

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

**BEATRIZ ELISA BIZZUTI**

**Sustentabilidade da produção: uso de subprodutos agroindustriais na  
produção de pequenos ruminantes**

**Piracicaba**

**2019**



**BEATRIZ ELISA BIZZUTI**

**Sustentabilidade da produção: uso de subprodutos agroindustriais na  
produção de pequenos ruminantes**

**Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011**

**Dissertação apresentada ao Centro de Energia  
Nuclear na Agricultura da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de Mestre em  
Ciências**

**Área de Concentração: Biologia na Agricultura e  
no Ambiente**

**Orientador: Prof. Dr. Adibe Luiz Abdalla**

**Piracicaba**

**2019**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**Técnica de Biblioteca - CENA/USP**

Bizzuti, Beatriz Elisa

Sustentabilidade da produção: uso de subprodutos agroindustriais na produção de pequenos ruminantes / Beatriz Elisa Bizzuti; orientador Adibe Luiz Abdalla - - Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

68 p. : il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2019.

1 Análise de alimentos para animal 2. Bromatologia 3. Nutrição animal 4. Pecuária 5. Produção animal 6. Resíduos para animais 7. Ruminantes 8. Segurança alimentar. 9. Subprodutos para animais 10. Sustentabilidade I. Título

CDU 636.087 : 599.735

**Elaborada por:**

Marília Ribeiro Garcia Henyei

CRB-8/3631

Resolução CFB Nº 184 de 29 de setembro de 2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida.

A minha família, em especial meus pais (Gislene Aparecida Vasselo Bizzuti e Robson Rogério Bizzuti) por todo apoio. Ao meu namorado (Gabriel Cremostim) que esteve sempre ao meu lado, me amparando e dando forças para seguir.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), pela infraestrutura e apoio fornecidos para realização desta pesquisa, assim como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro (Processo nº 169631/2017-6).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adibe Luiz Abdalla pela orientação, paciência, confiança, oportunidade e ensinamentos, sem a confiança e suporte do professor não seria possível o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos Técnicos do Laboratório de Nutrição Animal, pelo suporte e ajuda, meu muito obrigada. E também ao Prof. Dr. Helder Louvandini.

Aos meus colegas do Laboratório de Nutrição Animal e demais laboratórios e a todos os estagiários. Meu muito obrigada a toda ajuda durante a fase experimental e por todas as conversas científicas.

A todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista.

**Muito obrigada!**



Who's to say  
What's impossible?  
Well they forgot  
This world keeps spinning  
And with each new day  
I can feel a change in everything (...)

Upside Down  
Jack Johnson, 2006.



## RESUMO

BIZZUTI, B. E. **Sustentabilidade da produção**: uso de subprodutos agroindustriais na produção de pequenos ruminantes. 2019. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

A preocupação com a segurança alimentar, juntamente com o crescimento populacional e as mudanças climáticas, tem pressionado a cadeia de produção de ruminantes a buscar fontes alternativas de alimentação, qual não tenha competição entre alimento por animal/humano e que mitigue as emissões de metano entérico, um dos gases causador de efeito estufa. Os subprodutos agroindustriais são fonte de biomassa, normalmente inapta ao consumo, advinda do processamento de alimentos, e estes possuem potencial para a utilização na nutrição de ruminantes. Dessa forma, o objetivo foi avaliar o potencial nutricional de alguns subprodutos agroindustriais e seus efeitos sobre a fermentação ruminal, digestibilidade dos nutrientes e desempenho dos animais. O estudo foi dividido em dois ensaios, o primeiro realizado *in vitro*, utilizando a técnica de produção de gases e degradabilidade, em que foi avaliado a degradabilidade ruminal e os produtos da fermentação dos subprodutos bagaço de cana-de-açúcar (BC), bagaço de laranja (BL), bagaço de mandioca (BM), casca de amendoim (CA), casca de soja (CS), palhada de cana (PC), palhada de feijão (PF), palhada de milho (PM) e resíduo de feijão (RF), além de duas dietas experimentais contendo subprodutos (RF e CS) em substituição parcial do milho triturado (MT) e/ou farelo de soja (FS) e uma dieta controle (DC) composta por MT e FS (70:30); o segundo ensaio foi realizado *in vivo* e foi avaliado o desempenho animal, a digestibilidade dos nutrientes, o crescimento microbiano e as emissões de metano entérico da dieta controle (DC) e dieta teste (DT) composta por RF e CS, ambas na proporção de 60% de volumoso (Feno de Tifton 85) e 40% de concentrado (DC ou DT). Utilizou-se 16 animais com aproximadamente  $15 \pm 2,9$  Kg de peso vivo, sendo 8 fêmeas e 8 machos agrupados aleatoriamente em cada tratamento. Os subprodutos testados apresentaram performance diferentes entre si, podendo ser agrupados em três potenciais grupos: fibroso, energético ou proteico. As dietas experimentais testadas, tanto no primeiro ensaio como no segundo, apresentaram performance similar à da dieta controle a base milho e farelo de soja. Conclui-se que é possível a formulação de dietas com os subprodutos agroindustriais testados, sem interferir na produtividade animal e na qualidade nutricional da dieta fornecida.

**Palavras-chave:** Nutrição animal. Resíduo. Subproduto. Segurança alimentar.



## ABSTRACT

BIZZUTI, B. E. **Sustainability of production:** use of agro-industrial by-products in the production of small ruminants. 2019. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

Concern about food security, along with population growth and climate change has pressured the ruminant production chain to seek alternative food sources, which has no competition between animal / human food and that mitigates enteric methane emissions, one of the greenhouse gases. Agro-industrial by-products are source of biomass, usually unfit for consumption, resulting from food processing, and they have potential to be used in ruminant nutrition. Thus, the study aimed to evaluate the nutritional potential of agro-industrial by-products and their effects on ruminal fermentation, nutrient digestibility and animal performance. The study was divided into two trials, the first trial performed an *in vitro* gas production test to evaluate the ruminal degradability and its fermentation products of the agro-industrial by-products sugarcane bagasse (BC), orange bagasse (BL), cassava bagasse (BM), peanut shell (CA), soy shell (CS), cane straw (CP), bean straw (PF), corn straw (PM) and bean residue (RF); in addition to two experimental diets containing by-products in partial replacement of crushed corn (MT) and/or soybean meal (FS) and a control diet (CD) composed of MT and FS (70:30). The second test performed an *in vivo* assay to evaluate animal performance, nutrient digestibility, ruminal microbial growth and enteric methane emissions from the control diet (DC) and a test diet (DT) composed of BR and SH, both in the proportion of 60% roughage (Tifton Hay 85) and 40% concentrate (DC or DT). Sixteen animals with approximately  $15 \pm 2.9$  kg of body weight were used, 8 females and 8 males randomly grouped in each treatment. The by-products tested presented different performance among themselves, and could be grouped into three potential groups: fibrous, energetic or protein. The experimental diets tested, both in the first and in the second assays, presented performance similar to that of the control diet based on corn and soybean meal. It was concluded that it was possible to formulate diets with the agro-industrial by-products tested, without interfering with animal productivity and nutritional quality of the diet provided.

**Keywords:** Animal nutrition. Residue. Byproduct. Food safety.



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 – Produção de proteína e taxa de conversão do alimento.....	26
Tabela 3.1 – Composição centesimal e bromatológica (g Kg <sup>-1</sup> MS) das dietas experimentais e controle.....	39
Tabela 3.2 – Composição bromatológica dos subprodutos avaliados.....	43
Tabela 3.3 – Produção de gases e degradabilidade de subprodutos agroindustriais.....	44
Tabela 3.4 – Produção de gases e degradabilidade das dietas experimentais e controle.....	45
Tabela 3.5 – Produção de AGCC (mmol L <sup>-1</sup> ) dos subprodutos agroindustriais.....	47
Tabela 3.6 – Produção de AGCC (mmol L <sup>-1</sup> ) das dietas experimentais.....	47
Tabela 4.1 – Composição centesimal e bromatológica (g Kg <sup>-1</sup> MS) das dietas experimentais.....	55
Tabela 4.2 – Consumo de alimentos e ganho de peso de ovinos alimentados com dietas a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle.....	60
Tabela 4.3 – Consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes em ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle.....	61
Tabela 4.4 – Balanço de nitrogênio de ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle.....	62
Tabela 4.5 – Síntese microbiana por derivados de purina em ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle.....	63
Tabela 4.6 – Emissões de metano entérico por ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle.....	64
Tabela 4.7 – Parâmetros fermentativos de ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle.....	64



**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

°C	Graus Celsius
AGCC	Ácido graxos de cadeia curta
ACH	Apto ao consumo humano
BC	Bagaço de cana
BL	Bagaço de laranja
BM	Bagaço de mandioca
BN	Balanço de nitrogênio
CA	Casca de amendoim
CS	Casca de soja
C2	Acetato
C3	Propiônico
C2:C3	Relação acetato:propiônico
CA	Conversão Alimentar
CEL	Celulose
CMS <sub>t</sub>	Consumo matéria seca total
CMS <sub>d</sub>	Consumo matéria seca diário
CG	Cromatografia gasosa
CH <sub>4</sub>	Metano
CHO <sub>ttl</sub>	Carboidratos totais
CHO <sub>sol</sub>	Carboidratos solúveis
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
cm	Centímetro
D1	Dieta composta por 60% Feno + 24% RF + 12% CS + 4 % MT

D2	Dieta composta por 60% Feno + 22% RF +18% CS
DC	Dieta Controle
DT	Dieta Teste
DP	Derivados de purina
DA	Digestibilidade aparente
DFDN	Degradabilidade da FDN
DMO	Degradabilidade da matéria orgânica
E.M.P	Erro padrão da média
FS	Farelo de soja
FDN	Fibra em detergente neutro
FDA	Fibra em detergente ácido
FP	Fator de partição
GEE	Gases de efeito estufa
GMPT	Ganho médio de peso total
GMPS	Ganho médio de peso semanal
HCEL	Hemicelulose
ICH	Inapto ao consumo humano
Kg	Quilograma
LIG	Lignina
L	Litro
MT	Milho triturado
MO	Matéria orgânica
MM	Matéria mineral
MS	Matéria seca
MOD	Matéria orgânica degradada

MOi	Matéria orgânica ingerida
MSi	Matéria seca ingerida
NM	Nitrogênio microbiano
N-NH <sup>3</sup>	Nitrogênio amoniacal
NetPG	Produção de gás líquida
NetCH <sub>4</sub>	Produção de metano líquida
PC	Palhada de cana
PF	Palhada de feijão
PM	Palhada de milho
PB	Proteína bruta
pH	Potencial hidrogeniônico
RF	Resíduo de feijão



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2 Sustentabilidade da produção: utilização de subprodutos agroindustriais na alimentação de ruminantes .....</b>	<b>21</b>
2.1 Panorama da produção de ruminantes no Brasil e sua responsabilidade frente a segurança alimentar .....	21
2.2 Produção de ruminantes e gases de efeito estufa.....	23
2.3 Utilização de subprodutos agroindustriais na alimentação de ruminantes .....	24
2.3.1 Bagaço de laranja.....	27
2.3.2 Bagaço de mandioca.....	27
2.3.3 Casca de soja .....	28
2.3.4 Resíduo de feijão .....	28
2.3.5 Casca de amendoim .....	28
2.3.6 Palhada de milho .....	29
2.3.7 Bagaço de cana .....	29
Referências .....	30
<b>3 Efeito da utilização de subprodutos agroindustriais na alimentação de ruminantes: fermentação ruminal, digestibilidade e produção de metano entérico <i>in vitro</i> .....</b>	<b>35</b>
3.1 Introdução.....	37
3.2 Material e Métodos .....	38
3.2.1 Caracterização da composição bromatológica dos substratos e dietas experimentais ....	38
3.2.2 Preparo do substrato e inoculo.....	39
3.2.3 Ensaio <i>in vitro</i> de produção de gases.....	40
3.2.5 Análise estatística .....	41
3.3 Resultados e Discussão.....	42
3.3.1 Caracterização bromatológica dos subprodutos avaliados .....	42
3.3.2 Degradabilidade ruminal e características fermentativas .....	44
3.3.2.1 Subprodutos .....	44
3.3.2.2 Dietas experimentais .....	45
3.3.3 Produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC).....	46
3.3.3.1 Subprodutos.....	46
3.3.3.2 Dietas experimentais .....	47
3.4 Conclusão .....	48
Referências .....	48

<b>4 Desempenho, digestibilidade dos nutrientes, produção de metano entérico e parâmetros fermentativos de ovinos suplementados com subprodutos agroindustriais</b> .....	51
4.1 Introdução .....	53
4.2 Material e métodos .....	54
4.2.1 Delineamento experimental .....	54
4.2.2 Manejo e tratamentos experimentais.....	54
4.2.4 Desempenho animal.....	56
4.2.5 Ensaio de digestibilidade aparente dos nutrientes (metabolismo animal) .....	56
4.2.5.1 Balanço de nitrogênio e estimativa da síntese de proteína microbiana por derivados de purina .....	57
4.2.6 Quantificação das emissões de metano entérico .....	58
4.2.7 Parâmetros de fermentação ruminal.....	59
4.3 Resultados e Discussão .....	60
4.3.1 Desempenho animal.....	60
4.3.2 Ensaio de digestibilidade aparente dos nutrientes.....	60
4.3.3 Balanço de nitrogênio e estimativa da síntese de proteína microbiana por derivados de purina .....	62
4.3.4 Quantificação das emissões de metano entérico .....	63
4.3.5 Parâmetros de fermentação ruminal.....	64
4.4 Conclusão.....	65
Referências.....	65
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	68

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de ruminantes está associada a um elevado custo ambiental em relação a produção de monogástricos. A produção de grãos, sua utilização na alimentação animal levando a competição animal/humano e transporte são as lacunas para as emissões de gases de efeito estufa e segurança alimentar do setor. A utilização de biomassa imprópria ao consumo humano na dieta dos animais é uma potencial estratégia para reduzir os impactos ambientais e sociais da produção.

A produção de ruminantes a pasto é a principal chave para a sustentabilidade do setor, porém devido a sazonalidade da produção de forragem e de muitas áreas plantadas estarem em processo de degradação, se faz necessária a suplementação energética e/ou proteica. A utilização de resíduos como subprodutos agroindustriais em substituição aos ingredientes tradicionais, milho e farelo de soja, pode aumentar a sustentabilidade da produção, diminuindo a utilização de produtos que possam ser utilizados na alimentação humana e utilizando resíduos advindos da produção de alimentos.

Cerca de 30% da produção global de alimentos se transforma em resíduo que advêm de uma ampla diversidade de matéria prima e podem ser ricos em diversos nutrientes. Normalmente estes resíduos possuem um teor de fibra maior que sua fonte, portanto não são aptos ao consumo humano e de pouco aproveitamento na produção de monogástricos.

Os ruminantes por sua vez, por possuírem um estômago pluricavitário com retículo, rúmen, omaso e abomaso, apresentam a habilidade de transformar biomassa de baixa qualidade nutricional em proteína de alto valor biológico. Esta habilidade é devido à população microbiana do rúmen, este compartimento é responsável pela degradação do alimento através do processo fermentativo, que permite a utilização eficiente de materiais mais fibrosos. Avaliar e melhorar a utilização destes materiais pode levar ao aumento da sustentabilidade da cadeia de produção de carne e leite, trazendo benefícios socioambientais ao setor.

Os produtos de origem animal possuem grande importância na nutrição da população, pois é fonte de proteína de alto valor biológico e fornece uma ampla gama de nutrientes e vitaminas. Carne e leite são ricos em minerais como ferro, zinco, cálcio, magnésio e, a falta destes ingredientes na dieta da população pode levar a diversos déficits nutricionais e consequentes doenças metabólicas.

Somando os efeitos ambientais negativos obtidos pela pecuária aos efeitos sociais positivos, é nítida a importância da produção de carne e leite frente a segurança alimentar, assim o objetivo foi minimizar os impactos negativos e procurar soluções para o aumento da

produtividade de forma sustentável. Investigar, qualificar e avaliar estes subprodutos é uma forma de introduzi-los na alimentação animal atendendo interesses da sociedade, do ambiente e garantindo a segurança alimentar.

### **1.1 Hipóteses**

Os ingredientes tradicionais utilizados na dieta de ruminantes, em especial milho e farelo de soja, podem ser substituídos por subprodutos agroindustriais fornecendo similar qualidade nutricional, garantindo os teores mínimos e máximos de nutrientes, não afetando a funcionalidade do rúmen (fermentação, degradação e crescimento microbiano), a digestibilidade dos nutrientes e garantindo um bom comportamento ingestivo e produtivo dos animais.

### **1.2 Objetivos**

Quantificar e determinar a qualidade nutricional dos subprodutos, avaliando sua composição bromatológica, testando o desempenho e o potencial dos nutrientes dos subprodutos sobre a degradabilidade, produção e emissão de metano entérico, assim como a saúde ruminal em ensaios *in vitro* e *in vivo* na substituição do milho e do farelo de soja.

## **2 Sustentabilidade da produção: utilização de subprodutos agroindustriais na alimentação de ruminantes**

### **2.1 Panorama da produção de ruminantes no Brasil e sua responsabilidade frente a segurança alimentar**

Cerca de 45% das terras brasileiras estão cobertas por pastagens (IBGE, 2017a). Há milhões de anos os ruminantes vêm se destacando devido a sua capacidade em transformar recursos de baixa qualidade nutricional em recursos de alto valor alimentar, além de produzir dejetos utilizados como adubo orgânico e fonte de energia. O rebanho efetivo mundial de ruminantes em 2017 contabilizou cerca de 1,5 bilhão de bovinos, 1,2 bilhão de ovinos, 1 bilhão de caprinos e 200 milhões de bubalinos (FAOSTAT, 2018).

O Brasil é considerado o maior exportador de carne bovina do mundo (ABIEC, 2019), contando com um rebanho efetivo de aproximadamente 215 milhões de cabeças de bovinos, somando aos 18 milhões de ovinos, 9,5 milhões de caprinos e 1,3 milhão de bubalinos que vivem no país (IBGE, 2017b).

Apesar de seu alto índice produtivo e amplo rebanho efetivo, o Brasil ainda possui uma pecuária deficiente em tecnologia, com aproximadamente 158 milhões de hectares de pastagens, estando distribuídos 215 milhões animais (apenas rebanho bovino), qual resulta em uma taxa de lotação de pouco mais de 1 animal ha<sup>-1</sup> (ABIEC, 2018). Esse número mostra uma baixa eficiência do sistema de produção atualmente utilizado, caracterizado por baixo investimento em tecnologias e pouco manejo implantado.

Todo esse rebanho de ruminantes utiliza grandes extensões de terras, água e nutrientes, além de contribuírem significativamente nas mudanças climáticas, especialmente pela emissão de metano, gás de efeito estufa advindo do metabolismo desses animais (MOTTET et al., 2018). Apesar do custo em recursos naturais e ambientais para a produção de carne e leite por esses animais, os mesmos são meios de subsistência para a população através de 2 fatores básicos: a digestão, pois esses animais possuem a habilidade em transformar a celulose e outros compostos fibrosos em proteína de alta qualidade, e a diversidade, ruminantes possuem uma ampla diversidade de raças, sendo adaptados a diferentes habitats e contribuindo significativamente na renda familiar em muitas regiões do globo (GERBER et al., 2015; MOTTET et al., 2018).

Os produtos de origem animal também possuem uma grande importância na nutrição da população, devido à sua ampla gama de nutrientes e principalmente à qualidade de sua proteína. Produtos de origem animal, como carne e leite, são importantes por sua composição proteica,

tendo um perfil de aminoácidos e uma digestibilidade da proteína superior aos encontrados nas fontes vegetais.

O consumo de carne em diferentes regiões do mundo varia de acordo com fatores sociais, econômicos, religiosos e geográficos. Uma grande porcentagem da proteína e energia consumida no mundo vêm diretamente de carnes, leite e ovos, sendo estes representativamente importantes não só em qualidade nutricional, mas também em aspectos culturais. Estudos realizados por Gouel e Guimbard (2019) apontam uma crescente diversificação na dieta da população à medida que a renda per capita aumenta, levando a uma redução no consumo de produtos amiláceos e um aumento no consumo de proteínas de origem animal e este fator, junto ao crescimento populacional, para os próximos anos exige um aumento da produção de produtos de origem animal (MOTTET et al., 2018).

A carne vermelha é fonte rica em micronutrientes como iodo, zinco e ferro heme, um agrupamento de ferro melhor absorvível, qual também melhora a absorção de ferro advindos de outros alimentos. Seu perfil de aminoácidos é completo e se faz complementar às dietas a base de vegetais, além de possuir uma relevante concentração de vitamina do complexo B, em especial como fonte única de vitamina B12, não encontrada nos vegetais. O leite também é uma fonte proteica de alto valor biológico e uma importante fonte de cálcio (BENDER, 1992).

Segundo a “World Health Organization” (WHO, 2011) cerca de 38 milhões de crianças nascem com deficiência de iodo, geralmente relacionada com má formação cerebral e má desenvolvimento cognitivo. De acordo com Morgan, Taylor e Fewtrell (2004) tanto a carne como o leite são alimentos chaves às crianças por diminuir o déficit estatural, fixando a importância do mineral cálcio e vitaminas do complexo B na formação óssea das crianças. Entretanto, o consumo excessivo de carne, em especial a processada, está relacionado a risco de doenças cardiometabólicas, principalmente quando aliada ao sedentarismo (GIVENS, 2018).

A produção de ruminantes ainda possui contribuições positivas e negativas quanto à segurança alimentar. Segundo Mottet et al. (2017) as contribuições positivas originadas da produção de ruminantes frente a segurança alimentar abrangem desde o suprimento de micro e macro nutrientes, descrito acima, como alimento de subsistência, principalmente para a população de países em desenvolvimento, até a produção de dejetos utilizados como adubo orgânico na agricultura e fonte de energia. Já as contribuições negativas abrangem desde a utilização pela pecuária de alimentos aptos ao consumo humano, terras agricultáveis cobertas por pastagens e gado, até a baixa eficiência em converter energia e proteína de qualidade em alimento proteico.

Assim, considerando a segurança alimentar e as mudanças climáticas, compreende-se a importância da utilização de alimentos alternativos na nutrição de ruminantes, juntamente com a implantação de tecnologias no sistema de produção extensivo, garantindo o melhor aproveitamento da biomassa produzida em áreas não agricultáveis. Estes fatores são importantes para a produção sustentável de ruminantes, respeitando os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

## 2.2 Produção de ruminantes e gases de efeito estufa

Os atuais debates sobre mudanças climáticas trazem em pauta a agricultura, e em especial a produção animal, e a maneira pela qual são produzidos e consumidos esses produtos vêm sendo estudo de diversas pesquisas. A pecuária é responsável por 14,5% das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) induzida pelo homem, sendo que 60% destas emissões advém da fermentação entérica dos ruminantes, sendo o rebanho bovino responsável por aproximadamente 232.659 Gg, os ovinos por 1.887 Gg, os bubalinos por 1.595 Gg e os caprinos por 1.007 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente (FAOSTAT, 2017). Grande maioria destas emissões advém em forma de metano (CH<sub>4</sub>), denominado CH<sub>4</sub> entérico.

O metano entérico é o resultado bioquímico da fermentação do alimento pela população microbiana do rúmen (LAN; YANG, 2019). Esse gás é formado com os hidrogênios (H<sub>2</sub>) liberados durante a quebra dos carboidratos pelos microrganismos, e os microrganismos específicos formadores de CH<sub>4</sub>, as archaeas metanogênicas, que utilizam as moléculas de H<sub>2</sub> como fonte de energia e reduzem a molécula de carbono á moléculas de CH<sub>4</sub> no meio ruminal (KOZLOSKI, 2016). O gás CH<sub>4</sub> é de grande importância na produção de ruminantes por sequestrar H<sub>2</sub> livre no rúmen e contribuir na eficiência da fermentação ruminal (McALLISTER; NEWBOLD, 2008); e que além do fator ambiental, também causa perda energética (LAN; YANG, 2019).

Os ruminantes são responsáveis por grande parte das emissões antropogênicas dentro da pecuária (GERBER et al., 2013), contribuindo em sua maioria com o gás CH<sub>4</sub>, mas também com o CO<sub>2</sub> e o N<sub>2</sub>O. Quando essas emissões são expressas em proteína produzida, a “*commodity*” com maior taxa de emissões dentro da produção de ruminantes é a carne bovina, com aproximadamente 300 kg CO<sub>2</sub>-eq por kg de proteína produzida, seguido da produção de carne e leite de pequenos ruminantes, 165 e 112 kg CO<sub>2</sub>-eq por kg de proteína produzida (GERBER et al., 2013).

O metano é um produto inevitável do processo de fermentação dos carboidratos no rúmen, porém o metano entérico pode ser diminuído através de estratégias que levam a uma mudança na fermentação ruminal (McALLISTER et al., 1996). Dieta com alto teor de carboidratos solúveis é uma estratégia, porém a conversão de alimentos fibrosos, inadequados para o consumo humano, em fontes de proteína de alta qualidade (carne e leite) pelos ruminantes devem ser considerados nos debates sobre GEE na pecuária (McALLISTER et al., 1996). Outras estratégias para mitigação de CH<sub>4</sub> entérico envolvem inibição dos microrganismos metanogênicos, fornecimento de receptores de elétrons alternativos e, até mesmo, desenvolvimento de dietas com baixa emissão de CH<sub>4</sub> de acordo com a revisão de Hristov et al. (2013).

Apesar da contribuição dos ruminantes para as mudanças climáticas, a mesma pode impactar a eficiência produtiva do setor. Marino et al. (2016) e Sejian et al. (2019) concluíram que a produção de pequenos ruminantes é afetada pelas mudanças climáticas, e o aumento das temperaturas leva a uma diminuição da eficiência produtiva desses animais. Em revisão realizada por Rojas-Downing et al. (2017) discutiu-se sobre o efeito das mudanças climáticas na pecuária e sua consequência na segurança alimentar, destacando um possível impacto negativo das mudanças climáticas, especialmente em regiões áridas e semiáridas, além de efeito na qualidade nutricional do produto final. O stress térmico, por exemplo, pode levar a variação na ingestão de alimentos, a perda energética, aumento do consumo de água, tendência a infertilidade (AL-DAWOOD, 2017), além de afetar a qualidade e quantidade das pastagens disponíveis.

A adaptação às mudanças climáticas se faz necessária, e levar a sustentabilidade ao campo também. Algumas práticas de mitigação de GEE, sistemas mistos entre pastagens-silvicultura/agricultura, utilização de alimentos alternativos, diversificação de espécies e uso de genética adaptada são essenciais à manutenção e aumento da produtividade (EISLER et al., 2014; ROJAS-DOWNING et al., 2017).

### **2.3 Utilização de subprodutos agroindustriais na alimentação de ruminantes**

Os ruminantes são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 4.991 milhões de toneladas de matéria seca por ano (Figura 1) (MOTTET et al., 2018).

**Figura 1** - Perfil dos alimentos utilizados pelos ruminantes (%)

\*Colza, algodão e palma

\*\*Subprodutos do milho, cana de açúcar, beterraba e farelos.

Fonte: Adaptado de Mottet et al. (2018).

Devido ao sistema gástrico específico, eles são capazes de converter alimentos com alto teor de fibra em energia/proteína apta ao consumo humano. Isso faz com que sejam menos competitivos em alimentos primários com a população. Segundo Mottet et al. (2017) os alimentos na pecuária são classificados em dois grupos: alimento apto ao consumo humano (ACH) e alimento inapto ao consumo humano (ICH).

Esses grupos ajudam a identificar a competição por alimento animal/humano, pois os alimentos classificados como ACH são geralmente alimentos mais amiláceos e de menor conteúdo fibroso como os grãos, tubérculos, raízes e vagens, e os mesmo normalmente são utilizados em sistema de confinamento e criação de monogástricos, enquanto os alimentos classificados como ICH são alimentos fibrosos, ou seja, possuem um maior teor de fibra e geralmente são utilizados na produção de ruminantes como as pastagens, forrageiras em geral, resíduos agrícolas, coprodutos e subprodutos agroindustriais.

Com o crescimento populacional e da demanda por carne e leite esperados para 2050, o melhor aproveitamento da biomassa produzida se faz necessário e os ruminantes demonstram potencial em intensificar a utilização deste recurso. Na Tabela 2.1 pode se observar o potencial dos ruminantes em aproveitar melhor a biomassa, e converter alimentos inaptos em alimentos aptos ao consumo humano.

**Tabela 2.1** - Produção de proteína e taxa de conversão do alimento (TCA)

	Proteína	TCA1	TCA2	Proteína TCA1	Proteína TCA2
	Mt/ano	Kg MS /Kg proteína	Kg MS ACH /Kg proteína	Kg PI /Kg PP	Kg proteína ACH /Kg PP
Ruminantes	36355	133	6	2	0,6
Monogástricos	38246	30	16	14	2
Todos os animais	74601	80	11	10	1,3

TCA1 =Kg de matéria seca (MS) ingerida/Kg de proteína produzida (PP) (leite, carne e ovos); TCA2 =Kg de MS apta ao consumo humano (ACH) ingerida/Kg de PP; Proteína TCA1 =Kg de proteína ingerida (PI)/Kg de PP; Proteína TCA2 =Kg de proteína ACH ingerida/Kg de PP.

Fonte: adaptada de Mottet et al. (2017).

A produção animal possui um papel importante nos sistemas de produção de alimento, em especial a produção de ruminantes, a qual faz uso de terras marginais, torna subprodutos em bens aptos ao consumo humano e contribui para a produtividade das culturas, assim como torna biomassa ICH em alimento de alto valor nutricional. Biomassa ICH inclui desde restos alimentares, sobras da produção de alimento no campo até subprodutos agroindustriais, e seu uso é uma potencial estratégia para reduzir a competição de alimentos ACH com a pecuária, além de diminuir o impacto ambiental do setor. Esse fluxo de resíduos pode ser obtido de processos agroindustriais como o beneficiamento de grãos, destilaria, produção de biodiesel, produção de frutas e vegetais, entre outros processos que utilizam biomassa como matéria prima (SALAMI et al., 2019).

Os subprodutos agroindustriais consistem em subprodutos da indústria de moagem e beneficiamento, tais como farelo, farinha residual, resíduos resultantes de processos de limpeza de grãos (grãos avariados, quebrados e danificados), cascas de algumas sementes, entre outros (AJILA et al., 2012). A maioria dos subprodutos agroindustriais oferece uma fonte barata de nutrientes em comparação aos alimentos tradicionais e pode ser usada como alimento animal quando livre de toxinas e outras substâncias com potencial nocivo, tornando os custos com alimentação menos onerosos e trazendo uma redução do problema das agroindústrias quanto ao descarte correto de seus resíduos sólidos, além de tornar uma fonte lucrativa às mesmas.

### 2.3.1 Bagaço de laranja

O Brasil é um dos maiores exportadores de suco de laranja (*Citrus sinensis*) do mundo, produziu cerca de 17 milhões de toneladas de laranja em 2017 (FAOSTAT, 2017), qual foi em grande parte destinada à indústria para produção de suco, e como resultado deste processamento foi gerado uma grande quantidade de subproduto.

O bagaço de laranja é o resíduo sólido advindo da prensagem da fruta para extração do suco, o mesmo representa cerca de 50-70% do peso fresco da fruta, sendo composto de casca, polpa e sementes (ZEMA et al., 2018). Por ser um subproduto com alto teor de umidade se deteriora rapidamente em contato com o ar, porém alguns processos podem ser realizados para facilitar o armazenamento, sendo a ensilagem um destes processos (WILLIAMS et al., 2017).

O bagaço de laranja possui cerca de 20% de matéria seca. Na matéria seca deste subproduto, 40% é fibra solúvel (pectina), 6% é proteína bruta, 26% é fibra em detergente neutro, 17% é fibra em detergente ácido e 1,5% lignina (BUSSOLO DE SOUZA et al., 2018; ZEMA et al., 2018).

### 2.3.2 Bagaço de mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma raiz popular em regiões e países em desenvolvimento devido ao seu alto valor energético, alta rusticidade e baixo custo de produção, podendo ser consumida *in natura* ou processada (FIORDA et al., 2013). Atualmente a maior parte da mandioca produzida no Brasil vai para o setor agroindustrial para a obtenção de produtos derivados desta raiz e nesses processamentos são gerados alguns subprodutos, sendo o bagaço de mandioca um destes (FIORDA et al., 2013).

O bagaço de mandioca é um subproduto da indústria de fécula e farinha de mandioca e contém fibra, assim como amido residual não completamente retirado no processo de extração do amido. É um produto úmido devido a utilização de água no processo de extração, mas as indústrias processadoras de mandioca realizam a pré-secagem após a obtenção do subproduto (CEREDA, 1996).

A composição nutricional é caracterizada por valores médios de 87% matéria seca, 50-70% amido, 60% fibra alimentar total e 5% de proteína, podendo variar de acordo com a cultivar, o processamento e a época de plantio (CEREDA, 1996; CAMARGO; MISCHAN, 2008; BUSSOLO DE SOUZA et al., 2018).

### 2.3.3 Casca de soja

A casca de soja (*Glycine max*) é um subproduto advindo da indústria de óleos comestíveis, obtido após a quebra do grão para extração do óleo, sendo composto, em maior quantidade, pelo pericarpo do grão, a capa protetora da semente (IPHARRAGUERRE; CLARK, 2003). Este subproduto possui um alto teor de fibra, não se enquadrando na alimentação humana, mas com uma composição com potencial de utilização na nutrição animal (BITTNER et al., 2016; ELGHANDOUR et al., 2017).

A casca de soja possui teores médios de matéria seca de 88%, matéria orgânica 94%, proteína bruta 13%, extrato etéreo 2%, fibra em detergente neutro 65%, fibra em detergente ácido 44% e carboidratos totais 80% (BRITOS; REPETTO; CAJARVILLE, 2018; DE MIRANDA COSTA et al., 2012; IPHARRAGUERRE; CLARK, 2003). Apesar do seu alto teor de fibra, esta é altamente digestível, expressando elevado potencial quando comparado ao milho (BITTNER et al., 2016; BRITOS; REPETTO; CAJARVILLE, 2018).

### 2.3.4 Resíduo de feijão

Advindo do processo de beneficiamento dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*) nas agroindústrias, o resíduo de feijão é composto por grãos quebrados, esmagados e avariados descartados por estarem fora dos padrões de qualidade, podendo representar até 4% dos grãos totais (RIBEIRO et al., 2018).

Este subproduto apresenta em média composição de 89% de matéria seca, 23% de proteína bruta, 21% de fibra em detergente neutro, 9% de fibra em detergente ácido, 30% de carboidratos não fibrosos e 63% nutriente digestíveis totais (CASTRO et al., 2016; MAGALHÃES et al., 2008; SHERASIA; GARG; BHANDERI, 2017), sendo classificado, segundo Magalhães et al. (2008), como potencial alimento concentrado-proteico, no entanto o feijão possui alguns fatores antinutricionais como os inibidores de protease e hemaglutinina, que podem reduzir a digestibilidade e o valor nutricional do produto.

Apesar desses fatores, Goes et al. (2013) relatam que o feijão não interfere no desempenho animal, podendo ser utilizado na nutrição, em especial de ruminantes.

### 2.3.5 Casca de amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea*) é composto por 3 principais partes: semente, pele e casca. A casca do amendoim representa cerca de 30% do seu peso total e é extraída durante o

beneficiamento do mesmo gerando grandes quantidades de subprodutos. Esse subproduto, muitas vezes é queimado, ou jogado no solo para decomposição natural, podendo ter considerações de aspectos ambientais (ESHAL et al., 2015).

Sua composição nutricional é caracterizada por valores em torno de 90% de matéria seca, 7% de proteína bruta, 5% de extrato etéreo, 66% de fibra em detergente neutro, 55% de fibra em detergente ácido e 20% de lignina (AKINFEMI; ADUA; ADU, 2012; ESHAG et al., 2015).

Alguns estudos têm demonstrando o potencial desse subproduto na alimentação animal (ADAMAFIO et al., 2012; PAN et al., 2019), e devido ao seu alto conteúdo fibroso, a casca de amendoim pode ser fonte de volumoso de baixa qualidade para ruminantes e ser fonte de fibra em dietas de alta carga energética a fim de garantir a saúde do rúmen.

### **2.3.6 Palhada de milho**

A palhada de milho (*Zea mays*) é um resíduo originado na colheita dos grãos no campo sendo composto por caule e folhas secas (TANG et al., 2013). A sua composição nutricional é caracterizada por teores de 70-90% de matéria seca, 4% de proteína bruta, 60-80% de fibra em detergente neutro, 40-50% de fibra em detergente ácido e 9-10% de lignina; não contendo amido (ANDERSON et al., 2015; GADO et al., 2017).

Apesar deste resíduo possuir baixo teor de proteína bruta e altos teores de fibra, tem potencial de utilização na alimentação de ruminantes quando consideramos algumas técnicas para melhorar seu valor nutricional, tais como a ensilagem e o tratamento com enzimas fibrolíticas (HE et al., 2018; TANG et al., 2013).

### **2.3.7 Bagaço de cana-de-açúcar**

O Brasil, como maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) do mundo, também é responsável por grande parte da produção de bagaço de cana (FAOSTAT, 2017). O bagaço de cana é um resíduo fibroso resultante do esmagamento da cana-de-açúcar, na extração do caldo ou na transformação direta do álcool e possui potencial em ser fonte de volumoso para ruminantes (AHMED et al., 2013; DA COSTA et al., 2015).

Este subproduto do processamento da cana-de-açúcar representa cerca de 28% do total da matéria prima processada (HOFSETZ; SILVA, 2012), e sua composição nutricional é baixa em proteína bruta e alta em conteúdo fibroso, os valores médios da composição nutricional são: 95% de matéria seca, 94% de matéria orgânica, 2% de proteína bruta, 81% de fibra em

detergente neutro, 63% de fibra em detergente ácido e 10% de lignina (AHMED et al., 2013; DE ALMEIDA et al., 2018; GUNUN et al., 2016; MOKOMELE et al., 2018).

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDUSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC. Exportações Brasileiras de Carne Bovina Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/Exportacoes.aspx>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE - ABIEC. **Perfil da pecuária no Brasil: relatório anual**. São Paulo, 2018. 48 p.

ADAMAFIO, N. A. et al. Potash pretreatment enhances carbohydrate biodegradability and feed potential of groundnut (*Arachis hypogea*) shell meal. **Journal of Applied Sciences**, Punjab, Pakistan, v. 12, n. 13, p. 1408–1412, 2012.

AHMED, M. H. et al. Effect of urea-treatment on nutritive value of sugarcane bagasse. **ARPN Journal of Science and Technology**, Bangkok, Tailândia, v. 3, n. 8, p. 834–838, 2013.

AJILA, C. M. et al. Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. **Critical Reviews in Biotechnology**, London, v. 32, n. 4, p. 382–400, 2012.

AKINFEMI, A.; ADUA, M. M.; ADU, O. A. Evaluation of nutritive values of tropical feed sources and by-products using *in vitro* gas production technique in ruminant animals. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, Alaine, Abu Dabi, v. 24, n. 4, p. 348–353, 2012.

AL-DAWOOD, A. Towards heat stress management in small Ruminan TS - A review. **Annals of Animal Science**, Krakow, v. 17, n. 1, p. 59–88, 2017.

ANDERSON, J. L. et al. Ensiling characteristics of distillers wet grains with corn stalks and determination of the feeding potential for dairy heifers1. **The Professional Animal Scientist**, Amsterdam, v. 31, n. 4, p. 359–367, 2015.

ALMEIDA, G. A. P. et al. Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy cows in smallholder livestock system. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 31, n. 3, p. 379–385, 2018.

BENDER, A. **Meat and meat products in human nutrition in developing countries**. Rome: FAO, 1992. 91 p. (Food and Nutrition Paper, 53).

BITTNER, C. J. et al. Effects of increasing soybean hulls in finishing diets with wet or modified distillers grains plus solubles on performance and carcass characteristics of beef steers. **The Professional Animal Scientist**, Amsterdam, v. 32, n. 6, p. 777–783, 2016.

BRITOS, A.; REPETTO, J. L.; CAJARVILLE, C. Does it make a difference supplementing pasture silage with starchy concentrates or soyhulls on intake, digestion and rumen environment? **Livestock Science**, Amsterdam, v. 218, p. 85–91, 2018.

BUSSOLO DE SOUZA, C. et al. Characterization and *in vitro* digestibility of by-products from Brazilian food industry: Cassava bagasse, orange bagasse and passion fruit peel. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, Amsterdam, v. 16, p. 90–99, 2018.

CAMARGO, K. F. L.; MISCHAN, M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586–591, 2008.

CASTRO, W. J. R. et al. Inclusão de diferentes níveis do resíduo de feijão nas rações de ovinos sobre o consumo e digestibilidade dos nutrientes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 369-380, 2016.

CEREDA, M. P. **Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca**. Botucatu: Ed. da Unesp, Centro de Raízes Tropicais, 1996.

COSTA, D. A. et al. By-products of sugar cane industry in ruminant nutrition. **International Journal of Advance Agriculture Research**, Leicester, v. 3, p. 1–9, 2015.

EISLER, M. C. et al. Agriculture: Steps to sustainable livestock. **Nature**, London, v. 507, n. 7490, p. 32–34, 2014.

ELGHANDOUR, M. M. Y. et al. *In vitro* cecal gas and methane production of soybean hulls-containing diets in the presence of *Salix babylonica* extract as a fermentation modulator in horses. **Journal of Equine Veterinary Science**, New York, v. 53, p. 45–54, 2017.

ESHAG, N. A. et al. Effects of feeding groundnut shells enriched with protein and energy on feed intake, nutrients digestibility and weight changes of sudanese desert lambs. **The Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences**, Teerã, Iran, v. 2, n. 3, p. 537–542, 2015.

FAO. **Livestock solutions for climate change**. Rome, 2017.

FAO. **FAOSTAT**: Crop. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 15 maio 2019.

FAO. **FAOSTAT**: Live animals. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

FIORDA, F. A. et al. Farinha de bagaço de mandioca: Aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 408–416, 2013.

GADO, H. M. et al. Rumen degradation and nutritive utilization of wheat straw, corn stalks and sugarcane bagasse ensiled with multienzymes. **Journal of Applied Animal Research**, Janakpuri, v. 45, n. 1, p. 485–489, 2017.

GERBER, P. J. et al. **Tackling climate change through livestock** – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: FAO, 2013.

GERBER, P. J. et al. Environmental impacts of beef production: Review of challenges and perspectives for durability. **Meat Science**, Oxford, v. 109, p. 2–12, 2015.

GIVENS, D. I. Review: Dairy foods, red meat and processed meat in the diet: implications for health at key life stages. **Animal**, Cambridge, v. 12, n. 8, p. 1709–1721, 2018.

GOES, R. H. et al. Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in the rations for cattle in feedlot. **Agricultural Sciences**, Wuhan, República Popular da China, v. 4, n. 12, p. 774–780, 2013.

GOUEL, C.; GUIMBARD, H. Nutrition transition and the structure of global food demand. **American Journal of Agricultural Economics**, Cary, v. 101, n. 2, p. 383–403, 2019.

GUNUN, N. et al. Effect of treating sugarcane bagasse with urea and calcium hydroxide on feed intake, digestibility, and rumen fermentation in beef cattle. **Tropical Animal Health and Production**, Heidelberg, v. 48, n. 6, p. 1123–1128, 2016.

HE, L. et al. The effects of including corn silage, corn stalk silage, and corn grain in finishing ration of beef steers on meat quality and oxidative stability. **Meat Science**, Oxford, v. 139, p. 142–148, 2018.

HOFSETZ, K.; SILVA, M. A. Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 46, p. 564–573, 2012.

HRISTOV, A. N. et al. Special Topics - Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 11, p. 5045-5069, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo agropecuário - 2017**. Rio de Janeiro, 2017a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sistema IBGE de recuperação automática**: efetivo de rebanho. Rio de Janeiro, 2017b.

IPHARRAGUERRE, I. R.; CLARK, J. H. Soyhulls as an Alternative Feed for Lactating Dairy Cows: A Review. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 4, p. 1052–1073, 2003.

KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos ruminantes**. 3 ed. Santa Maria: Editora UFMS, 2016.

LAN, W.; YANG, C. Ruminant methane production: Associated microorganisms and the potential of applying hydrogen-utilizing bacteria for mitigation. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 654, p. 1270–1283, 2019.

MAGALHÃES, A. L. R. et al. Resíduo proveniente do beneficiamento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em rações para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição do leite e eficiência de alimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 529–537, 2008.

MARINO, R. et al. Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 135, p. 50–59, 2016.

McALLISTER, T. A. et al. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 76, n. 2, p. 231–243, 1996.

McALLISTER, T. A.; NEWBOLD, C. J. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 48, n. 2, p. 7-13, 2008.

MIRANDA COSTA, S. B. et al. Tifton hay, soybean hulls, and whole cottonseed as fiber source in spineless cactus diets for sheep. **Tropical Animal Health and Production**, Heidelberg, v. 44, n. 8, p. 1993–2000, 2012.

MOKOMELE, T. et al. Using steam explosion or AFEX<sup>TM</sup> to produce animal feeds and biofuel feedstocks in a biorefinery based on sugarcane residues. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Chichester, v. 12, n. 6, p. 978–996, 2018.

MORGAN, J.; TAYLOR, A.; FEWTRELL, M. Meat consumption is positively associated with psychomotor outcome in children up to 24 months of age. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, Philadelphia, v. 39, n. 5, p. 493–8, 2004.

MOTTET, A. et al. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. **Global Food Security**, Amsterdam, v. 14, p. 1–8, 2017.

MOTTET, A. et al. Review: Domestic herbivores and food security: Current contribution, trends and challenges for a sustainable development. **Animal**, Cambridge, v. 12, p. S188-S198, 2018.

PAN, T. et al. Effects of probiotics and nutrients addition on the microbial community and fermentation quality of peanut hull. **Bioresource Technology**, Oxon, v. 273, p. 144–152, 2019.

RIBEIRO, M. D. et al. Bean coproduct as source of protein in dairy cows diets. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 4, p. 985–995, 2018.

ROJAS-DOWNING, M. M. et al. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. **Climate Risk Management**, Amsterdam, v. 16, p. 145–163, 2017.

SALAMI, S. A. et al. Sustainability of feeding plant by-products: A review of the implications for ruminant meat production. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 251, p. 37-55, 2019.

SEJIAN, V. et al. Genes for resilience to heat stress in small ruminants: A review. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 173, p. 42-53, 2019.

SHERASIA, P. L.; GARG, M. R.; BHANDERI, B. **Pulses and their by-products as animal feed**. Rome: FAO, 2017.

TANG, S. X. et al. Effects of exogenous cellulase source on *in vitro* fermentation characteristics and methane production of crop straws and grasses. **Animal Nutrition and Feed Technology**, Izatnagar, India, v. 13, n. 3, p. 489–505, 2013.

WILLIAMS, S. R. O. et al. Influence of feeding supplements of almond hulls and ensiled citrus pulp on the milk production, milk composition, and methane emissions of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 101, n. 3, p. 2072–2083, 2017.

WHO. **Guidelines on optimal feeding of low birth-weight infants in low-and middle-income countries**. Geneva, 2011.

ZEMA, D. A. et al. Valorisation of citrus processing waste: A review. **Waste Management**, New York, v. 80, p. 252–273, 2018.

### **3. Efeito da utilização de subprodutos agroindustriais na alimentação de ruminantes: fermentação ruminal, digestibilidade e produção de metano entérico *in vitro***

**Resumo:** A produção de ruminantes enfrenta múltiplos desafios: as emissões de gases de efeito estufa, mudanças climáticas e a competição entre alimentos destinados ao consumo humano e rações animais. Frente a esses desafios, a utilização de alimentos alternativos na produção de ruminantes se faz necessária e os subprodutos agroindustriais são potenciais fontes de energia e proteína para o setor. O objetivo do estudo foi avaliar a dinâmica individual destes subprodutos na fermentação ruminal, assim como o efeito de dietas formuladas à base de subprodutos comparado ao uso de milho e soja. Foram avaliados oito subprodutos: bagaço de cana (BC), bagaço de laranja (BL), bagaço de mandioca (BM), casca de amendoim (CA), casca de soja (CS), palhada de cana (PC), palhada de feijão (PF), palhada de milho (PM) e resíduo de feijão (RF); além de duas dietas experimentais: D1: RF + CS (55:45), D2: milho triturado (MT) + RF + CS (10:60:30) e uma dieta controle (DC) composta por MT e farelo de soja (FS) (70:30); sendo estas formuladas na proporção 60:40 (feno de Tifton: concentrado). Todos os substratos foram incubados por 24 horas (39°C) para determinação da produção total de gases (NetPG), produção de metano (NetCH<sub>4</sub>), degradabilidade da matéria orgânica (DMO) e produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), assim como cálculo do fator de partição (FP) em ensaio *in vitro* de produção de gases. Análise de variância e teste de Tukey foram realizados para comparar estatisticamente os substratos estudados. O subproduto com maior DMO (P<0,001) foi o BM, não diferindo, apenas do RF e PF, assim como com maior NetPG (P<0,001). Para o NetCH<sub>4</sub> e FP não houve diferença estatística (P>0,05) entre os subprodutos, porém o FP foi significativo (P=0,001) na comparação entre as dietas experimentais, em que a D1 e D2 obtiveram maiores valores quando comparado a DC. Os AGCCt (ácidos graxos de cadeia curta total) foi similar entre os subprodutos, diferindo apenas para a PF (P=0,024), com a maior média e para a CS com a menor média; nas dietas experimentais o AGCCt não foi significativo estatisticamente (P=0,072). A maior média para a relação C2:C3 (acetato:propionato) (P<0,001) foi para BM. Nas dietas experimentais não houve diferença estatística (P=0,406) para este parâmetro. Os subprodutos agroindustriais avaliados não comprometeram o desempenho microbiano nem as reações fermentativas, demonstrando grande potencial como fonte alimentar para a dieta de ruminantes, podendo diminuir os impactos ambientais da cadeia e favorecendo a segurança alimentar do planeta.

**Palavra-chave:** Resíduo. Bagaço. Casca. Palhada. Sustentabilidade.

### **3. Effect of the use of agro-industrial by-products on ruminant feeding: ruminal fermentation, digestibility and enteric methane production in vitro**

**Abstract:** Ruminant production faces multiple challenges: greenhouse gas emissions, climate change and competition between food intended for human consumption and animal feed. Facing these challenges, the use of alternative foods in the production of ruminants is necessary and agro-industrial by-products are potential sources of energy and protein for the sector. In the present study, the objective of this study was to evaluate the individual behavior of these by-products in the rumen, as well as the behavior of diets formulated based on by-products in relation to the diet based on corn and soybean. Eight by-products were evaluated: sugarcane bagasse (BC), orange bagasse (BL), cassava bagasse (BM), peanut shell (CA), soy shell (CS), sugarcane straw (PC), bean straw (PF), corn straw (PM) and bean residue (RF); in addition to two experimental diets: D1: RF + CS (55:45), D2: ground corn (GC) + RF + CS (10:60:30) and a control diet (DC) composed of GC and soybean meal (SM) (70:30); these were formulated in the ratio 60:40 (Tifton hay: concentrate). All substrates were incubated for 24 hours (39°C) to determine the total gas production (NetPG), methane production (NetCH<sub>4</sub>), degradability of organic matter (MOD) and production of short-chain fatty acids (AGCC) in an *in vitro* gas production assay. Analysis of variance and Tukey test were performed for comparing by-products and experimental diets. The higher OMD ( $P<0.001$ ) was obtained with CB, not differing from BR and BS, the same was found for NETGP ( $P<0.001$ ). For NETCH<sub>4</sub> ( $P=0.101$ ) and PF ( $P=0.999$ ), there were not statistical differences among the by-products, however the PF ( $P=0.001$ ) was significantly different among the experimental diets, where D1 and D2 showed higher value than DC. The SCFA concentration ( $P=0.024$ ) was statistically different among by-products with BS presenting the higher values and SH the lower one. Among the experimental diets this variable was not significant ( $P=0.072$ ). CB presented the higher C2:C3 proportion, ( $P<0.001$ ). There were not statistical differences between the diets for this parameter ( $P=0.406$ ). The agro-industrial by-products evaluated did not compromise the microbial fermentation nor the fermentative process, demonstrating great potential as food source for the ruminant diet, which may contribute to ameliorate the environmental impacts of the sectors and favoring the food security for the planet.

**Keywords:** Residue. Bagasse. Shell. Straw. Sustainability.

### 3.1 Introdução

A produção de ruminantes enfrenta atualmente desafios globais, como a necessidade do aumento da produção de proteína animal visando a segurança alimentar, a poluição ambiental e a aceleração das mudanças climáticas. O setor de produtos de origem animal vem passando por um aumento na demanda devido a fatores como crescimento populacional e aumento socioeconômico, porém junto a esse aumento na demanda do setor, a necessidade de se produzir proteína animal a um baixo custo e em curto prazo também vêm aumentando, além da preocupação com a utilização de produtos que competem diretamente com a alimentação humana recebendo fortes críticas (HALMEMIES-BEAUCHET-FILLEAU et al., 2018).

Os ruminantes quando comparados aos monogástricos são menos eficientes na conversão do alimento, porém utilizam menor quantidade de alimento apto ao consumo humano para produzir a mesma quantidade de proteína (MOTTET et al., 2017). Para a sustentabilidade dos sistemas alimentares e diminuição dos impactos ambientais são necessárias mudanças nos sistemas de produção animal, assim como mudanças no consumo em relação a desperdícios e escolhas alimentares (RÖÖS et al., 2017). A utilização de alimentos alternativos nos sistemas de produção animal é a base para as mudanças no setor.

Existem muitos materiais advindos de diversas fontes industriais, os quais são passíveis de se transformarem em alimento animal, exemplos desses materiais são os subprodutos agroindustriais. Estes subprodutos são advindos do processamento de alimentos, como a transformação de vegetais em outros produtos alimentícios (farinhas, féculas, sucos e polpas) e do beneficiamento de grãos (AJILA et al., 2012; SALAMI et al., 2019).

Apesar destes subprodutos serem advindos de matéria prima comestível, os mesmos, normalmente, não são adequados ao consumo humano devido a sua composição bromatológica, mais especificamente teores de fibras, porém possuem potencial de serem transformados em alimento de qualidade para a população por ruminantes.

Essa transformação é capaz devido aos ruminantes possuírem um sistema gástrico desenvolvido, capaz de converter alimentos com alto teor de fibra (BERCHIELLI; PIRES; OLIVEIRA, 2011) em energia/proteína apta ao consumo humano. Os microrganismos do rúmen são responsáveis por 60 a 90% da degradação e digestão de celulose e hemicelulose no trato gastrointestinal (MOREIRA et al., 2013).

Considerando essa habilidade dos ruminantes em transformar biomassa rica em fibras, o objetivo foi avaliar a possibilidade de utilização de subprodutos agroindustriais como suplemento alimentar e/ou base da dieta de ruminantes *in vitro*.

## **3.2 Material e Métodos**

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Nutrição Animal (LANA) do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, localizado no município de Piracicaba, São Paulo, Brasil. As amostras dos subprodutos foram coletadas na região de Piracicaba na Safra 2017/2018 e amostradas criteriosamente em duas repetições. Os procedimentos com os animais foram autorizados pela CEUA-CENA sob Protocolos N<sup>os</sup> 011/2016 e 003/2018.

### **3.2.1 Caracterização da composição bromatológica dos substratos e dietas experimentais**

Os substratos utilizados foram subprodutos (bagaço de laranja (BL); casca de soja (CS); bagaço de mandioca (BM); resíduo de feijão (RF); palhada de feijão (PF); casca de amendoim (CA); palhada de milho (PM); palhada de cana-de-açúcar (PC) e bagaço de cana-de-açúcar (BC)) coletados na região de Piracicaba, sendo duas amostras de locais diferentes por material, e as dietas experimentais formuladas com os subprodutos selecionados (RF e CS). Foi-se utilizado uma dieta convencional como controle.

Os subprodutos e ingredientes das dietas foram moídos a 1mm em moinho tipo Wiley (Marconi, Piracicaba – SP, Brasil) e posteriormente pesados para determinação dos teores de matéria seca a 100°C (MS), matéria orgânica (MO) e proteína bruta (PB) de acordo com a Association of Official Analytical Chemistry (2011), assim como fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina em detergente ácido (LDA) foram determinadas seguindo metodologia de Van Soest, Robertson e Lewis (1991) com adaptações de Mertens (2003).

Para a determinação da fração fibrosa FDN, FDA e LDA foram utilizados saquinhos próprios para determinação de fibra modelo F57 (Ankon Technology Corp., USA) em aparelho determinador de fibra modelo TE-149 (Tecnal, Piracicaba). Para os subprodutos foi estimado os valores de hemicelulose (HCEL), celulose (CEL), carboidratos totais (CHO<sub>tot</sub>) e a fração solúvel do FDN (CHO<sub>sol</sub>) de acordo com equações descrita por Sniffen et al. (1992). A composição centesimal e bromatológica das dietas utilizadas no ensaio está na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Composição centesimal e bromatológica (g kg<sup>-1</sup> MS) das dietas experimentais e controle

Ingrediente	Feno	Dietas Experimentais		
		Dieta 1	Dieta 2	Dieta Controle
Composição centesimal (%)				
Feno de Tifton 85	100	60	60	60
Milho desintegrado	-	-	4	30
Farelo de soja	-	-	-	10
Resíduo de feijão	-	22	24	-
Casca de soja	-	18	12	-
Total	100	100	100	100
Composição bromatológica (g kg <sup>-1</sup> MS)				
MS*	905	911	911	902
PB	69	134	136	126
FDN	824	726	708	593
FDA	461	426	402	316
LIG	90	78	77	60

\*g kg<sup>-1</sup> de MF; dietas calculadas com base na recomendação do NRC (2007).

### 3.2.2 Preparo do substrato e inoculo

Após caracterização bromatológica dos substratos e das dietas, os mesmos foram pesados em saquinhos Ankon F57 na quantidade de 0,5 gramas, selados, numerados e colocados em garrafas de vidro de 160 mL para posterior inoculação e incubação.

Na preparação do inoculo foi coletado conteúdo ruminal (50:50, sólido e líquido) de seis ovinos da raça Santa Inês (66 ± 5,3 kg de peso vivo) canulados no rúmen, alimentados com feno de Tifton-85 (*Cynodon* ssp.) e mistura concentrada (70% milho e 30% farelo de soja).

O conteúdo ruminal foi coletado com auxílio de uma sonda acoplada a uma seringa (parte líquida) e uma pinça tipo tenaz (parte sólida). Para a formação de cada inoculo foi utilizada a metodologia de Bueno et al. (2005) misturando dois animais para formação de inoculos diferentes, em proporção 50:50 (sólido: líquido), homogeneizado em liquidificador com adição de CO<sub>2</sub> e filtrado em camada de tecido de algodão dupla, e posteriormente armazenados em Erlenmeyer no banho-maria a 39°C até a inoculação nas garrafas de 160 mL.

Antes da inoculação foi colocado 45 mL da solução de Menke, a qual possui função tamponante e nutritiva, e então adicionado 25 mL do inóculo. Os subprodutos foram incubados em 2 inóculos e as dietas em 3 inóculos; os diferentes inóculos foram considerados como repetições.

### 3.2.3 Ensaio *in vitro* de produção de gases

A técnica *in vitro* de produção de gases utilizada na realização do ensaio seguiu a metodologia de Theodorou et al. (1994), com sistema semiautomático de leitura de pressão (MAURICIO et al., 1999) e adaptações do Laboratório de Nutrição Animal (CENA/USP) com a introdução de “datalogger” acoplado ao “transducer” de pressão (BUENO et al., 2005).

As garrafas (160 mL) contendo os saquinhos com os substratos, soluções tampão e nutritiva e inóculo simulam o rumem do animal, como uma câmara de fermentação com “head space” (espaço vazio) de 85 mL para o acúmulo de gases (ABDALLA et al., 2012; LONGO et al., 2006). Após fechadas com tampa de borracha e agitadas, as garrafas foram colocadas em estufa de circulação de ar forçada (Marconi MA35, Piracicaba, SP, Brasil) a 39°C durante 24 horas.

Além das garrafas com os substratos, foram acrescentadas duas garrafas por inóculo, sendo uma com o saquinho Ankon F57 vazio, denominada de BRANCO, que possui a função de proporcionar o volume de gás gerado por cada inóculo na presença da solução de Menke, e outra garrafa com saquinho contendo 0,5 gramas de feno de *Tifton 85*, denominada de PADRÃO, controle de qualidade interno do laboratório.

A pressão dos gases foi mensurada em intervalos regulares de 0, 4, 8, 12 e 24 horas após a incubação com o auxílio de um transdutor de pressão (Press Data 800, LANA/CENA – USP/Piracicaba – SP); estas pressões foram utilizadas para cálculo do volume de gás produzido conforme descrito por Soltan et al. (2012), através da equação “ $VGP = (6,442 * P) - 0,336$ ”, em que VGP = volume de gás produzido (mL) e P = pressão (psi).

Para determinação da concentração de metano, foi coletado 2,5 mL de gás em cada intervalo de mensuração de pressão, acondicionado em tubo de ensaio com capacidade de 10 mL e vácuo de 12 mL, totalizando ao final das 24 horas 10 mL de gás coletado. O gás restante nas garrafas, foram retirados com o auxílio de agulhas após a amostragem dos gases da fermentação para a quantificação do CH<sub>4</sub>. A determinação CH<sub>4</sub> foi realizada por cromatografia gasosa (GC-2010, Shimadzu, Tokio, Japão) em coluna micro empacotada Shincarbon ST 100/120 e detector de ionização de chama (FID), tendo o gás hélio (He) em um

fluxo de 10 mL min<sup>-1</sup> como gás de arraste. Para a quantificação foi utilizado uma curva de calibração preparada com gás metano (99,5%) nas concentrações 0, 3, 6, 9 e 12%. A determinação da produção de CH<sub>4</sub> foi realizada de acordo com metodologia de Longo et al. (2006) conforme a equação “CH<sub>4</sub> (mL) = (VGP + HS) \* CH<sub>4</sub>” em que VGP = volume de gás produzido (mL); HS = head space (85 mL); CH<sub>4</sub> = concentração de metano (%).

### 3.2.4 Degradabilidade ruminal e características fermentativas

Após o período de 24 horas de incubação as garrafas foram abertas, colocados em gelo para cessar a ação dos microrganismos, e os saquinhos com o resíduo não degradado foram retirados e lavados em solução de detergente neutro por uma hora a 90°C, seguida por quatro lavagens com água destilada de cinco minutos cada a temperatura de 90°C, finalizando com imersão em acetona por cinco minutos.

Após lavagem, os saquinhos foram submetidos à estufa por 24 horas, e pesados, seguido da queima dos mesmos em forno tipo mufla a 550°C por 5,5 horas. Após a queima, o resíduo, considerado a matéria mineral (MM) do substrato não degradado, foi utilizado para o cálculo da matéria orgânica verdadeiramente degradada (MOVD) e determinação da DMO (MOVD \* MO incubada<sup>-1</sup>) de acordo com Blümmel, Makkar e Becker (1997). Através da relação entre VGP e DMO foi calculado o fator de partição (FP), o qual reflete a partição do substrato degradado em AGCC, gases e massa microbiana (BLUMMEL et al., 1999).

O conteúdo das garrafas foi amostrado para análise de parâmetros fermentativos: nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e ácido graxos de cadeia curta (AGCC). Para determinação da concentração de N-NH<sub>3</sub> foi utilizado o método micro-Kjeldahlj por destilação a vapor, utilizando solução de tetraborato de sódio (5%), ácido bórico como indicador e ácido sulfúrico (0,01N) na titulação. A separação e determinação das concentrações de AGCC foi realizada por cromatografia gasosa (CG) de acordo com Palmquist e Conrad (1971) e adaptações de Lima et al. (2018).

### 3.2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey utilizando o software estatístico SAS® versão 9.4 (Statistical Analysis System Institute, Cary - NC, USA), conforme o modelo matemático:

$$Y_{ik} = \mu + T_i + I_k + e_{ik} \quad (1)$$

Em que  $Y_{ik}$  = variável dependente;  $\mu$  = média geral;  $T_i$  = efeito fixo dos tratamentos;  $I_k$  = efeito aleatório do inóculo;  $e$  = erro experimental.

### **3.3 Resultados e Discussão**

#### **3.3.1 Caracterização bromatológica dos subprodutos avaliados**

Os valores obtidos na caracterização bromatológica dos subprodutos estão na Tabela 3.2 e variaram conforme a matéria prima utilizada para sua derivação como já descrito por DePeters, Fadel e Arosemena (1997). Para o parâmetro MM ( $P < 0,05$ ) não se obteve diferença entre os tratamentos, porém no parâmetro proteína bruta (PB,  $P < 0,0001$ ) os substratos com maior média foram CS e RF (215 e 251 g  $kg^{-1}$  MS, respectivamente), diferindo estes dos demais substratos; o BL e PF obtiveram valores intermediário, porém não diferiram da CA, PM, PC e BC quais obtiveram as menores médias para este parâmetro. Nas porções fibrosas ( $P < 0,005$ ), FDN, FDA, LIG, HCEL e CEL, também houve diferença entre os tratamentos para todos os parâmetros. O menor valor obtido no parâmetro FDN, FDA e LIG foi para o BM (82,75 e 10,1 g  $kg^{-1}$  MS, respectivamente) justificado por seus altos valores de  $CHO_{ttl}$  e  $CHO_{sol}$  (938 e 918 g  $kg^{-1}$  MS respectivamente). Os subprodutos BL, CS, RF e PF obtiveram valores numéricos intermediários, não diferindo entre si para o FDN e LIG, porém no parâmetro FDA diferiram do RF, qual obteve valor estatisticamente similar ao BM. Os parâmetros HCEL e CEL seguiram a tendência das demais frações fibrosas (FDN, FDA e LIG), assim como os carboidratos totais ( $CHO_{tt}$ ) e os carboidratos solúveis ( $CHO_{sol}$ ).

De acordo com os valores bromatológicos, os subprodutos avaliados podem ser classificados dentro de diferentes grupos de acordo com o teor de seus compostos nutritivos (GOES et al., 2013). De acordo com o teor de PB, a CS e RF podem ser classificados como subprodutos com potencial proteico, por possuírem mais de 20% de PB em sua composição, porém também possui potencial energético quando analisado os teores de FDN e  $CHO_{sol}$ . Quando avaliado o FDN, FDA e LIG, classificou-se em subprodutos com potencial de serem fonte volumosa a CA, PM, PC e BC. O BM quando analisado seu  $CHO_{ttl}$  e  $CHO_{sol}$ , foi classificado como um alimento energético. Classificações similares, para diversos subprodutos, também foram sugeridas por Huber (1980) como para a polpa cítrica e o farelo de arroz.

**Tabela 3.2** - Composição bromatológica dos subprodutos avaliados

Itens	Classificação	MS	MM	PB	FDN	FDA	LIG	N-FDN	HCEL	CEL	CHO <sub>totl</sub>	CHOSol
		(g/Kg MS 60°C)										
BL	Volumo/energético	930 ab	29,2	78,88 bc	654 bc	522 bcd	54 bcd	9,63 bcd	132 bcd	468 ab	865 ab	346 bc
CS	Proteico/energético	889 ab	137	215 a	637 bc	474 cd	62,4 bcd	21,1 b	163 abc	412 abc	598 d	362 bc
BM	Energético	917 ab	12,0	19,7 c	81,9 d	75,3 f	10,1 d	5,70 d	6,55 d	65,2 d	938 a	918 a
RF	Proteico/energético	958 a	53,9	251 a	533 c	231 ef	42 cd	39,2 a	302 a	189 cd	670 cd	467 b
PF	Volumoso/energético	916 ab	69,5	143 bc	658 bc	394 de	81,8 bcd	20,1 bc	264 ab	313 bcd	769 bc	341 bc
CA	Volumoso	896 ab	64,4	77,8 c	938 a	864 a	326 a	7,75 cd	74,2 cd	536 ab	850 ab	62 d
PM	Volumoso	877 b	44,8	46,1 c	920 a	626 bcd	111 bcd	5,97 d	295 a	515 ab	902 ab	79 d
PC	Volumoso	890 ab	65,0	52,1 c	862 ab	590 bcd	121 b	5,02 d	272 abd	469 ab	821 abc	137 cd
BC	Volumoso	931 ab	30,3	53,9 c	960 a	715 ab	131 b	4,87 d	244 ab	583 a	899 ab	40 d
EPM	-	13,57	30,7	11,58	45,98	39,8	14,03	2,36	27,14	45,72	28,57	45,98
Valor de P		0,035	0,320	**	**	**	**	**	*	*	*	**

\*  $P < 0,001$ ; \*\*  $p < 0,0001$ ; MS = matéria seca; MM = matéria mineral; PB = proteína bruta; FDn = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; LIG = lignina; N-FDN = nitrogênio ligada a FDN; HCEL = hemicelulose; CEL = celulose; CHO<sub>totl</sub> = carboidratos totais; CHOSol = carboidratos solúveis; BL = bagaço de laranja; CS = casca de soja; BM = bagaço de mandioca; RF = resíduo de feijão; PF = plhada de feijão; CA = casca de amendoim; PM = palhada de milho; PC = palhada de cana; BC = bagaço de cana; EPM = erro padrão da média.

### 3.3.2 Degradabilidade ruminal e características fermentativas

A técnica *in vitro* de produção de gases tem sido utilizada para avaliar o desempenho de diferentes alimentos no meio ruminal, assim como sua interação com a microbiota do rúmen, perfil de fermentação e os produtos gerados através da mesma (GETACHEW et al., 1998).

Em todos os ensaios foi utilizado um padrão interno (Feno de Tifton 85) com o intuito de observar o desempenho da técnica entre os diferentes ensaios realizados na avaliação dos subprodutos e dietas experimentais.

O valor médio de NetPG total ( $\text{ml g}^{-1}$  MS) e FP foram respectivamente  $91 \pm 4,6$  e  $1,3 \pm 0,11$ ; não havendo diferença estatísticas ( $P > 0,05$ ) entre os ensaios para esse substrato. O valor médio do pH entre os ensaios para o padrão interno, os subprodutos e as dietas experimentais foi  $6,87 \pm 0,05$ ,  $7,2 \pm 0,12$  e  $6,7 \pm 0,13$  respectivamente, considerados dentro do normal para uma boa atividade microbiana (BERCHIELLI; PIRES; OLIVEIRA, 2011; DIJKSTRA et al., 2012).

#### 3.3.2.1 Subprodutos

Os parâmetros DMO e NetGP/MOD diferiram entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ) (Tabela 3.3).

**Tabela 3.3** - Produção de gases e degradabilidade de subprodutos agroindustriais

Itens	DMO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	NetPG ( $\text{ml g}^{-1}\text{MOD}$ )	NetCH <sup>4</sup> ( $\text{ml g}^{-1}\text{MOD}$ )	FP	NNH <sub>3</sub> (%)
BL	525 bc	77 b	2,64	1,62	0,040 b
CS	464 bc	50 b	1,53	1,61	0,047 ab
BM	695 a	130 a	5,28	1,61	0,040 b
RF	605 ab	97 ab	5,5	1,62	0,055 a
PF	575 ab	88 ab	3,1	1,61	0,049 a
CA	254 c	19 b	1,85	1,59	0,046 ab
PM	262 c	10 b	1,2	1,61	0,047 ab
PC	275 c	20 b	0,89	1,61	0,046 ab
BC	242 c	17 b	1,35	1,62	0,045 ab
EPM	20,22	5,63	0,28	0,0019	0,001
Valor de P	**	*	0,101	0,999	**

\*  $P < 0,001$ ; \*\*  $P < 0,0001$ ; DMO = degradabilidade da matéria orgânica; NetPG = produção líquida de gases; NetCH<sup>4</sup> = produção líquida de metano; FP = fator de partição; NNH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; BL = bagaço de laranja; CS = casca de soja; BM = bagaço de mandioca; RF = resíduo de feijão; PF = palhada de feijão; CA = casca de amendoim; PM = palhada de milho; PC = palhada de cana; BC = bagaço de cana; EPM = erro padrão da média.

Os maiores valores de DMO foram encontrados no BM, RF e PF, seguidos do BL e CS. Já para os substratos CA, PM, PC e BC os valores DMO foram similares (Tabela 3.3).

Para NetPG/MOD o maior valor foi obtido pelo BM ( $130 \text{ mL g MOD}^{-1}$ ), não diferindo do RF e PF, mas diferiu dos demais substratos. Os gases produzidos durante o ensaio estão diretamente relacionados ao processo de fermentação, esta afirmação explica a maior produção de gases obtida pelo BM, RF e PF, pois os mesmos obtiveram maior proporção de material degradado e são caracterizados por um baixo valor de FDA (7,5; 23,2 e 39,4 % de FDA respectivamente), em que uma alta degradabilidade da matéria orgânica está diretamente atribuída a baixas concentrações de FDA no material avaliado (LAGRANGE; LOBÓN; VILLALBA, 2019).

O  $\text{CH}_4/\text{MOD}$  e o FP não apresentaram diferenças estatísticas entre os subprodutos, sugerindo através do FP, não ter ocorrido alterações na ação microbiana dentre os tratamentos. O  $\text{N-NH}_3$  foi superior nos substratos RF e PF, diferindo estes apenas do BL e BM, que apresentaram o menor valor que podem ser justificados por seus baixos valores de PB, pois o  $\text{N-NH}_3$  está diretamente relacionado com a degradação da proteína no rúmen (LIMA et al., 2018; RUSSELL et al., 1992).

### 3.3.2.2 Dietas experimentais

Para os parâmetros DMO, Net $\text{CH}_4$ , DFDN e  $\text{N-NH}_3$  ( $P > 0,05$ ) não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 3.4).

**Tabela 3.4** - Produção de gases e degradabilidade das dietas experimentais e controle

Itens	DMO (g $\text{kg}^{-1}$ )	NetPG (ml $\text{g}^{-1}\text{MOD}$ )	Net $\text{CH}_4$ (ml $\text{g}^{-1}\text{MOD}$ )	DFDN	FP	NNH <sub>3</sub> (%)
DC	546	82,1 a	3,26	269	1,59 b	0,05
D1	479	57,9 b	1,88	326	1,77 a	0,05
D2	487	59,4 ab	1,95	315	1,73 a	0,04
EPM	17,88	6,69	0,37	15,25	0,04	0,0003
Valor de P	0,057	0,018	0,546	0,139	*	0,229

\*  $P < 0,001$ ; DMO = degradabilidade da matéria orgânica; NetPG = produção líquida de gases; Net $\text{CH}_4$  = produção líquida de metano; DFDN = degradabilidade da fibra em detergente neutro; FP = fator de partição; NNH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; DC = dieta controle; D1 = dieta experimental 1; D2 = dieta experimental 2 e EPM = erro padrão da média.

A DMO mostra (Tabela 3.4) o quanto de matéria orgânica incubada foi degradada pelas bactérias do rúmen, estatisticamente a degradabilidade não foi afetada com a adição e/ou substituição dos subprodutos.

Para o NetPG/MOD ( $P= 0,018$ ) houve diferença estatística entre os tratamentos e o maior valor foi obtido pela DC ( $82 \text{ mL g}^{-1} \text{ MOD}$ ) diferindo apenas da D1, qual apresenta maior FDN e FDA (Tabela 3.1).

O FP ( $P= 0,001$ ) para o tratamento DC diferiu estatisticamente dos demais tratamentos obtendo a menor média, que reflete a partição do substrato degradado entre AGCC, gases e massa microbiana; substratos com alto valor de degradabilidade, porém com baixa produção de gás por material degradado elevam o valor do FP, estando relacionado com a eficiência da microbiota ruminal no processo de fermentação (BLÜMMEL et al., 1999), demonstrando D1 e D2 apresentarem valores superiores a DC (Tabela 3.4) por terem sido mais eficientes no processo de fermentação.

### **3.3.3 Produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC)**

#### **3.3.3.1 Subprodutos**

O subproduto que se destacou na produção total de ácidos graxos de cadeia curta (AGCCt) foi a PF, diferindo apenas da CS, a qual obteve a menor produção de AGCC e ambos não diferiram dos demais substratos (Tabela 3.5). Como relatado por Getachew et al. (2004), a degradação de proteínas leva a uma produção menor de AGCCt, justificando o menor valor deste parâmetro estar relacionado a CS apesar de sua boa degradabilidade (Tabela 3.3).

Para o acetato (C2) não houve diferença entre os diferentes substratos, enquanto para o propionato (C3) o maior valor foi obtido pelo BM não diferindo do BL, RF, PF e CA, que obtiveram valores intermediários entre o BM e a CS, PM, PC e BC (Tabela 3.5), estes últimos responsáveis pelas menores proporções de propionato; pois sabe-se que carboidratos rapidamente fermentescíveis possuem uma maior produção de propionato, explicando os valores obtidos pelos substratos testados (GETACHEW et al., 1998). A relação C2:C3 ( $P<0,0001$ ) diferiu entre os tratamentos, sendo o BM com o menor valor e os maiores valores foram obtidos pela CS, PM, PC e BC; alta relação C2:C3 pode indicar uma boa digestibilidade do FDN (GETACHEW et al., 2004).

**Tabela 3.5** - Produção de AGCC ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) dos subprodutos agroindustriais

Itens	AGCCt	C2	C3	C2:C3
BL	66,1 ab	45,6	10,6 ab	4,25 ab
CS	62,6 b	41,8	9,39 b	4,45 a
BM	74,2 ab	42,5	19,2 a	2,51 d
RF	71,9 ab	42,2	13,6 ab	3,30 c
PF	88,1 a	55,7	14,8 ab	3,80 bc
CA	68 ab	44,9	10,3 ab	4,60 ab
PM	62,8 ab	41,5	9,20 b	4,67 a
PC	63,5 ab	42,4	9,24 b	4,67 a
BC	64,3 ab	42,8	9,41 b	4,76 a
EPM	1,76	0,98	0,66	0,13
Valor de p	0,024	0,077	**	**

\*  $P < 0,001$ ; \*\*  $P < 0,0001$ ; AGCCt = ácidos graxos de cadeia curta totais; C2 = acetato; C3 = propionato; C2:C3 = relação acetato:propionato; BL = bagaço de laranja; CS = casca de soja; BM = bagaço de mandioca; RF = resíduo de feijão; PF = palhada de feijão; CA = casca de amendoim; PM = palhada de milho; PC = palhada de cana; BC = bagaço de cana; EPM = erro padrão da média.

### 3.3.3.2 Dietas experimentais

Não houve diferença estatística entre os tratamentos para nenhum dos parâmetros avaliados ( $P > 0,05$ ) (Tabela 3.6).

**Tabela 3.6** - Produção de AGCC ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) das dietas experimentais e controle

Itens	AGCCt	C2	C3	C2:C3
DC	86,9	51,8	16,9	3,22
D1	44,5	31,2	6,52	5,03
D2	62,7	38,9	10,7	3,97
EMP	11,62	5,60	2,85	0,52
Valor de p	0,072	0,081	0,087	0,406

AGCCt = ácidos graxos de cadeia curta totais; C2 = acetato; C3 = propionato; C2:C3 = relação acetato:propionato; DC = dieta controle; D1 = dieta experimental 1 (60% Feno de tifton + 22% RF + 18% CS); D2 = dieta experimental 2 (60% Feno de tifton + 4% Milho + 24% RF + 12% CS) e EPM = erro padrão da média.

A maioria dos subprodutos estudados apresentam um teor elevado de fibra (FDN, FDA e LIG), porém a maior parte dela foi degradada no rúmen para produção de energia (AGCC). A composição bromatológica dos subprodutos dependem da matéria prima de derivação, mas

é possível formular dietas com base nestes, que resultam semelhantemente à dieta tradicional, demonstrando estes subprodutos serem, potencial fonte alimentar para ruminantes.

### 3.4 Conclusão

Pode-se concluir que foi possível utilizar os subprodutos de forma suplementar ou como base da dieta de ruminantes sem comprometer o desempenho microbiano e o processo fermentativo.

### Referências

ABDALLA, A. L. et al. *In vitro* evaluation, *in vivo* quantification, and microbial diversity studies of nutritional strategies for reducing enteric methane production. **Tropical Animal Health and Production**, Heidelberg, v. 44, n. 5, p. 953–964, 2012.

AJILA, C. M. et al. Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. **Critical Reviews in Biotechnology**, London, v. 32, n. 4, p. 382–400, 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International, 2011.

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2011. 616 p.

BLÜMMEL, M. et al. The modification of an *in vitro* gas production test to detect roughage related differences *in vivo* microbial protein synthesis as estimated by the excretion of purine derivatives. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 133, n. 3, p. 335–340, 1999.

BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. *In vitro* gas production: a technique revisited. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 77, n. 1–5, p. 24–34, 1997.

BUENO, I. C. S. et al. Influence of inoculum source in a gas production method. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 123–124, p. 95–105, 2005.

DEPETERS, E. J.; FADEL, J. G.; AROSEMENA, A. Digestion kinetics of neutral detergent fiber and chemical composition within some selected by-product feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 67, n. 2–3, p. 127–140, 1997.

DIJKSTRA, J. et al. Ruminal pH regulation and nutritional consequences of low pH. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 172, n. 1–2, p. 22–33, 2012.

GETACHEW, G. et al. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 72, n. 3–4, p. 261–281, 1998.

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

GOES, R. H. et al. Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in the rations for cattle in feedlot. **Agricultural Sciences**, Wuhan, República Popular da China, v. 4, n. 12, p. 774–780, 2013.

HALMEMIES-BEAUCHET-FILLEAU, A. et al. Review: Alternative and novel feeds for ruminants: nutritive value, product quality and environmental aspects. **Animal**, Cambridge, v. 12, n. s2, p. s295–s309, 2018.

HUBER, J. T. **Upgrading residue and by-products for animals**. Boca Raton: CRC Press, 1981. 131 p.

LAGRANGE, S.; LOBÓN, S.; VILLALBA, J. J. Gas production kinetics and *in vitro* degradability of tannin-containing legumes, alfalfa and their mixtures. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 253, p. 56–64, 2019.

LIMA, P. M. T. et al. Nutritional evaluation of the legume *Macrotyloma axillare* using *in vitro* and *in vivo* bioassays in sheep. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 102, n. 2, p. e669–e676, 2018

LONGO, C. et al. The influence of head-space and inoculum dilution on *in vitro* ruminal methane measurements. **International Congress Series**, Amsterdam, v. 1293, p. 62–65, 2006.

MAURICIO, R. M. et al. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 79, n. 4, p. 321–330, 1999.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, Arlington, v. 85, n. 6, p. 1217–1240, 2003.

MOREIRA, L. M. et al. A new approach about the digestion of fibers by ruminants. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 2, p. 382–395, 2013.

MOTTET, A. et al. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. **Global Food Security**, Amsterdam, v. 14, p. 1–8, 2017.

PALMQUIST, D. L.; CONRAD, H. R. Origin of Plasma Fatty Acids in Lactating Cows Fed High Grain or High Fat Diets. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 54, n. 7, p. 1025–1033, 1971.

RÖÖS, E. et al. Protein futures for Western Europe: potential land use and climate impacts in 2050. **Regional Environmental Change**, New York, v. 17, p. 367–377, 2017.

RUSSELL, J. B. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 11, p. 3551–3561, 1992.

SALAMI, S. A. et al. Sustainability of feeding plant by-products: A review of the implications for ruminant meat production. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 251, p. 37–55, 2019.

SNIFFEN, C. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992.

SOLTAN, Y. et al. Comparative *in vitro* evaluation of forage legumes (prosopis, acacia, atriplex, and leucaena) on ruminal fermentation and methanogenesis. **Journal of Animal and Feed Sciences**, Jablona, v. 21, n. 4, p. 759–772, 2012.

THEODOROU, M. K. et al. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 48, n. 3–4, p. 185–197, 1994.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583–3597, 1991.

#### **4 Desempenho, digestibilidade dos nutrientes, produção de metano entérico e parâmetros fermentativos de ovinos suplementados com subprodutos agroindustriais**

**Resumo:** Os ruminantes apresentam papel importante no fornecimento de proteína animal para a população, devido a sua capacidade em converter frações fibrosas, inaptas ao consumo humano, em produtos importantes para o consumo humano como carne e leite, além de serem considerados fonte de subsistência em algumas regiões. Utilizar subprodutos agroindustriais na alimentação destes animais traz benefício socioambiental, pois diminui a competição animal/humano por alimentos e viabiliza o uso de resíduos advindos do setor alimentício. O objetivo do estudo foi avaliar o uso dos subprodutos agroindustriais, resíduo de feijão e casca de soja, em substituição ao milho e farelo de soja na fração concentrada da dieta de ovinos, em função do desempenho animal, digestibilidade aparente dos nutrientes, síntese microbiana, produção de metano entérico e fermentação ruminal. Foram avaliados dois tratamentos, dieta controle (DC) e dieta teste (DT), ambos compostos por 60% de volumoso (Feno de Tifton 85) e 40% de concentrado. O concentrado da dieta DC foi composto por 28% de milho moído e 12% de farelo de soja e na dieta DT, o concentrado foi composto por 22% de resíduo de feijão e 18% casca de soja. Foram utilizados 16 animais com aproximadamente  $15 \pm 2,9$  kg, sendo 8 fêmeas e 8 machos divididos homogeneamente quanto ao peso vivo entre os tratamentos. O experimento teve duração de 68 dias, contemplando avaliações de desempenho, digestibilidade aparente dos nutrientes e quantificação de metano entérico. Não foi observado diferença estatística ( $P > 0,05$ ) para o desempenho animal e o consumo de matéria seca, porém a conversão alimentar foi diferente entre as dietas, com maior consumo da DT para manter o mesmo desempenho animal. A digestibilidade dos nutrientes da matéria orgânica ( $P = 0,03$ ), fibra em detergente neutro ( $P < 0,01$ ) e fibra em detergente ácido ( $P = 0,005$ ) foi maior para a DT. A síntese microbiana e a emissão de  $\text{CH}_4$  não foram afetados com a substituição dos ingredientes tradicionais. A produção de ácidos graxos de cadeia curta foi menor na DT ( $P > 0,05$ ). Conclui-se que a utilização do resíduo de feijão e casca de soja, em substituição às fontes tradicionais de energia e proteína nas proporções descritas neste trabalho foi satisfatória e não alterou os parâmetros avaliados.

**Palavra-chave:** Resíduos. Farelo de soja e milho. Segurança alimentar. Sustentabilidade.

#### **4 Performance, nutrient digestibility, enteric methane production and fermentation parameters of sheep supplemented with agro-industrial by-products**

**Abstract:** Ruminants play an important role in the supply of animal protein to the population, due to their ability to convert fibrous fractions, unfit for human consumption, into products important for human consumption such as meat and milk, in addition to being considered a source of subsistence in some regions. Using agro-industrial by-products in the feeding of these animals brings social and environmental benefit, as it decreases animal/human competition for food and it uses waste from the food sector. The aim of this study was to evaluate the use of the agro-industrial by-products bean residue and soybean hulls as replacement for corn and soybean meal in the concentrated fraction of sheep diet, on animal performance, apparent nutrient digestibility, microbial synthesis, methane emission and rumen fermentation. Two experimental treatments were evaluated: control diet (CD) and test diet (TD), both composed of 60% Hay (Tifton 85 hay) and 40% concentrate. The CD diet concentrate consisted of 28% ground corn and 12% soybean meal and the TD diet consisted of 22% bean residue and 18% soybean hulls. Sixteen animals with approximately  $15 \pm 2.9$  kg were used, being 8 females and 8 males divided homogeneously as to live weight between treatments. The assay lasted for 68 days which included performance evaluation, apparent nutrient digestibility and in vivo enteric methane (CH<sub>4</sub>) quantification. No statistical difference ( $P > 0.05$ ) was observed for animal performance and dry matter intake evaluations, but the feed conversion was different between the treatments, indicating the greater need for TD consumption to maintain the animal performance. Nutrient digestibility of organic matter ( $P=0.03$ ), neutral detergent fiber ( $P<0.01$ ) and acid detergent fiber ( $P=0.01$ ) were higher for TD. Microbial synthesis and CH<sub>4</sub> emission were not affected by substitution of traditional ingredients. The production of short chain fatty acids was lower in TD. It is concluded that the use of the agro-industrial by-products bean residues and soybean hulls, replacing traditional energy and protein sources in the proportions described in this study was satisfactory and did not negatively change the parameters evaluated.

**Key Word:** Feed. Food security. Ruminants. Sustainability.

## 4.1 Introdução

Devido ao aumento da demanda por alimento, mudanças de hábitos alimentares e mudanças climáticas, tem-se valorizado o melhor uso da biomassa e a diminuição do descarte de resíduos. Segundo Mottet et al. (2018) devido ao crescimento populacional e aumento da situação econômica da população, a demanda por produtos pecuários aumentou, no entanto, a necessidade de se produzir mais a um custo menor e utilizando menos produtos aptos ao consumo humano vêm aumentando também.

Os ruminantes apresentam papel importante no fornecimento de proteína animal para a população, devido a sua capacidade em converter frações fibrosas, inaptas ao consumo humano, em produtos aptos ao consumo humano como carne e leite, além de ser considerados fonte de subsistência a populações mais pobres (EISLER et al., 2014; MOTTET et al., 2017). Esses produtos são essenciais na nutrição da população devido à sua ampla gama de nutrientes e principalmente à qualidade de sua proteína, sendo considerados como fonte proteica de boa digestibilidade e completo perfil de aminoácidos essenciais.

Alimentos alternativos podem promover diminuição do custo da produção de ruminantes com qualidade nutricional similares aos dos alimentos convencionais que em sua maioria são *commodities* (GERBER et al., 2015; MOTTET et al., 2017). Estes alimentos compreendem desde restos de alimentos domiciliar até restos de culturas, coprodutos e subprodutos agroindustriais. Os subprodutos agroindustriais consistem em subprodutos da indústria de moagem e beneficiamento de grãos, tais como farelo, farinha residual, resíduos resultantes dos processos de limpeza dos grãos, cascas de algumas sementes, entre outros (AJILA et al., 2012). Estes subprodutos oferecem uma fonte barata de nutrientes em comparação aos alimentos tradicionais, porém possuem variação na disponibilidade de acordo com a época de produção e região em que são produzidos.

De acordo com a literatura (ABDALLA et al., 2008; RÖÖS et al., 2016), a maioria dos subprodutos podem ser utilizados como alimento animal quando livre de toxinas e outras substâncias com potencial nocivo, garantindo sustentabilidade à produção de ruminantes e destino correto aos resíduos sólidos das agroindustriais.

O objetivo foi avaliar a possibilidade em utilizar subprodutos agroindustriais como alimento em substituição ao milho e ao farelo de soja como fonte energético/proteica, avaliando seus efeitos sobre o desempenho, digestibilidade dos nutrientes, emissão de metano entérico e nos parâmetros fermentativos.

## **4.2 Material e Métodos**

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Nutrição Animal (LANA) e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA/CENA) sob Protocolo N° 003-2018 do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, Brasil, no período de novembro 2018 a janeiro de 2019.

Foram utilizados 16 animais, sendo 8 fêmeas e 8 machos. O ensaio teve duração total de 68 dias, sendo 55 dias para avaliação de desempenho, 7 dias para avaliação de digestibilidade aparente dos nutrientes e 6 dias para quantificação de metano entérico. Foram utilizadas baias individuais, gaiolas metabólicas e gaiolas respirométricas, respectivamente, mantidas em galpão com acesso a luminosidade e ventilação. A temperatura média durante o período experimental foi de 26 °C. Diariamente foi controlado o consumo de alimento, água, fezes e urina, sendo as fezes e urina coletados apenas no período de avaliação da digestibilidade dos nutrientes.

### **4.2.1 Delineamento experimental**

Os animais utilizados neste ensaio pertenciam ao plantel do LANA, descendentes de fêmeas Santa Inês e nascidos em agosto de 2018, apresentando 3 meses de idade ao início do ensaio. Os animais foram mantidos desde o nascimento até o início do ensaio em confinamento, sem contato com pastagens afim de evitar infecções parasitárias. No início do ensaio os animais estavam com média de  $15 \pm 2,9$  kg de peso vivo, e foram utilizados 16 animais, 8 fêmeas e 8 machos castrados. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com dois tratamentos (Dieta Controle, DC e Dieta Teste, DT) e oito repetições por grupo.

### **4.2.2 Manejo e tratamentos experimentais**

Os animais foram mantidos em galpão com acesso a luminosidade e ventilação, alojados em baias individuais medindo aproximadamente 1,5 x 1,1 m durante a avaliação de desempenho animal, alojados em gaiolas metabólicas medindo 0,8 x 1,20 metros durante o ensaio de digestibilidade e alojados em gaiolas respirométricas medindo aproximadamente 1,60 x 0,72 x 1,56 m durante o ensaio de quantificação de metano entérico.

Em todos os períodos os animais tiveram livre acesso a água e sal mineral. A alimentação foi fornecida em dois períodos, pela manhã às 8:00 horas e à tarde às 16:00 horas em proporções iguais (50:50).

As dietas utilizadas na alimentação foram compostas por feno e concentrado na proporção 60:40, em que a dieta controle (DC) foi composta por 60% de feno de Tifton-85 (*Cynodon ssp.*), 28% de milho e 12% farelo de soja e a dieta teste (DT) tinha em sua composição 60% de feno de Tifton-85 (*Cynodon ssp.*), 22% de resíduo de feijão e 18% de casca de soja; ambas as dietas foram formuladas para serem isoproteicas (Tabela 4.1), seguindo recomendações do NRC (2007) para ovinos em crescimento.

**Tabela 4.1** - Composição centesimal e bromatológica ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) das dietas experimentais

Composição centesimal (%)						
Ingrediente	Feno	MT	FS	RF	CS	Total
DC	60	28	12	-	-	100
DT	60	-	-	22	18	100
Composição bromatológica ( $\text{g kg MS}^{-1}$ )						
	MS*	MO	PB	FDN	FDA	LIG
DC	963	935	172	522	336	78
DT	965	937	160	628	423	82

\*g/Kg MF; MT = milho triturado; FS = farelo de soja; RF = resíduo de feijão; CS = casca de soja; MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; LIG = lignina.

No preparo das dietas o feno foi triturado em triturador de feno (Charger 15.0 – Mexon Máquinas Agrícolas, Cajuru -SP, Brasil) e passado em um triturador menor (Nogueira DPM2 – Nogueira S/A Máquinas Agrícolas, São João da Boa Vista – SP, Brasil), o milho foi moído utilizando um triturador (Nogueira DPM2) sem peneira, o resíduo de feijão teve o mesmo preparo que o do milho e o farelo e a casca de soja foram utilizados sem processamentos prévios de tritura mecânica.

A mistura dos ingredientes foi feita em misturador de ração (M.A.P. Equipamentos Agropecuários e Industriais Ltda, Londrina – PR, Brasil) por 20 minutos e armazenados em bombas plásticas em local seco e arejado sem exposição solar. Este processo foi feito em duas etapas, uma para a DC e outra para a DT.

Os animais foram divididos em dois grupos, grupo DC (n = 8, 4 fêmeas e 4 machos) e grupo DT (n = 8, 4 fêmeas e 4 machos) e colocados aleatoriamente e individualmente nas respectivas gaiolas em cada período experimental (desempenho, digestibilidade e mensuração do metano entérico).

#### **4.2.4 Desempenho animal**

A avaliação de desempenho animal teve duração de 55 dias, sendo 10 dias de adaptação e 45 dias de coleta de dados. As baias dos animais ficaram alojadas em galpão fechado com paredes laterais e coberto, porém com entradas de ar e luminosidade. A temperatura média durante o período experimental foi de 26 °C, com média mínima de 20°C e média máxima de 31°C. Foram coletados dados de peso vivo semanalmente, consumo de alimento e água mensurados diariamente e amostrados.

As coletas de amostras de sobras durante o ensaio de desempenho animal foram realizadas 3 vezes por semana para cada animal, formando um pool por animal por semana, portanto foram obtidos ao final do ensaio 6 amostras por animal, sendo uma para cada semana de ensaio. Todas as amostras foram armazenadas em freezer (-20°C) e posteriormente ao término do período de avaliação, descongeladas a temperatura ambiente e retirado aproximadamente 16% de cada semana/animal para formação de um pool de 300 g referentes as 6 semanas.

O pool de cada animal foi seco a 60°C em estufa de circulação de ar forçada (MA 037 – Marconi) para determinação de umidade e posteriormente moído a 1 mm em moinho tipo Wiley para a preparação das determinações.

O alimento ofertado foi amostrado 2 vezes a cada nova batida de ração, o volume total de ração necessário para o ensaio inteiro de cada tratamento foi batido em 2 partes devido a capacidade do misturador, portanto obtivemos 4 amostras de ofertado por tratamento, estas também foram secas a 60°C em estufa de circulação de ar forçada (MA 037 – Marconi, Piracicaba – SP, Brasil) e moídas a 1mm.

#### **4.2.5 Avaliação de digestibilidade aparente dos nutrientes (metabolismo animal)**

A avaliação de digestibilidade aparente dos nutrientes ocorreu após o término do ensaio de desempenho. Foi conduzido em gaiolas metabólicas individuais, onde os animais foram mantidos por sete dias, dois dias para adaptação e cinco dias para coleta, a uma temperatura média de 26°C, com média mínima de 20°C e média máxima de 31°C.

Nesta avaliação foram coletadas amostras de sobras, fezes e urina (10% do volume total) diariamente durante cinco dias. Um mesmo saco para cada animal foi utilizado durante todo o período, totalizando um pool de cinco dias para cada animal e para cada tipo de amostra (sobras, n = 16; fezes, n = 16; urina, n = 16). Todas as amostras foram armazenadas em freezer (-20°C) e posteriormente ao término da avaliação, as amostras de sobras e fezes foram descongeladas a

temperatura ambiente, secas em estufa de ar forçada a 60°C por 72 horas para determinação da umidade, e moídas para passar em peneira de 1mm em moinho tipo Wiley para as demais determinações.

Foram realizadas as seguintes determinações para as amostras de sobras e fezes: matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG). A digestibilidade destes nutrientes foi determinada de acordo com a equação (2) descrita por (McDONALD et al., 2010).

$$D.A = (C - E) \div C * 100 \quad (2)$$

Em que: D.A = digestibilidade aparente do nutriente avaliado (%); C = consumo do nutriente; E = excreção do nutriente nas fezes.

#### **4.2.5.1 Balanço de nitrogênio e estimativa da síntese de proteína microbiana por derivados de purina**

As amostras de urina foram descongeladas para realização das determinações de balanço de nitrogênio total (BN) e derivados de purina (DP).

O cálculo de balanço de nitrogênio foi realizado após determinação do nitrogênio total (AOAC, 2011) presente nas amostras de ofertado e excretas (fezes e urina) e seguiu a equação descrita abaixo (3):

$$N \text{ retido (g dia}^{-1}\text{)} = N \text{ ingerido} - N \text{ excretado} \quad (3)$$

Em que: N retido = quantidade de nitrogênio retido pelo animal (absorvido); N ingerido = quantidade de nitrogênio consumido pelo animal e N excretado = quantidade de nitrogênio excretado na urina e nas fezes.

Para a quantificação de derivados de purina na urina, foi-se utilizado o método de extração por cromatografia líquida de alta eficiência como descrito por Abdalla Filho et al. (2017) e de quantificação descrito por Makkar e Chen (2004). As amostras de urina foram descongeladas, homogeneizadas e amostrada uma alíquota para extração dos derivados de purina, os quais foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência.

O cromatógrafo utilizado foi o Agilent modelo 1100(Santa Clara, Estados Unidos) com coluna Zorbax ODS C18 e detector de arranjo de fotodiodos (Diode Array Detector – DAD).

O nitrogênio microbiano (NM) absorvido no intestino delgado foi calculado de acordo com Makkar e Chen (2004) na equação (4).

$$Nm \text{ (g N dia}^{-1}\text{)} = (\text{MDP} * \text{Teor de Npurinas}) / (\text{x} * \text{Dpm} * 10000) \quad (4)$$

Em que: Nm = nitrogênio microbiano; MDP = metabólito derivado de purinas (mmol/dia/Kg<sup>0,75</sup>); Teor de Npurinas = Teor de nitrogênio em purinas (70 mg N mmol<sup>-1</sup>); x = constante da razão entre nitrogênio de purinas para nitrogênio total do complexo microorganismos do rúmen (0,1160); Dpm = digestibilidade das purinas microbianas (0,83).

#### 4.2.6 Quantificação das emissões de metano entérico

O ensaio de quantificação de metano entérico teve duração de 6 dias no qual os animais foram divididos em dois lotes aleatoriamente, sendo realizados 3 dias de avaliações, onde 1 dia foi de adaptação e 2 dias de coleta de dados. Esta avaliação foi realizada sequencialmente a avaliação de digestibilidade aparente. As gaiolas dos animais eram metálicas (160 x 72 x 156 cm – volume 2,05 m<sup>3</sup>) e semiabertas, a temperatura média durante o período experimental foi de 26 °C, com média mínima de 20 °C e média máxima de 31 °C, umidade média de 75,5% ±4,8 e a altitude do local do ensaio era caracterizada por 546 metros e 94 psi de pressão. As mensurações e coletas de gases foram feitas em um total de 44 horas (22 horas por dia).

Foram realizadas mensurações da temperatura interna das gaiolas (termômetro interno fixo) e do fluxo de saída de ar, utilizando um anemômetro, durante 22 horas, nos horários: 7h, 9h, 12h, 15h e 19h. As gaiolas possuíam conexões com uma bomba de exaustão, responsável pela remoção dos gases do interior das gaiolas através de um fluxo de aproximadamente 127 ± 17,9 L min<sup>-1</sup>. Os gases retirados foram amostrados por 22 horas em balões metalizados através de uma bomba peristáltica. Ao final de cada coleta foram homogeneizados e amostrados, em triplicata, 160 mL dos gases presentes dentro de cada balão em garrafas com vácuo, após este procedimento foram sub amostradas em tubos de ensaio com vácuo cerca de 10 mL dos gases.

As amostras de gases do tubo de ensaio foram levadas para determinação da concentração de CH<sub>4</sub> entérico por cromatografia gasosa (GC-2010, Shimadzu) com detector por ionização de chama (FID) e coluna micro empacotada Shincarbon ST 100/120. O CH<sub>4</sub> foi calculado após determinações da curva de calibração com gás CH<sub>4</sub> com 99,5% de pureza.

O volume de metano foi mensurado de acordo com as condições locais de temperatura e pressão convertidas às condições normais de temperatura e pressão (CNTP), em que a pressão é igual a 1 atm e a temperatura é 0°C, utilizando a equação (5):

$$\text{CH}_4 \text{ (L/d)} = \text{Volume de gás retirado da câmara} \times [\text{CH}_4] \text{ no gás amostrado} \quad (5)$$

#### 4.2.7 Parâmetros de fermentação ruminal

No último dia de ensaio de quantificação das emissões de metano entérico foi coletado através de sonda esofágica o líquido ruminal dos animais experimentais. Cada amostra foi dividida em 2 alíquotas e armazenadas em freezer -20°C até a realização da determinação dos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>). Anteriormente ao início das análises as amostras foram descongeladas em temperatura ambiente, homogeneizadas e colhida alíquotas de 1 e 1,6 mL para determinação de N-NH<sub>3</sub> e AGCC respectivamente.

A concentração de AGCC foi quantificada de acordo com metodologia descrita por Palmquist e Conrad (1971) com adaptações de Lima et al. (2018), utilizando cromatografia gasosa (CG) (Shimadzu, modelo CG2014, Quioto, Japão) e detecção por ionização de chama em coluna empacotada de aço inox (Supelco, modelo 11965, Bellefonte, USA). O N-NH<sub>3</sub> foi determinado por método de micro-Kjeldahl, com destilação a vapor utilizando solução de tetraborato 5% (10mL) para reação e condensação do N-NH<sub>3</sub>, ácido bórico como solução receptora e ácido sulfúrico (0,01 N) como determinador através da reação calorimétrica do ácido bórico com o ácido sulfúrico (PRESTON, 1995).

#### 4.2.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey utilizando o software estatístico SAS® versão 9.4 (Statistical Analysis System Institute, Cary - NC, USA), conforme o modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + S_j + (T \times S)_{ij} + e_{ijk} \quad (5)$$

Onde Y<sub>ijk</sub> = variável dependente;  $\mu$  = média geral; T<sub>i</sub> = efeito fixo de dieta; S<sub>j</sub> = efeito fixo de sexo; T<sub>x</sub>S = efeito fixo de interação entre dieta e sexo; e = erro experimental.

## 4.3 Resultados e Discussão

### 4.3.1 Desempenho animal

Os parâmetros de desempenho animal estão apresentados na Tabela 4.2, em que não foi observado diferença ( $P > 0,05$ ) para consumo de matéria seca total (CMSt), consumo de matéria seca diário (CMSd), ganho de peso total (GMPT), peso inicial e peso final, porém a conversão alimentar (C.A) foi diferente ( $P = 0,046$ ) entre DC e DT.

A pesar do consumo de matéria seca e o ganho de peso não terem diferido entres os tratamentos, houve diferença estatística ( $P < 0,05$ ) quando comparando a C.A; isso pode ser justificado pela qualidade da fibra do concentrado da DT e sua densidade energética.

Magalhães et al. (2008) relataram redução do desempenho animal com a substituição de até 39% de farelo de soja por resíduo de feijão, porém no presente experimento não houve efeito estatístico para este fator ( $P = 0,117$ ). Não houve influência do sexo nos parâmetros avaliados, e também não houve interação entre tratamento e sexo.

**Tabela 4.2** - Consumo de alimentos e ganho de peso de ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle

Parâmetros	Tratamentos		E.P.M	Valor de P
	Dieta Controle	Dieta Teste		
CMSt (kg)	39,8	40,5	1,70	0,784
CMSd (g MS d <sup>-1</sup> )	866	880	37,2	0,787
GMPT (kg)	8,2	7,2	0,43	0,117
Peso inicial (kg)	16,9	16,1	2,32	0,661
Peso final (kg)	24,3	24,1	0,16	0,916
C.A	5,0 <sup>b</sup>	5,7 <sup>a</sup>	0,25	0,046

CMSt = consumo de matéria seca total; CMSd = consumo de matéria seca diário; GMPT = ganho de peso total; GMPS = ganho de peso semanal; C.A = conversão alimentar; E.P.M = erro padrão da média. Letras diferentes nas linhas representa significância estatística a 5% pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

### 4.3.2 Ensaio de digestibilidade aparente dos nutrientes

O consumo diário (g dia<sup>-1</sup>) e digestibilidade aparente dos nutrientes (%) são apresentadas na Tabela 4.3. O tratamento alterou o consumo dos nutrientes ( $P < 0,05$ ), sendo maior para a DT. A digestibilidade dos nutrientes foi afetada pela troca dos ingredientes das dietas, sendo que a DT apresentou maior digestibilidade nos parâmetros MO, FDN e FDA.

O sexo dos animais não influenciou ( $P > 0,05$ ) o consumo nem a digestibilidade dos nutrientes e também não foi observado efeito de interação entre tratamento e sexo ( $P > 0,05$ ).

Ribeiro et al. (2018) obtiveram bons resultados em termos de ingestão com a utilização do resíduo de feijão e Rezende et al. (2018) também não observaram alteração no comportamento ingestivo quando fornecido casca de soja em substituição ao grão de milho, enquanto nesta pesquisa com o uso destes dois ingredientes, em substituição ao grão de milho e farelo de soja, houve aumento na ingestão dos nutrientes no tratamento da DT.

**Tabela 4.3** - Consumo e digestibilidade aparente dos nutrientes em ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle

Parâmetros	Tratamentos		E.P.M	Valor de P
	Dieta Controle	Dieta Teste		
	Consumo (g dia <sup>-1</sup> )			
Matéria seca	839 <sup>b</sup>	969 <sup>a</sup>	33,7	0,018
Matéria orgânica	902 <sup>b</sup>	995 <sup>a</sup>	28,3	0,038
Proteína bruta	172 <sup>b</sup>	204 <sup>a</sup>	5,71	0,002
Fibra detergente neutro	506 <sup>b</sup>	679 <sup>a</sup>	16,9	<0,001
Fibra detergente ácido	326 <sup>b</sup>	457 <sup>a</sup>	11,1	<0,001
	Digestibilidade aparente (%)			
Matéria seca	53,1	57,1	1,85	0,157
Matéria orgânica	63,4 <sup>b</sup>	65,5 <sup>a</sup>	0,65	0,035
Proteína bruta	66,4	69,5	1,12	0,645
Fibra em detergente neutro	55,1 <sup>b</sup>	63,2 <sup>a</sup>	0,98	<0,001
Fibra em detergente ácido	51,6 <sup>b</sup>	60,7 <sup>a</sup>	1,86	0,005

E.P.M = erro padrão da média; Letras diferentes nas linhas representa significância estatística a 5% pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A regulação de consumo em dietas com menor densidade energética tende a ser por enchimento do trato gastrointestinal (WALDO, 1986), mas apesar da dieta DT possuir alto teor de fibra, advindo a grande quantidade da casca de soja, esta é de alta degradabilidade, podendo ter aumentado a taxa de passagem da DT e favorecido o aumento do consumo. Um aumento no consumo também foi observado por Ludden et al. (1995) utilizando casca de soja para bovinos de corte; os autores relataram que esse aumento está relacionado à busca do animal em satisfazer seu requerimento energético.

De acordo com Castro et al. (2016) o resíduo de feijão pode levar a uma diminuição no consumo devido a fatores antinutricionais; isto não foi observado neste trabalho, possivelmente pelo tamanho da partícula que foi ofertada ao animal e a interação com a casca de soja. Como não foi observado redução do consumo pelos animais, não foi investigada a presença dos fatores antinutricionais mencionados pelos autores

Magalhães et al. (2008) trabalhando com resíduo de feijão em substituição ao farelo de soja não observaram alterações da digestibilidade de MS, MO e FDN; no presente trabalho também não se observou alteração na digestibilidade da MS, porém obteve-se um aumento na digestibilidade da MO, FDN e FDA.

A digestibilidade da PB (Tabela 4.3) não foi afetada pela mudança dos ingredientes na dieta, contrapondo Magalhães et al. (2008) que observaram uma redução na digestibilidade da PB quando se fez a substituição do farelo de soja pelo resíduo de feijão; provavelmente não foi afetada a digestibilidade da PB do tratamento DT pela interação resíduo de feijão e casca de soja.

#### 4.3.3 Balanço de nitrogênio e estimativa da síntese de proteína microbiana por derivados de purina

A ingestão de nitrogênio entre as dietas foi diferente ( $P < 0,05$ ), assim como o nitrogênio excretado via urina, o nitrogênio retido e a relação nitrogênio excretado: nitrogênio ingerido ( $P < 0,05$ ) (Tabela 4.4), em que a utilização dos subprodutos na dieta aumentou o nitrogênio retido, sendo diretamente proporcional ao nitrogênio ingerido.

**Tabela 4.4** - Balanço de nitrogênio de ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle

Parâmetros (g dia <sup>-1</sup> )	Tratamentos		E.P.M	Valor de P
	Dieta Controle	Dieta Teste		
N ingerido	25,6 <sup>b</sup>	30,4 <sup>a</sup>	0,84	0,002
N excretado Urina	11,5 <sup>a</sup>	8,4 <sup>b</sup>	0,95	0,044
N excretado Fezes	8,9	9,8	0,47	0,242
N retido	5,0 <sup>b</sup>	12,4 <sup>a</sup>	0,90	<0,001
Nretido/Ningerido	0,19 <sup>b</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,032	<0,001

E.P.M = erro padrão da média; T\*S = interação entra tratamento e sexo; Letras diferentes nas linhas representa significância estatística a 5% pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Ladeira et al. (1999) ao fornecer dietas com diferentes teores de PB observaram uma maior excreção de nitrogênio via urinária, concluindo que este efeito está relacionado à quantidade de PB e rapidez com que essa PB é hidrolisada no rúmen, liberando amônia qual é ciclada pelo metabolismo do animal e seu excesso excretado via urina; isto pode ser aplicado a este estudo apesar das dietas terem sido isoproteicas, e justificar a maior excreção de nitrogênio via urina para o tratamento DC, pois o farelo de soja possui proteína de rápida degradação ruminal (RODRIGUEZ et al., 2003).

O teor de nitrogênio urinário é explicado pelo teor de PB da ração, pela fonte de N utilizada, pelo teor de proteína degradável no rúmen e pela presença do carboidrato fermentável (ZEOULA et al., 2006).

A excreção urinária de derivados de purina (DP), proteína microbiana absorvida (PM) e nitrogênio microbiano fornecido (NM) não apresentaram diferença estatística ( $P > 0,05$ ) e não apresentaram efeito para sexo e interação tratamento e sexo ( $P > 0,05$ ) (Tabela 4.5).

**Tabela 4.5** - Síntese microbiana por derivados de purina em ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle

Parâmetros	Tratamentos		E.P.M	Valor de P
	Dieta Controle	Dieta Teste		
DP (mmol dia <sup>-1</sup> )	49,1	65,3	6,71	0,107
PM absorvida (mmol dia <sup>-1</sup> Kg <sup>0,75</sup> )	4,0	4,1	0,09	0,597
NM fornecido (g N dia <sup>-1</sup> )	2,88	2,97	0,074	0,431

DP = derivados de purina; PM absorvida = proteína microbiana absorvida; Nt fornecido = nitrogênio total fornecido (nitrogênio da dieta + nitrogênio microbiano); NM fornecido = nitrogênio microbiano fornecido; % NM fornecido = % de nitrogênio microbiano fornecido em relação ao nitrogênio total; E.P.M = erro padrão da média; Letras diferentes nas linhas representa significância estatística a 5% pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A síntese de microrganismos determina a disponibilidade de proteína microbiana produzida no rúmen (THIRUMALESH; KRISHNAMOORTHY, 2013), e a eficiência de degradação da dieta. A ausência de significância para estes parâmetros nos tratamentos DC e DT demonstra que a substituição dos ingredientes tradicionais do concentrado da dieta DC (milho e farelo de soja) pelos subprodutos agroindustriais resíduo de feijão e casca de soja na dieta DT não afetarem o crescimento microbiano e o fornecimento de nitrogênio advindo destes microrganismos.

#### 4.3.4 Quantificação das emissões de metano entérico

As médias da produção de metano (CH<sub>4</sub>) em L dia<sup>-1</sup>, CH<sub>4</sub> em L kg<sup>-1</sup> MSi e CH<sub>4</sub> em L kg<sup>-1</sup> MOi não apresentaram influencia em relação à troca dos ingredientes da dieta, não apresentando efeito ( $P > 0,05$ ), conforme observado na tabela 4.6. Também não houve efeito do sexo e interação tratamento e sexo.

Este resultado avalia a eficiência energética dos ingredientes da dieta e pelo fator ambiental demonstra ser a utilização do resíduo de feijão e casca de soja uma fonte com emissões similares de CH<sub>4</sub> quando comparada a dieta controle, levando a utilização destes subprodutos ser uma fonte alimentar com apelo sustentável.

**Tabela 4.6** - Emissões de metano entérico por ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindustriais e dieta controle

Parâmetros	Tratamentos		E.M.P	Valor de P
	Dieta Controle	Dieta Teste		
CH <sub>4</sub> (L dia <sup>-1</sup> )	6,9	8,5	0,81	0,198
CH <sub>4</sub> (L kg <sup>-1</sup> MSi)	8,3	8,8	0,78	0,707
CH <sub>4</sub> (L kg <sup>-1</sup> MOi)	12,3	13,0	1,19	0,673

CH<sub>4</sub> = metano; MSi = matéria seca ingerida; MOi = matéria orgânica ingerida. Letras diferentes nas linhas representa significância estatística a 5% pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

#### 4.3.5 Parâmetros de fermentação ruminal

Na Tabela 4.7 foi observado nos parâmetros fermentativos diferenças entre as médias dos tratamentos ( $P < 0,05$ ) para o ácido graxo de cadeia curta total (AGCCt), ácido acético (C2), ácido propiônico (C3), sendo maior para o tratamento DC.

**Tabela 4.7** - Parâmetros fermentativos de ovinos alimentados com dieta a base de subprodutos agroindústrias e dieta controle

Parâmetros	Tratamentos		E.M.P	Valor de P
	Dieta Controle	Dieta Teste		
AGCCt (mmol L <sup>-1</sup> )	106 <sup>a</sup>	91 <sup>b</sup>	4,11	0,018
C2 (mmol L <sup>-1</sup> )	69,2 <sup>a</sup>	59,5 <sup>b</sup>	2,47	0,023
C3 (mmol L <sup>-1</sup> )	21,4 <sup>a</sup>	16,6 <sup>b</sup>	1,35	0,023
Relação C2:C3	3,27	3,62	0,13	0,087
NNH <sub>3</sub> (mg dL <sup>-1</sup> )	29,9	23,7	3,14	0,659

Relação C2:C3 = relação acetato:propionato; E.M.P = erro padrão da média; T\*S = interação entre tratamento e sexo; Letras diferentes nas linhas representa significância estatística a 5% pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A substituição do milho e farelo de soja pelo resíduo de feijão e casca de soja na dieta diminuiu a produção total de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e consequentemente a produção de acetato (C2) e propionato (C3).

A produção de AGCC está diretamente relacionada com a disponibilidade de energia para os microrganismos do rúmen, podendo ser este um fator limitante para a produção de AGCC. Os valores para ambas as dietas estão dentro do preconizado por Berchielli, Pires e Oliveira (2011), sendo 54 a 74% para o ácido acético e 16 a 27% para o ácido propiônico.

#### 4.4 Conclusão

Pode-se concluir a viabilidade de utilizar subprodutos agroindustriais como o resíduo de feijão e casca de soja em substituição às fontes tradicionais de energia e proteína (milho e farelo de soja) nas proporções descritas neste trabalho sem afetar o desempenho animal, o consumo de nutrientes e a fermentação ruminal.

#### Referências

ABDALLA, A. L. et al. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 260-258, 2008.

ABDALLA FILHO, A. L. et al. Performance, metabolic variables and enteric methane production of Santa Inês hair lambs fed *Orbignya phalerata* and *Combretum leprosum*. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 101, n. 3, p. 457–465, 2017.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. Gaithersburg: AOAC International, 2011.

AJILA, C. M. et al. Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. **Critical Reviews in Biotechnology**, London, v. 32, n. 4, p. 382–400, 2012.

ANDRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição animal: bases e os fundamentos da nutrição animal**. 4. ed. Rio de Janeiro: Nobel, 1990. 395 p.

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2011. 616 p.

CARRO, M. D. et al. Urinary excretion of purine derivatives, microbial protein synthesis, nitrogen use, and ruminal fermentation in sheep and goats fed diets of different quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 11, p. 3963–3972, 2012.

CASTRO, W. J. R. et al. Inclusão de diferentes níveis do resíduo de feijão nas rações de ovinos sobre o consumo e digestibilidade dos nutrientes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 369-380, 2016.

CHEN, X. B.; GOMES, M. J. **Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives**. An overview of the technical details. Aberdeen: International Feed Research Unit, 1992. 21 p.

EISLER, M. C. et al. Agriculture: Steps to sustainable livestock. **Nature**, London, v. 507, n. 7490, p. 32–34, 2014.

GERBER, P. J. et al. Environmental impacts of beef production: Review of challenges and perspectives for durability. **Meat Science**, Oxford, v. 109, p. 2–12, 2015.

LADEIRA, M. M. et al. Concentrado, eficiência microbiana, concentração de amônia e pH ruminal e perdas nitrogenadas endógenas, em novilhos Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 404-311, 1999.

LIMA, P. M. T. et al. Nutritional evaluation of the legume *Macrotyloma axillare* using *in vitro* and *in vivo* bioassays in sheep. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, Berlin, v. 102, n. 2, p. e669–e676, 2018.

LUDDEN, P. A.; CECAVA, M. J.; HENDRIX, K. S. The value of soybean hulls as a replacement for corn in beef cattle diets formulated with or without added fat. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, p. 2706-2711, 1995.

MAGALHÃES, A. L. R. et al. Resíduo proveniente do beneficiamento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em rações para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição do leite e eficiência de alimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 529–537, 2008.

MAKKAR, H. P. S.; CHEN, X. B. **Estimation of microbial protein supply in ruminants using urinary purine derivatives**. Heidelberg: Springer, 2004. 212 p.

MCDONALD, P. et al. **Animal nutrition**. Harlow: Pearson, 2010. 692 p.

MOTTET, A. et al. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. **Global Food Security**, Amsterdam, v. 14, p. 1–8, 2017.

MOTTET, A. et al. Review: Domestic herbivores and food security: Current contribution, trends and challenges for a sustainable development. **Animal**, Cambridge, v. 12, n. 2, p. 188-198, 2018.

PALMQUIST, D. L.; CONRAD, H. R. Origin of plasma fatty acids in lactating cows fed high grain or high fat diets. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 54, n. 7, p. 1025–33, 1971.

PRESTON, T. R. **Tropical animal feeding: a manual for research workers**. Rome: FAO, 1995. 126 p.

REZENDE, P. L. DE P. et al. Digestibility and feeding behavior of cattle fed soybean hulls to replace corn in high concentrate diets. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 1, p. 363-372, 2018.

RIBEIRO, M. D. et al. Bean coproduct as source of protein in dairy cows diets. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 4, p. 985–995, 2018.

RODRIGUEZ, N. M. et al. Concentrados protéicos para bovinos: 2. Digestão pós-ruminal da matéria seca e da proteína. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 55, n. 3, p. 324–333, 2003.

RÖÖS, E. et al. Limiting livestock production to pasture and by-products in a search for sustainable diets. **Food Policy**, Amsterdam, v. 58, p. 1-13, 2016.

THIRUMALESH, T.; KRISHNAMOORTHY, U. Rumen microbial biomass synthesis and its importance in ruminant production. **International Journal of Livestock Research**, Rishikesh, India, v. 3, n. 2, p. 5-26, 2013.

WALDO, D. R. Symposium: forage utilization by the lactating cow. Effect of forage quality on intake and forage concentrate interactions. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 69, p. 617-631, 1986.

ZEOULA, L. M. et al. Digestibilidade e balanço de nitrogênio de rações com diferentes teores de proteína degradável no rúmen e milho moído como fonte de amido em ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 2179–2186, 2006.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os subprodutos e dietas testados demonstraram ser fontes promissoras de nutrientes para a dieta de ruminantes, sem interferir nos parâmetros avaliados.

A substituição do milho e farelo de soja por resíduo de feijão e casca de soja demonstrou grande potencial na dieta dos ruminantes, mantendo o desempenho satisfatório dos animais, de forma sustentável.

Pesquisas futuras são necessárias para testar diferentes níveis de inclusão dos outros subprodutos avaliados neste trabalho para garantir o sucesso de dietas com diferentes formulações.

É importante salientar que o uso destes subprodutos não é comumente utilizado na alimentação humana, uma vez que não estão dentro dos padrões de qualidade requeridos e possuem grande teor de fibra, não sendo interessante ao consumo. Dar utilidade a estes subprodutos pode agregar valor a esses materiais, reduzir custos com alimentação na produção animal e contribuir para a sustentabilidade do agronegócio.