Hatfield, R. D.; Ralph, J. (eds.) *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*. p 73-82. **American Society of Agronomy**, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1993.
- ALLEN, M. S.; MERTENS, D. R. Evaluating Constraints on Fiber Digestion by Rumen Microbes. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 118, n. 2, p. 261-270, 1988.
- ALLEN, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forage by ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 74, p. 3063–3075, 1996.
- ALVES, G. R.; FONTES, C. C. A.; FERNANDES, A. M.; PROCESSI, E. F.; OLIVEIRA, T. S.; GLÓRIA, L. S.; GOMES, R. S. Intake and digestibility of silages containing pineapple pulp and coast-cross hay with or without urea and markers recovery in sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 4, p. 151-157, abr. 2016.
- ANTUNES, E. C. E. S.; PEREIRA, J. E. S.; FERREIRA, R. L. S.; MEDEIROS, M. F. D.; BARROS NETO, E. L. Remoção de Corante Textil Utilizando A Casca do Abacaxi Como Adsorvente Natural. **Holos**, v. 03, p. 81-97, 2018.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 15. ed. Arlington: AOAC International, 1990. 1117 p.
- ARNTZEN, M. Ø.; VÁRNAI, A.; MACKIE, R. I.; EIJSINK, V. G. H.; POPE, P. B. Outer membrane vesicles from *Fibrobacter succinogenes* S85 contain an array of carbohydrate-active enzymes with versatile polysaccharide-degrading capacity. **Environmental Microbiology**, v. 19, n. 7, p. 2701-2714, 29 maio 2017.
- BALCH, C. C.; CAMPLING, R. C. Regulation of voluntary food intake in ruminants. **Nutrition Abstract and Reviews**, v. 32, n. 3, p. 669-686, 1962.
- BARGO, F.; MULLER, L. D.; DELAHOY, J. E.; CASSIDY, T. W. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total

- mixed rations. **J. Dairy Sci.**, v. 85, p. 2948–2963, 2002.
- BATISTOTI, C.; LEMP, B.; JANK, L.; MORIS, M.; CUBAS, A. C.; GOMES, R. A.; FERREIRA, M. V. B. Correlations among anatomical, morphological, chemical and agronomic characteristics of leaf blades in *Panicum maximum* genotypes. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 171, p. 173–180, 2012.
- BERCHIELLI, T. T.; PIRES, V. A.; OLIVEIRA, G. S. **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2011. 616 p.
- BLAXTER, K. L.; GRAHAM, N. M.; WAINMAN, F. W. Some observations on the digestibility of food by sheep, and on related problems. **British Journal of Nutrition**, v. 10, p. 69-91, 1956.
- BOSCH, M. W. **Influence of stage of maturity of grass silages on digestion processes in dairy cows** 1991. 150 f. Thesis (Ph.D. in Animal Nutrition) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1991.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological Methods & Research**, v. 33, p. 261-304, 2004.
- CAETANO, G. A. D. O.; VILLELA, S. D. J.; OLIVEIRA, M. M. N. F. D.; LEONEL, F. D. P.; TAMY, W. P. Particle passage kinetics and neutral detergent fiber degradability of silage of pineapple waste (aerial parts) under different packing densities. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 43, n. 1, p. 49-53, 2014.
- CAMPBELL, C. R.; PLANK, C. O. Sample preparation. Organic Matter Destruction-Wet Ashing. In: Plant analysis reference procedures for the southern region of the United States. Plant Anal. Ref. Proc. for S. US, n. 368, p 78,1992.
- CANNAS, A.; VAN SOEST, P. J.; PELL, A. N. Use of animal and dietary information to predict rumen turnover. **Animal Feed Science and Technology**, v. 106, p. 95-117, 2003.
- CARVALHO, V. D.; PAULA, M. B.; ABREU, C. M. P.; CHAGAS, S. J. R. Efeito da época de colheita da planta na composição química das folhas do abacaxizeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 10, p.1655-1661, 1991.
- CHESSON, A.; FORSBERG, C. W. **Polysaccharide degradation by rumen microorganisms**. In: Hobson, P.N. The rumen microbial ecosystem. New York: Elsevier Applied Science, p.251-284, 1988.
- CHESSON, A.; FORSBERG, C. W. **Polysaccharide degradation by rumen microorganisms**. The rumen microbial ecosystem. Springer. 1997.
- COLEMAN, S. W.; MOORE, J. E.; WILSON, J. R. Quality and utilization. Pages 267–308 in Warm Season (C4) Grasses. L. E. Moser, B. L. Burson, and L. E. Sollenberger, ed. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, 2004.
- COLODO, J. C. N. **Indicadores de cinética ruminal em ovinos alimentados com feno de tifton-85 e níveis crescentes de concentrado**. 34 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de



- Zootecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- COLUCCI, P. E.; MACLEOD, G. K.; GROVUM, W. L. et al. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. **Journal of Dairy Science**, v. 73, p. 2143-2156, 1990.
- COMBS, D. K.; SATTER, L. D. Determination of Markers in Digesta and Feces by Direct Current Plasma Emission Spectroscopy. **Animal Feed Science Technology**, v. 75, p. 2176–2183, 1992.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras**. Brasília, 2020. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14 set. 2021.
- CONRAD, H. R. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: physiological and physical factors limiting feed intake. **J. Anim. Sci.**, v. 25, p. 227–235, 1966.
- CORDEIRO, C. C.; FERNANDES, A. M.; OLIVEIRA, T. S.; CAMILO, M. G.; BAFFA, D. F.; GLÓRIA, L. F.; BERNARDO, S. E. E. Intake, total apparent digestibility, and microbial efficiency of sheep fed pineapple waste silage in different planes of nutrition. **R. Bras. Zootec.**, v. 51, p. 1-11, 2022.
- CORREA, C. E. S.; PEREIRA, M. N.; OLIVEIRA, S. G.; RAMOS, M. H. Performance of Holstein cows fed sugarcane or corn silages of different grain textures. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 4, p. 621-629, 2003.
- CUTRIM, D. O.; ALVES, K. S.; NEIVA, J. N. M.; OLIVEIRA, L. R. S.; MEZZOMO, R.; ELIAS, A. K. S.; MATA, V. J. V.; SANTOS, R. S.; GOMES, D. I. Replacement levels of elephant grass by moist pineapple by-product silage in diets of Santa Inês crossbred sheep: performance and digestibility. **Tropical Animal Health And Production**, v. 45, n. 2, p. 585-592, 25 set. 2012.
- CZERKAWSKI, J.W. **Na Introducion To Rúmen Studies**. Oxford: Pergamon: Press, p. 236, 1986.
- DAMAS, L. P. **Substituição da Silagem do Resíduo da Cultura do Abacaxi por Palma Forrageira na Dieta para Ovinos**. 31 f. Monografia (Especialização) - Curso de Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.
- DASSA, B.; BOROVOK, I.; RUIIMY-ISRAELI, V.; LAMED, R.; FLINT, H. J.; DUNCAN, S. H.; HENRISSAT, B.; COUTINHO, P.; MORRISON, M.; MOSONI, P. Rumen Cellulosomics: divergent fiber-degrading strategies revealed by comparative genome-wide analysis of six ruminococcal strains. **Plos One**, v. 9, n. 7, p. 221-231, 3 jul. 2014.
- DE VEGA, A.; POPPI, D. Extent of digestion and rumen condition as factors affecting passage of liquid and digesta particles. **J. Agric. Sci.**, v. 128, p. 207–215, 1997.

- DETMANN, E.; CECON, P.R.; PAULINO, M.F. Estimação de parâmetros da cinética de trânsito de partículas em bovinos sob pastejo por diferentes sequências amostrais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p. 222-230, 2001.
- DHANOVA, M. S.; SIDDON, R. C.; FRANCE, J.; GALE, D. L. A multicompartmental model to describe marker excretion patterns in ruminant faeces. **British Journal of Nutrition**, v. 53, p. 663 – 671, 1985.
- DIAS, R. S.; PATINO, H. O.; LÓPEZ, S.; PRATES, E.; SWANSON, K. C.; FRANCE, J. Relationships between chewing behavior, digestibility, and digesta passage kinetics in steers fed oat hay at restricted and ad libitum intakes. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 6, p. 1873-1880, 1 jun. 2011.
- EHLE, F. R. Influence of feed particle density on particulate passage from rumen of Holstein cow. **Journal of Dairy Science**, v.67, p. 693-697, 1984.
- ELLIS, W. C.; MATIS, J. H.; POND, K. R. et al. Dietary influences on flow rate and digestive capacity. In: GILCHRIST, F.M.C., MACKIE, R.I. (Eds.). **Herbivore nutrition in the subtropics and tropics**. Pretoria: Science Press., 1984. 269-293 p.
- ELLIS, W. C.; MATIS, J. H.; HILL, T. M.; MURPHY, M. R. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: G. C. Fahey Jr. (ed.) **Forage Quality, Evaluation and Utilization** No. 1. p 682-756. ASA Inc., CSSA Inc., SSSA Inc., Madison, 1994.
- ELLIS, W. C.; POPPI, D. P.; MATIS, J. H.; LIPPKE, H.; HILL, T. M.; ROUQUETTE JR, F. M.(1999). Dietary digestive metabolic interactions determining the nutritive potential of ruminant diets. In: Jung, H. G.; Fahey, G. C., **Nutritional Ecology of Herbivores- Proceedings of the Vth International Symposium on the Nutrition of Herbivores**. Nutritional Ecology of Herbivores, San Antonio, Texas, USA, p.423-481, 11-17 April 1999.
- ELLIS, W. C.; MAHLOOJI, M.; LASCANO, C. E.; MATIS, J. H. Effects of size of ingestively masticated fragments of plant tissues on kinetics of digestion of NDF. **Journal Animal Science**, v. 83, p. 1602-1615, 2005.
- FAO. **Culturas e produtos pecuários**. 2020. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- FAICHNEY, G. J. The kinetics of particulate matter in the rumen. In: MILLIGAN, L. P., GROVUM, W. L., DOBSON, A. (Eds.) Control of digestion and metabolism in ruminants. **INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON RUMINANT PHYSIOLOGY**, 6., 1984, Canada. **Proceedings...** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, p.173-195, 1986.
- FAICHNEY, G. J.; Digesta flow. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J. M.; FRANCE, J. (Eds) Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. **CAB publishing**, 2. ed. Londres, Washington. p. 49-86. 2005.
- FERNANDES, R. A. A. **Cinética ruminal in vitro de silagens com diferentes coprodutos de agroindústrias**. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2018.

- FERREIRA, A. C. H.; NEIVA, J. N. M.; RODRIGUEZ, N. M.; CAMPOS, W. E.; BORGES, I. Avaliação nutricional do subproduto da agroindústria de abacaxi como aditivo de silagem de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 223–229, 2009.
- FERREIRA, S. F.; FREITAS NETO, M. D.; PEREIRA, M. L. R.; MELO, A. H. F.; OLIVEIRA, L. G.; NETO, J. T. Fatores que afetam o consumo alimentar de bovinos. **Arquivos de Pesquisa Animal**, v. 1, n. 2, p. 9-19, dez. 2013.
- FORBES, J. M. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. **Nutrition Research Reviews**, v. 20, p. 132-146, 2007.
- FOX, D. G.; SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; RUSSELL, J. B.; VAN SOEST, P. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal of Animal Science**, v.70, p. 3578-96, 1992.
- GALYEAN, M. L.; DEFOOR, P. J. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. **J. Anim. Sci.** (In Press). 2003.
- GIGER-REVERDIN, S. Review of the main methods of cell wall estimation: interest and limits for ruminants. **Ani. Feed Sci. Tech.**, Amsterdam, v. 55, n. 4, p. 295-334, 1995.
- GIGER-REVERDIN, S. Characterisation of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v. 86, p. 53–69. 2000.
- GOULART, R. S.; VIEIRA, R. A. M.; DANIEL, J. L. P.; AMARAL, R. C.; SANTOS, V. P.; TOLEDO FILHO, S. G.; CABEZAS-GARCIA, E. H.; TEDESCHI, L. O.; NUSSIO, L. G. Effects of source and concentration of neutral detergent fiber from roughage in beef cattle diets on feed intake, ingestive behavior, and ruminal kinetics. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 5, p. 1-15, 2020.
- GOWDA, N. K. S.; VALLESHA, N. C.; AWACHAT, V. B.; ANANDAN, S.; PAL, D. T.; PRASAD, C. S. Study on evaluation of silage from pineapple (*Ananas comosus*) fruit residue as livestock feed. **Tropical Animal Health and Production**, v. 47, n. 3, p. 557–561, 2015.
- GRABBER, J. H. How do lignin composition, structure, and crosslinking affect degradability? A review of cell wall model studies. **Crop Sci.**, v. 45, p. 820–831, 2005.
- GRANADA, G. G.; ZAMBIAZI, R. C.; MENDONÇA, C. R. B. Abacaxi: produção, mercado e subprodutos. **Boletim do centro de pesquisa e processamento de alimentos**, v. 22, n. 2, p. 405-422, 2004.
- GUZMAN, C. E.; BEREZA-MALCOLM, L. T.; GROEF, B.; FRANKS, A. E. Presence of Selected Methanogens, Fibrolytic Bacteria, and Proteobacteria in the Gastrointestinal Tract of Neonatal Dairy Calves from Birth to 72 Hours. **Plos One**, v. 10, n. 7, p. 1-11, 17 jul. 2015.

- HERRERA, M. L.; JONES, R. W. C.; BOURRILLÓN, A. R. Meta-análisis de los subproductos de piña (*Ananas comosus*) para la alimentación animal. **Agronomía Mesoamericana**, v. 25, n. 2, p. 383-392, 2014.
- HOFFMANN, R. R. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. **Oecologia**, v. 78, p. 443-457, 1989.
- HUHTANEN, P.; ASIKAINEN, U.; ARKKILA, M. Cell wall digestion and passage kinetics estimated by marker and in situ methods or by rumen evacuations in cattle fed hay 2 or 18 times daily. **Animal Feed Science and Technology**, v. 133, p. 206-227, 2007.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola: Lavoura Temporária**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10193>>. Acesso em: 14 set. 2022.
- ILLIUS, A. W.; JESSOP, N. S. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 74, p. 3052-3062, 1996.
- JUNG, H. G.; ALLEN, M. S. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. **J. Anim. Sci.**, v. 73, p. 2774-2790, 1995.
- JUNG, H. J. G. Forage digestibility: The intersection of cell wall lignification and plant tissue anatomy. Pages 162-173 in Proc. 23rd Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, FL. 2012.
- KENNEDY, G. C. The role of depot fat in the hypothalamic control of food intake in the rat. **Proceedings of the Royal Society**, p. 578-292, 1953.
- KENNEDY, P. M.; DOYLE, P. Particle-size reduction by ruminant-effects of cell wall composition. Pages 499-534 in **Forage Cell Wall Structure and Digestibility**. H. G. Jung, D. R. Buxton, R. D. Hatfield, and J. Ralph, ed. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. 1993.
- KETELAARS, J. J. M. H.; TOLKAMP, B. J. Oxygen efficiency and the control of energy flow in animals and humans. **Journal of Animal Science**, v. 74, p. 3036-3051, 1996.
- KOVÁCS, P. L.; SÜDEKUM, K. H.; STANGASSINGER, M. Effects of intake of a mixed diet and time post feeding on amount and fiber composition of ruminal and fecal particles and on digesta passage from the reticulum-rumen of steers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 71, p. 325-340, 1998.
- KYAW, Y. Y.; WIN, K. S.; MU, K. S.; AUNG, A.; AUNG, M. Feeding pineapple waste silage as roughage source improved the nutrient intakes, energy status and growth performances of growing Myanmar local cattle. **J Adv Vet Anim Res**, v. 7, n. 3, p. 436-441, 2020.
- LALLO, F. H.; PRADO, I. N.; NASCIMENTO, W. G.; ZEOULA, L. M.; MOREIRA, F. B.; WADA, F. Y. Níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduos

- industriais de abacaxi sobre a degradabilidade ruminal em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 3, p. 719–726, 2003.
- LASCANO, C.; QUIROZ, R., Metodologia para estimar la dinámica de La digestion en ruminantes. In: RUIZ, M.E, RUIZ, A. (Eds.) **Nutrición de ruminantes: guía metodológica de investigación**. San Jose: ALPA/IICA/RISPAL, p. 89-104. 1990.
- LUND, P.; WEISBJERG, M. R.; HVELPLUND, T. (2006). Passage kinetic s of fibre in dairy cows obtained from duodenal and faecal ytterbium excretion. **Animal Feed Science and Technology**, v. 128, n. 3-4, p. 229–252, 2006.
- MACEDO-JUNIOR, G. L.; ZANINE, A. M. Importância do consumo da fibra para nutrição de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 6, n. 8, p. 1-10, 2006.
- MACEDO-JUNIOR, G. L.; ZANINE, A. M.; BORGES, I.; PÉREZ, J. R. O. Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes. **Ciência Animal**, v. 17, n. 1, p. 7-17, 2007.
- MARIN, C. M.; SUTTINI, P. A.; SANCHES, J. P. F.; BERGAMASCHINE, F. Potencial Produtivo e Econômico da Cultura do Abacaxi e o Aproveitamento de seus Subprodutos na Alimentação Animal. **Ciências Agrárias e da Saúde**, Andradina, v. 2, n. 1, p. 79-82, 2002.
- MARTZ, F.A.; BELYEA, R.L. Role of particle size and forage quality in digestion and passage by cattle and sheep. **Journal of Dairy Science**, v. 69, n. 7, p. 1996-2008, 1986.
- MAURER, H. R.; Bromelain: biochemistry, pharmacology and medical use [review]. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 58, p. 1234-1245, 2001.
- McDOUGALL, G. J.; MORRISON, I. M.; STEWART, D.; et al. Plant fibres: chemistry and processing for industrial use. **J. Sci. Food Agric.**, London, v. 62, n. 1, p. 1-20, 1993.
- MELLO, B. L. B.; FERNANDES, A. M.; OLIVEIRA, T. S. de; LEONEL, F. P.; GLÓRIA, L. S.; SILVA, R. S. T. Feed intake, digestibility, and energy contents in growing bull fed pineapple crop waste silage in different planes of nutrition. **Tropical Animal Health And Production**, v. 53, n. 1, p. 1-10, mar. 2021.
- MELLO, B. L. B. **Avaliação nutricional da silagem dos restos culturais do abacaxizeiro para alimentação de bovinos em diferentes planos nutricionais**. 47 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Animal, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Zootecnia., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.
- MERTENS, D. R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In: Simpósio Internacional de Ruminantes. Anais... SBZ-ESAL, 188, MG., 1992.
- MERTENS, D. R.; BRODERICK, G.A.; Simons, R. Efficacy of carbohydrate sources for improving utilization of N in alfafa silage. **Journal of Dairy Science**, v. 77, p. 240, 1994.

- MERTENS, D. R. Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. **Informational Conference with Dairy and Forages Industries**. US Dairy Forage Research Center, 1996.
- MERTENS, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirement of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 80, p. 1463, 1997.
- MERTENS, D. R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. **In: Simpósio Internacional Em Bovinos De Leite**, 2., 2001, Lavras. Anais... Lavras:UFLA-FAEPE, p.25, 2001.
- MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, p. 1217-1240, 2002.
- MINSON, D. J. **Forage in ruminant nutrition**. Academic Press, Inc., New York. 1990.
- MIZRAHI I. Rumen symbioses. In: Rosenberg E, DeLong EF, Lory S et al. (eds). *The Prokaryotes: Prokaryotic Biology and Symbiotic Associations*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 533–44, 2013.
- MOONEY, C. S.; ALLEN, M. S. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. **Journal of Dairy Science**, v. 80, p. 2052-2061, 1997.
- MOORE, J. A.; POORE, M. H.; SWINGLE, R. S. Influence of roughage source on kinetics of digestion and passage, and on calculated extents of ruminal digestion in beef steers fed 65% concentrate diets. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 10, p. 3412–3420, 1990.
- MORAÏS, S.; MIZRAHI, I. Islands in the stream: from individual to communal fiber degradation in the rumen ecosystem. **Fems Microbiology Reviews**, v. 43, n. 4, p. 362-379, 9 abr. 2019.
- MULLER, Z. O. Feeding potential of pineapple waste for cattle. **World Animal Review**, v. 25, p. 25-29, 1978.
- NASCIMENTO, P. M. L.; FARJALLA, Y. B.; NASCIMENTO, J. L. Consumo voluntário de bovinos. **Revista Electronica de Veterinaria**. v.10, n.10, p. 1-27, 2009.
- NOLLER, C. H., NASCIMENTO JÚNIOR, D., QUEIROZ, D. S. Exigências nutricionais de animais em pastejo. In: Simpósio de manejo de pastagens, Piracicaba. **Anais ... Piracicaba: FEALQ**, v.13, p. 319-352, 1996.
- OFFER, N. W.; DIXON, J. Factors affecting outflow rate from the reticulo-rumen. **Nutr. Abstr. Rev.**, v.70, p.833-844, 2000.
- OLIVEIRA, T. S. **Estimativas de parâmetros cinéticos de degradabilidade e passagem de materiais originados da consorciação entre capim-braquiária e culturas de milho e soja**. 2010. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

- OSPINA, H. **Influência do nível de consumo de feno sobre a digestibilidade, cinética digestiva e degradação ruminal em bovinos.** 1995. 249p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- OWENS, F. N.; GOETSCH, A. L. Ruminal fermentation. In: Church, D. C., editor. *The ruminant animal digestive physiology and nutrition.* **Englewood Cliffs (NJ):** Prentice-Hall; p. 121. 1988.
- PAIVA, P. E.; LIMA, S. M.; PAIXÃO, A. J. Pectina: Propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação. **Revista Iberoamericana de Polímero**, v. 10, n. 4, p. 196-211, 2009.
- PEARSON, R. A.; ARCHIBALD, R. F.; MUIRHEAD, R. H. A comparison of the effect of forage type and level of feeding on the digestibility and gastrointestinal mean retention time of dry forages given to cattle, sheep, ponies and donkeys. **British Journal of Nutrition**, n. 95, v.01, p. 88-98, 2006.
- PELLIKAAN, W. F.; VERSTEGEN, M. W. A.; TAMMINGA, S.; DIJKSTRA, J.; HENDRIKS, W. H.  $\delta^{13}\text{C}$  as a marker to study digesta passage kinetics in ruminants: a combined in vivo and in vitro study. **Animal**, v. 7, n. 5, p. 754-767, 2012.
- PEYRAUD, J. L.; COMERON, E. A.; WADE, M. H.; LEMAIRE, G. The effect of daily herbage allowance, herbage mass and animal factors upon herbage intake by grazing dairy cows. **Ann. Zootech.**, v. 45, p. 201-217, 1996.
- PIAGGIO, L. M.; PRATES, E. R.; PIRES, F. F. et al. Avaliação de cinzas insolúveis em ácidos indigestíveis e lignina em detergente ácido indigestível como indicadores internos da digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 20, p. 306-312, 1991.
- PINHEIRO, J. K.; HENRIQUES, L. T.; SILVA, A. M. Avaliação do valor nutricional do resíduo de abacaxi pela técnica in situ em ruminantes. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 15, n. 4, p. 302, 29 dez. 2019.
- POPPI, D. P.; NORTON, B. W.; MINSON, D. J.; HENDRICKSEN, R. E. The Validity of the Critical Size Theory for Particles Leaving the Rumen. **The Journal of Agricultural Science**, v. 94, p. 275-280, 1980.
- POPPI, B. P.; HENDRICKSEN, R. E.; MINSON, D. J. The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle and sheep. **I. Agric. Sci. (Camb.)**, v. 105, p. 9. 1985.
- RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G.; VAN SOEST, P. J.; SNIFFEN, C. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 3551-3561, 1992.
- SAENZ, E. A. C. Modelagem da redução do tamanho de partículas na alimentação de ruminantes. **Ciência agrotécnica**, v. 29, n. 4, p. 886-893, 2005.
- SANTOS, S. C.; FERNANDES, J. J. R.; CARVALHO, E. R.; GOUVEA, V. N.; LIMA, M. M.; DIAS, M. J. Utilização da silagem de restos culturais do abacaxizeiro em substituição

- à silagem de cana-de-açúcar na alimentação de ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 15, n. 4, p. 400-408, out./dez. 2014.
- SHAIN, D. H.; STOCK, R. A.; KLOPFENSTEM, T. J.; HEROLD, D. W. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. **J. Anim. Sci.**, v. 77, p. 1082-1092, 1999.
- SHAVER, R. D.; NYTES, A. J.; SATTER, L. D.; JORGENSEN, N. A. Influence of feed intake, forage physical form, and forage content on particle size of masticated forage, ruminal digesta, and feces of dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v. 71, p. 1566, 1988.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos** 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 235 p.
- SILVA, S. P. **Taxa de passagem em caprinos submetidos ou não à restrição alimentar**. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.
- SILVA, M. L. S. **Avaliação nutricional de silagem de restos culturais de abacaxi pérola**. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.
- SILVA, R. R. **Métodos de conservação do restolho de abacaxi 'pérola' para alimentação de ruminantes**. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2018.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 3562-3577, 1992.
- SÜDEKUM, K. H.; ZIGGERS, W.; ROOS, N.; SICK, H.; TAMMINGA, S.; STANGASSINGER, M. Estimating the Passage of Digesta in Steers and Wethers Using the Ratio of  $^{13}\text{C}$  to  $^{12}\text{C}$  and Titanium (IV)-oxide. **Isotopes In Environmental And Health Studies**, v. 31, n. 2, p. 219-227, out. 1995.
- SUGIURA, N. Further analysts of the data by akaike' s information criterion and the finite corrections. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 7, p. 13-26, 1978.
- SUTHERLAND, T. M. Particle separation in the forestomachs of sheep. In **Aspects of Digestive Physiology in Ruminants**, p. 43-73 [A. Dobson, editor]. Ithaca: Cornell University Press., 1987.
- TAMMINGA, S.; VAN VUUREN, A. M.; VAN DER KOELEN, C. J.; et al. Ruminal behavior of structural carbohydrates and crude protein from concentrate ingredients in dairy cows. **Neth. J. Agric. Sci.**, v. 38, p. 513-526, 1990.
- TEMPELMAN, R. J. Experimental design and statistical methods for classical and bioequivalence hypothesis testing with an application to dairy nutrition studies. **Journal of Animal Science**, n. 82, p. 162-172, 2004.



- THIEX, N. J.; MANSON, H.; ANDERSON, S.; PERSSON, J. A. Determination of crude protein in animal feed, forage, grain, and oilseeds by using block digestion with a copper catalyst and steam distillation into boric acid: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, n.2, p. 309-317, 2002.
- THIEX, N. J.; ANDERSON, S.; GILDEMEISTER, B. Crude fat, hexanes extraction, in feed, cereal grain, and forage (Randall/soxtec/submersion method): collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 86, n. 5, p. 899-908, 2003.
- UDÉN, P.; COLUCCI, E.P.; VAN SOEST, P.J., Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta, Rate of passage studies. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 31, n. 7, p. 625-632, 1980.
- UDÉN, P.; ROUNSAVILLE, T. R.; WIGGANS, G. R.; VANSOEST, P. J. The measurement of liquid and solid digesta retention in ruminants, equines and rabbits given timothy (phleum-pratense) hay. **British Journal of Nutrition**, v. 48, p. 329-339, 1982.
- ULYATT, M. J. D. W.; DELLOW, A.; JOHN, C. S. W.; WAGHORN, G. C. Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum. Pages 498–515 in *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants: Proc. 6th Int. Symp. Ruminant Physiology*. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1986.
- UPADHYAY, A.; LAMA, J. P.; TAWATA, S. Utilization of Pineapple Waste: A Review. **Journal of Food Science and Technology Nepal**, v. 6, p. 10-18, 2010.
- VAN SOEST, P. J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Voluntary intake relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, v.24, n.3, p.834-844, 1965.
- VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. The use of detergents in analysis of fibrous feeds: IV. Determination of plant cell wall constituents. **Journal of Dairy Science**, v. 50, p. 50, 1967.
- VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. **J. A.O.A.C.**, v. 51, p. 780, 1968.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B. **Analysis of Forages and Fibrous Foods a Laboratory Manual for Animal Science**. Cornell University, Ithaca, NY. 1985.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**, 2nded. Cornell University Press, Ithaca, NY, p. 476, 1994.
- WEISS, W. P. Predicting energy values of feeds. **Journal of Dairy Science**, v. 76, p. 1802, 1993.
- WILSON, J. R.; KENNEDY, P. M. Plant and animal constraints to voluntary feed intake associated with fiber characteristics and particle breakdown and passage in ruminants. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 47, p. 199–225, 1996.