

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Agrárias
Programa de Pós-graduação em Produção Animal

LORENA FERNANDES COSTA

**METABOLISMO ENERGÉTICO DE CORDEIROS INOCULADOS COM FUNGOS
CELULOLÍTICOS E ALIMENTADOS COM TORTA DE MACAÚBA**

Montes Claros

2024

LORENA FERNANDES COSTA

**METABOLISMO ENERGÉTICO DE CORDEIROS INOCULADOS COM FUNGOS
CELULOLÍTICOS E ALIMENTADOS COM TORTA DE MACAÚBA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em
Produção Animal da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre em Produção Animal.

Área de Concentração: Produção animal.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Alimentação de
ruminantes.

Orientadora: Luciana Castro Geraseev

Co-orientador: Eduardo Robson Duarte

Montes Claros

2024

Costa, Lorena Fernandes.

C837m
2024 Metabolismo energético de cordeiros inoculados com fungos celulolíticos e alimentados com torta de macaúba [manuscrito] / Lorena Fernandes Costa. Montes Claros, 2024.
51 f.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Animal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Luciana Castro Geraseev.

Banca examinadora: Luciana Castro Geraseev, Eduardo Robson Duarte, Rodrigo Augusto Cortez Passetti, Elzania Sales Pereira.

Inclui referências: f. 22-27; 46-50.

1. Ovino. 2. Metabolismo. 3. Produção animal. I. Geraseev, Luciana Castro. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 636.32/38



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Agrárias
Colegiado de Pós-Graduação em Produção Animal

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 04 dias do mês de abril de 2024 às 8:00 horas, sob a Presidência da Professora Luciana Castro Geraseev, D. Sc. (Orientadora – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Eduardo Robson Duarte, D. Sc. (Coorientador – UFMG/ICA), Elzania Sales Pereira, D. Sc. (Universidade Federal do Ceará) e do Pós-Doutorando Rodrigo Augusto Cortez Passetti, D. Sc. (UFMG/ICA), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de defesa de dissertação de Lorena Fernandes Costa, aluna do Curso de Mestrado em Produção Animal. O resultado da defesa de dissertação intitulada **“METABOLISMO ENERGÉTICO DE CORDEIROS INOCULADOS COM FUNGOS CELULOLITICOS E ALIMENTADOS COM TORTA DE MACAÚBA ”**, sendo a aluna considerada **APROVADA**. E, para constar, eu, Professora Luciana Castro Geraseev, Presidente da Banca, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 53 do regulamento e da resolução 05/2016 do Curso de Mestrado em Produção Animal.

Montes Claros, 04 de abril de 2024.

Documento assinado digitalmente
LUCIANA CASTRO GERASEEV
Data: 03/04/2024 10:11:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Luciana Castro Geraseev
Orientadora

Documento assinado digitalmente
RODRIGO AUGUSTO CORTEZ PASSETTI
Data: 03/04/2024 11:11:28-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Rodrigo Augusto Cortez Passetti
Membro

Documento assinado digitalmente
EDUARDO ROBSON DUARTE
Data: 03/04/2024 20:30:53-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Eduardo Robson Duarte
Coorientador

Documento assinado digitalmente
ELZANIA SALES PEREIRA
Data: 03/04/2024 14:37:29-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Elzania Sales Pereira
Membro

Dedico essa, assim como todas minhas conquistas, primeiramente a Deus, aos meus pais, Veneranda e Antonio, minha irmã Larissa e meu namorado Dheison.

Agradecimentos

A Deus pela vida e saúde, pela força, por guiar e iluminar o meu caminho sempre.

A minha família, por sempre acreditarem em minha capacidade de realizar meus sonhos, especialmente meus pais, Veneranda e Antonio Vitor e minha irmã, Larissa.

Ao meu namorado Dheison, pela paciência, companheirismo e por não medir esforços para me ajudar em todas as fases do mestrado, especialmente durante o experimento. Essa conquista é nossa.

A minha orientadora Luciana Geraseev, pela confiança e amizade. Por me guiar durante todo processo e não medir esforços para concluirmos esse trabalho.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, sempre apoiando em todos os momentos, especialmente Ellen, Hemille e Idael. Vocês tornaram essa jornada mais fácil.

Aos integrantes do GENA, pela ajuda, suporte e companheirismo durante todo o trabalho.

Ao Sérgio, por todo auxílio nas análises de laboratório, pela paciência e carinho que sempre teve durante esse processo.

Ao professor Eduardo Robson, ao Valdo e a Suze por toda ajuda na parte microbiológica.

Ao João Braga e Neguinho por fornecerem os animais para o experimento.

Aos funcionários da fazenda experimental do Instituto de Ciências Agrárias/UFMG por toda ajuda e disponibilidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio e financiamento ao projeto de pesquisa.

“Ter fé é acreditar naquilo que você não vê; a recompensa por essa fé é ver aquilo em que você acredita.”

Santo Agostinho

RESUMO

O objetivo com este estudo foi avaliar o consumo, digestibilidade dos nutrientes e metabolismo energético em cordeiros alimentados com torta de macaúba aditivada ou não com fungos autóctones celulolíticos. Foram avaliados 18 cordeiros, mestiços, machos não castrados, distribuídos em três grupos experimentais: dieta controle (CTRL), dieta com torta de macaúba (TM) e dieta com torta de macaúba e fungos autóctones celulolíticos (TM+FAC). Os animais foram adaptados as condições experimentais do ensaio de digestibilidade por 15 dias, quando permaneceram em gaiolas metabólicas e foram alimentados duas vezes ao dia. Após a adaptação, as dietas, sobras, fezes e urina foram mensuradas e amostradas diariamente, por cinco dias, para determinação do consumo e digestibilidade da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e carboidratos não fibrosos (CNF). Posteriormente foi realizado o ensaio de respirometria, no qual os animais foram transferidos de forma individual para uma câmara respirométrica de pequenos ruminantes. Foram mensurados o consumo de oxigênio e produção de gás carbônico e metano durante 20 horas/animal, sendo a mensuração feita com os animais alimentados e posteriormente em jejum. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Não houve diferença no consumo de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e matéria mineral (MM) entre os grupos de animais avaliados, sendo as médias 1258,43, 256,75 e 101,87 g/dia, respectivamente. O consumo de EE, FDN e FDA foram maiores ($P < 0,05$) nos animais que receberam a dieta contendo a torta de macaúba, com valores respectivos de 61,0, 553,34 e 355,20 g/dia. Os animais que receberam a dieta CTRL tiveram maior consumo ($P < 0,05$) de carboidratos não fibrosos (CNF) (539,44 g/dia). Nos animais alimentados com a dieta CTRL a digestibilidade da MS (69,20%) e FDN (59,51%) foram maiores ($P < 0,05$) que os demais grupos (média de 59,51% e 43,59%, respectivamente). A energia digestível ingerida foi menor nos grupos com TM e TM+FAC (280,34 e 257,04 kcal/kg^{0.75}PV/dia) que CTRL (306,80 kcal/kg^{0.75}PV/dia), em razão da maior porcentagem de perda de energia nas fezes. O consumo de energia metabolizável e energia líquida grupos avaliados foi semelhante entre os grupos de animais, sendo as médias 245,51 e 179,85 kcal/kg^{0.75}PV/dia, respectivamente. Conclui-se que a inclusão da torta de macaúba na dieta reduz a digestibilidade da dieta, entretanto não altera o consumo e o aproveitamento energético dos animais, além disso, o uso do aditivo fúngico não resultou em melhora no aproveitamento da dieta.

Palavras-chave: Aditivo microbiano. Coproduto. Ovinos. Respirometria.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the intake, nutrient digestibility, and energy metabolism in lambs fed with non-additive or additive macauba cake with autochthonous cellulolytic fungi. Eighteen crossbred, non-castrated male lambs were evaluated and distributed into three experimental groups: control diet (CTRL), diet with macauba cake (MC), and diet with macauba cake and autochthonous cellulolytic fungi (TM+ACF). The animals were adapted to the experimental conditions of the digestibility trial for 15 days, during which they remained in metabolic cages and were fed twice a day. After adaptation, diets, leftovers, feces, and urine were measured and sampled daily for five days to determine the intake and digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and non-fiber carbohydrates (NFC). Subsequently, a respirometry trial was conducted, during which the animals were individually transferred to a small ruminant respirometric chamber. Oxygen consumption and carbon dioxide and methane production were measured for 20 hours/animal, with measurements taken while the animals were fed and subsequently fasting. Data were subjected to analysis of variance, and means were compared by Tukey's test at a 5% probability level. There was no difference in dry matter (DM), crude protein (CP), and mineral matter (MM) intake, with means of 1258.43, 256.75, and 101.87 g/day, respectively. Ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) intake were higher ($P<0.05$) in animals fed with the diet containing macauba cake, with respective values of 61.0, 553.34, and 355.20 g/day. Animals fed with the CTRL diet had higher ($P<0.05$) non-fibrous carbohydrate (NFC) intake (539.44 g/day). In animals fed with the CTRL diet, DM (69.20%) and NDF (59.51%) digestibility were higher ($P<0.05$) than in the other groups (mean of 59.51% and 43.59%, respectively). The digestible energy intake was lower in the MC and MC+ACF (280.34 and 257.04 kcal/kg $BW^{0.75}$ /day) than in the CTRL (306.80 kcal/kg $BW^{0.75}$ /day), due to a higher percentage of energy loss in feces. Metabolizable energy consumption and net energy were similar among the evaluated animal groups, with means of 245.51 and 179.85 kcal/kg $BW^{0.75}$ /day, respectively. It is concluded that the inclusion of macauba cake in the diet reduces diet digestibility; however, it does not alter animal intake and energy utilization. Additionally, the use of fungal additives does not result in improved diet utilization.

Keywords: Coproduct. Microbial additive. Respirometry. Sheep.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ingredientes e composição nutricional das dietas experimentais.....	42
Tabela 2. Consumo de matéria seca (CMS), consumo de FDN (CFDN), consumo de FDA (CFDA), consumo de PB (CPB), consumo de EE (CEE), consumo de MM (CMM) e consumo de CNF (CCNF) de ovinos alimentados com torta de macaúba inoculada com fungos autóctones celulolíticos.....	43
Tabela 3. Digestibilidade de matéria seca (DMS), digestibilidade de FDN (DFDN), digestibilidade de PB (DPB), digestibilidade EE (DEE), digestibilidade MM (DMM) e digestibilidade CNF (DCNF) de ovinos alimentados com torta de macaúba inoculada fungos autóctones celulolíticos.....	43
Tabela 4. Consumo de oxigênio, produção de CO ₂ , produção de CH ₄ , produção de calor e coeficiente respiratório de ovinos alimentados com torta de macaúba inoculada fungos autóctones celulolíticos.....	44
Tabela 5. Partição de energia de ovinos alimentados com torta de macaúba inoculada com fungos autóctones celulolíticos.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CFDA** – Consumo de Fibra Em Detergente Ácido
CFDN – Consumo de Fibra Em Detergente Neutro
CH₄ – Metano
CMS – Consumo de Matéria Seca
CCNF – Consumo de Carboidratos Não Fibrosos
CNF – Carboidratos Não Fibrosos
CO₂ – Dióxido de Carbono
CPB – Consumo de Proteína Bruta
CEE – Consumo de Extrato Etéreo
CR – Coeficiente Respiratório
CV – Coeficiente de Variação
DMS – Digestibilidade da Matéria Seca
DPB – Digestibilidade da Proteína Bruta
DFDN – Digestibilidade da Fibra Em Detergente Neutro
DEE – Digestibilidade de Extrato Etéreo
DCNF – Digestibilidade de Carboidratos Não Fibrosos
EBI – Energia Bruta Ingerida
ED – Energia Digestível
EE – Extrato Etéreo
EM – Energia Metabolizável
EL – Energia Líquida
FAC – Fungos Autóctones Celulolíticos
FDA – Fibra em Detergente Ácido
FDN – Fibra em Detergente Neutro
H₂SO₄ – Ácido Sulfúrico
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC – Incremento Calórico
MS – Matéria Seca
NRC – National Research Council
O₂ – Oxigênio
PB – Proteína Bruta
PC – Produção De Calor

TM – Torta De Macaúba

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. Panorama da Ovinocultura	16
2.2. Utilização de coprodutos na alimentação de ruminantes – torta de macaúba	16
2.3. Uso de fungos celulolíticos na alimentação de ruminantes	18
2.4. Calorimetria indireta	20
2.5. Emissão de Metano por ruminantes	20
3. REFERÊNCIAS.....	22
4. ARTIGO.....	28
4.1. Metabolismo energético de ovinos inoculados com fungos celulolíticos e alimentados com torta de macaúba.....	28
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

1. INTRODUÇÃO

Mesmo com avanço da tecnologia, alguns produtores ainda seguem um padrão antigo de criação, principalmente em produções de baixa escala, onde os animais são criados quase sempre de forma extensiva, sem suplementação, o que resulta em baixo desempenho e menor retorno econômico com a atividade (LIRA, 2020). Para que o sistema de produção funcione de forma rentável é necessário considerar todas as etapas desse processo, sendo a alimentação um dos principais gargalos da produção animal (STASIAK, 2017; CARNEIRO, 2021).

Diante disso, observa-se o aumento na busca por alimentos alternativos que possam reduzir os custos com a alimentação do rebanho, além de substituírem os alimentos convencionais em períodos de maior escassez, sem comprometer o desenvolvimento dos animais (BIZZUTI, 2019; CARNEIRO, 2021). Estudos revelam que a utilização de coprodutos oriundos do processo industrial de grãos, farelos, extração de óleos, produção de biodiesel entre outros, apresenta resultados promissores para a nutrição animal, mas é necessário avaliar sempre a composição desses alimentos, para maior certeza de que os mesmos são nutricionalmente viáveis (BIZZUTI, 2019; SANTOS, 2020).

A torta de macaúba é coproduto da indústria do biodiesel, com potencial de ser utilizada na alimentação de ruminantes, pois possui em sua composição nutrientes necessários para dieta desses animais, podendo substituir alimentos convencionais e diminuir os custos de produção (ALMEIDA, 2018; GOULART, 2018). Porém é importante salientar que a torta apresenta altos teores de fibra e lipídeos e, quando em excesso esses nutrientes podem reduzir o aproveitamento do alimento (ALMEIDA, 2018).

Embora a fibra seja essencial para o metabolismo energético, visto que auxilia a manter a microbiota ruminal e fermentação, alimentos com altos teores de FDN possuem baixa taxa de degradação no rúmen e isso pode comprometer a digestibilidade, o consumo, a produção de proteína microbiana e, conseqüentemente, o aporte energético (ALVES et al., 2016). Teores elevados de lipídeos também podem ocasionar efeitos indesejáveis, pois a inclusão desses acima de 6% na dieta do animal promove diminuição na degradação da fibra, devido à toxicidade que esses ácidos graxos insaturados são capazes de causar aos microrganismos presentes no rúmen (MACHADO *et al*, 2019).

Aditivos alimentares podem ser utilizados na dieta de ruminantes para minimizar efeitos indesejáveis ocasionados por alimentos com composição parecida com a TM, pois estes podem atuar como promotores de crescimento de microrganismos no rúmen, além de

e elevar a durabilidade do produto/alimento, entre outras ações (MELO *et al.* 2018; DANIELI; SCHOGOR, 2015).

Os aditivos mais utilizados na nutrição de ruminantes são os ionóforos, devido a sua atuação eficiente na fermentação ruminal. Ainda assim, tem crescido a utilização de probióticos, estes, atuam melhorando a população de microrganismos do rumem, que possibilita melhor aproveitamento do alimento e desempenho dos animais (COELHO; ALVES; MEZZOMO, 2020).

Nesse cenário, os fungos possuem capacidade de tornar o ambiente mais propício para bactérias celulolíticas devido a sua capacidade de remoção de oxigênio do ambiente ruminal, logo, a utilização desses pode melhorar a digestibilidade da fração fibrosa do alimento. O gênero *Trichoderma longibrachiatum*, por exemplo, possui atividade de celulose e hemicelulose no rumen, que pode melhorar a digestão da fibra (ALMEIDA, 2019). Martins Junior *et al.*, (2023), observaram esse fato quando avaliaram a digestibilidade *in vitro* da TM inoculada com mistura dos fungos *Trichoderma longibrachiatum* e *Paecilomyces* sp. Os autores relataram aumento na digestibilidade da MS (DIVMS) e da FDN (DIVFDN) reforçando a possibilidade de utilização de aditivos microbianos em suplementação de alimentos com alto teor de fibra.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Panorama da Ovinocultura

A produção de ovinos é uma atividade bastante difundida em várias regiões do mundo, principalmente por sua versatilidade de produção. Essa pode fornecer desde alimentos como carne e leite até produtos como a lã e o couro, que podem ser utilizados como matéria prima para indústria têxtil (VIANA, 2008).

De acordo com dados do Centro de Inteligência de Mercado de Ovinos e Caprinos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2016), o rebanho efetivo de ovinos está concentrado em países da Ásia, seguido da Europa e África, já os países da América do Norte e Sul representam porcentagem mais reduzida que os demais continentes. O Brasil representa aproximadamente 0,9% do rebanho mundial e 44,08 % do efetivo total da América do Sul (EMBRAPA, 2016).

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) o efetivo do rebanho está concentrado em estados da região nordeste, chegando a representar 70,59% da criação total do país. Os estados que possuem os maiores rebanhos de ovinos são Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Sul, Ceará e Piauí, respectivamente. Apesar da região nordeste possuir o maior efetivo de rebanho, é a região Sul que possui maiores índices econômicos, devido ao maior desenvolvimento tecnológico, introdução de raças geneticamente melhoradas e inovação de técnicas de manejo (MONTEIRO; BRISOLA; FILHO, 2021).

Na região nordeste, caracterizada pelo clima semiárido, predomina o sistema de criação extensiva, no qual a vegetação nativa é a principal fonte de alimento dos animais (LIRA, 2020). Nesse caso, há maior número de animais e menores índices zootécnicos, fazendo com que a produtividade seja reduzida, sendo a criação de ovinos voltada para fins de subsistência (LIRA, 2020).

Diante disso, os atuais sistemas de produção do Brasil têm baixa viabilidade para garantir a sustentabilidade do segmento. O maior gargalo na ovinocultura está em ampliar o consumo dos produtos originados desse sistema (VIANA, 2008), pois com o aumento da demanda há maiores investimentos e incentivos aos produtores. Em um futuro próximo, a produção de ovinos tem grande potencial de crescimento e de destaque no agronegócio, tanto no Brasil como no mundo.

2.2. Utilização de coprodutos na alimentação de ruminantes – torta de macaúba

A produção de alimentos é muito discutida na nutrição animal. Os sistemas produtivos, principalmente de ruminantes, têm ligação direta com a produção vegetal, pois a dieta desses animais é basicamente composta por alimentos convencionais à base de grãos e forragens. Quando há baixa precipitação essa produção é afetada, devido a interferência direta dos fatores climáticos. Com isso há maiores investimentos em tecnologia para obter melhores resultados, o que eleva os custos de produção (SANTOS, 2020). Dessa forma, há uma busca por medidas que possam minimizar os custos com insumos para alimentação animal sem afetar a produtividade (NUNES *et al*, 2017).

Junto à expansão de agroindústrias responsáveis pela extração de óleos vegetais, empresas de processamento de frutas e indústrias de biocombustíveis, cresceram também a geração de coprodutos (OLIVEIRA *et al*, 2013; ROSA *et al*, 2019), isso fez com que houvesse a possibilidade da utilização desses na alimentação de ruminantes (OLIVEIRA *et al*, 2013). De acordo com o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2018) Instrução Normativa nº 81, Capítulo I, Art. 4º, coproduto: é o produto destinado à alimentação animal obtido a partir de resíduos sólidos provenientes de indústrias alimentícias.

A viabilidade na utilização de coprodutos na alimentação animal acontece por serem produtos que possuem valor qualitativo interessante para a dieta dos animais e não possuem competição com alimentação humana, por causa da sua composição, além do baixo custo, quando comparados aos alimentos convencionais. Outro fator é que a comercialização desses coprodutos beneficia as indústrias por ser fonte de renda extra e ajuda a reduzir os problemas no descarte de resíduos (BIZZUTI, 2019).

A inclusão na alimentação de ruminantes ainda é muito estudada, devido à variedade nas composições, que ocorre de acordo a origem, que podem ser: destilaria; processamento de frutas e vegetais, moagem, processamento de grãos e indústria de petróleo (BIZZUTI, 2019; ROSA *et al*, 2019). Esses coprodutos das agroindústrias são normalmente os farelos resultantes da moagem e beneficiamento, farinhas residuais, grãos quebrados ou com avarias, decorrentes do processo de limpeza, além das tortas (SILVA, 2021; BIZZUTI, 2019).

A torta de macaúba (TM) é um coproduto obtido a partir da extração do óleo da polpa e do endocarpo, que possuem nutrientes que possibilita sua utilização na alimentação de ruminantes (DIAS, 2018).

Em estudo realizado por Rigueira *et al*, (2017) que avaliaram a composição química da TM em suas diferentes partes, indicaram que possui aproximadamente 8% de proteína bruta (PB), 75,80% de fibra em detergente neutro (FDN), 88% de matéria seca (MS) e 9,96%

de extrato etéreo (EE). Esses valores são pouco distintos aos observados por Azevedo *et al*, (2013), que verificaram 96,55, 8,18, 14,95 e 62,03% para MS, PB, EE e FDN, respectivamente. Sendo assim, observa-se que a torta de macaúba (TM) possui concentrações elevadas de FDN e EE, fatores importantes que devem ser considerados quando há intenção da inclusão na dieta de ruminantes.

Na avaliação da inclusão da TM na dieta de cabras em lactação, Shultz *et al*, (2017), observaram que os animais que receberam o tratamento contendo a TM apresentaram redução de quase 30% no consumo de volumoso, que pode ter sido atribuído à concentração EE presente nesse coproduto, que foi em média 12%. Efeitos parecidos foram encontrados por Azevedo *et al*, (2013), que relataram que a inclusão da TM em dietas de vacas leiteiras, resultou em redução no consumo de MS, que pode ter sido influenciado pelo aumento dos níveis de EE e FDN nas dietas contendo a TM.

Em pesquisa feita por Santos *et al*, (2015), foi possível observar o efeito da TM sob a concentração de protozoários ciliados no rúmen, em que houve redução significativa na população dos mesmos, associado a menor ingestão de carboidratos não fibrosos (CNF) e alta concentração de EE presente na TM. Em contrapartida, Azevedo *et al*, (2012) relataram que a inclusão da TM na dieta de ovinos não influenciou no consumo de MS, embora apresentasse variação nos teores de FDN e EE. Os autores explicaram que o fato pode ter sido influenciado pelo tipo de processamento que a TM foi submetida, visto que a moagem resulta em partículas com tamanho semelhante ao dos alimentos concentrados convencionais, milho moído e farelo de soja, o que reduziu a efetividade física da fração fibrosa, além disso, as dietas apresentaram teores de energia semelhante, que também pode ter contribuído para a semelhança no consumo de MS entre os tratamentos.

2.3. Uso de fungos celulolíticos na alimentação de ruminantes

A inclusão de aditivos na dieta de ruminantes se torna interessante, devido a sua capacidade de maximizar o desempenho dos animais, e aproveitamento dos alimentos, através da alteração do padrão fermentativo do rúmen (OLIVEIRA *et al*, 2019). Os aditivos são separados por classes, sendo os ionóforos a classe mais utilizada atualmente (XAVIER, 2020).

Há uma crescente na utilização de aditivos microbianos. Possuem capacidade de atuar na microbiota ruminal e apresentar efeitos indiretos e benéficos ao hospedeiro. Podem ser descritos como um suplemento alimentar à base de micróbios vivos que beneficia o animal hospedeiro, por meio da melhoria do seu balanço microbiano intestinal (BERCHIELLI;

PIRES; OLIVEIRA, 2006). Com a inclusão, espera-se restabelecer a microbiota protetora natural, para que o animal retorne a sua condição normal de crescimento saúde e nutrição (COELHO; ALVES; MEZZOMO, 2020; BERCHIELLI; PIRES; OLIVEIRA, 2006).

A aceitação na utilização desses aditivos está no fato de a maioria desses bioprodutos utilizarem leveduras, quase sempre do gênero *Scharomyces*, que também são utilizadas na fabricação de outros produtos, como exemplo cervejas, vinhos, pães, entre outros (BERCHIELLI; PIRES; OLIVEIRA, 2006). Microrganismos dos gêneros *Enterococcus sp*, *Aspergillus sp*, *Tricoderma sp*, também são utilizados e possuem bons resultados para ruminantes.

A população microbiana do rumem é em grande maioria anaeróbia, algumas espécies são anaeróbias estritas, que não resistem a concentrações mínimas de O₂, como alguns gêneros de bactérias e outras são anaeróbias facultativas, que conseguem resistir determinadas concentrações de O₂, como os fungos (BERCHIELLI; PIRES; OLIVEIRA, 2006). Varias alterações podem ser observadas no ambiente ruminal com a inoculação de zoósporos de fungos, como a aceleração da degradação da fibra vegetal, que pode ocorrer devido ao aumento do número de bactérias, especialmente as celulolíticas, pois os fungos conseguem consumir o O₂, reduzindo assim a concentração residual do conteúdo ruminal (FABINO NETO *et al*, 2020).

Mamuad *et al*, (2019) avaliaram os efeitos da suplementação com probióticos a base do fungo *Enterococcus faecium*, sob a fermentação ruminal, concentração de CH₄ e estrutura da população microbiana, observaram aumento significativo de propionato e de ácidos graxos voláteis totais e diminuição da concentração de CH₄ e, paralelamente alteração na composição da comunidade microbiana.

Avaliando o efeito do uso de probiótico a base de *saccharomyces cerevisiae pediococcus acidilactici* em bezerros holandeses, Neto *et al*, (2014) observaram que os animais alimentados com probióticos, apresentaram maior ganho de peso, maior conversão alimentar e diminuição dos índices de diarreia, que os animais que não receberam o probiótico.

Almeida (2019) avaliou a digestibilidade de cordeiros recebendo dieta a base de feno de capim *Urucloua decumbens* e suplementados com cepas fúngicas de *Tricoderma longibrachiatum* e *Rhodotorula mucilaginosa*, constataram que os animais apresentaram atividade de celulose e hemicelulose, porém não foi suficiente para digestão das fibras do

feno, que tinha baixa qualidade e altos teores de FDN e lignina, dificultando ainda mais a digestibilidade da fibra.

Já Martins Junior *et al*, (2023), observaram aumento na digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) e da FDN (DIVFDN) da TM inoculada mistura dos fungos *Trichoderma longibrachiatum* e *Paecilomyces* sp. indicando o potencial de utilização de aditivos microbianos em suplementação de alimentos com alto teor de fibra, como a TM.

2.4. Calorimetria indireta

Calorimetria é o conjunto de técnicas utilizadas para determinar a produção de calor pelo animal, pode ser direta, onde a mensuração é feita diretamente no animal, ou indireta, que é determinada a partir das trocas gasosas (SILVA, 2011). A produção de calor pelos ruminantes acontece devido a reações metabólicas que estão relacionadas ao metabolismo do animal, seja de manutenção ou produção (GUIMARÃES, 2011).

A calorimetria Indireta (CI), método mais utilizado, que também pode ser chamado de respirometria, baseia-se no consumo de O₂ e produção de CO₂, dados através de equivalentes metabólicos e permite fazer uma estimativa do metabolismo energético dos animais (ORNELAS, 2016; SILVA, 2011). A relação do O₂ consumido e CO₂ produzido é expressa pelo coeficiente respiratório (CR), através dele é possível ter conhecimento de qual substrato está sendo oxidado, carboidrato, lipídeo ou proteína (MACHADO, 2010).

Para mensuração das trocas gasosas são utilizadas câmaras respirométricas, que pode ser com sistema de circuito fechado, que consiste em alocar o animal em uma câmara fechada que possui mecanismos que controlam a umidade e temperatura e existe também a utilização da câmara respirométrica de circuito aberto. Nesse sistema o animal é alocado dentro de uma câmara com sistema de vedação que não permite que ocorra troca gasosa entre o ar interior e o ar externo, a menos que seja pelo respectivo sistema de circulação do ar. (MACHADO, 2010; SILVA, 2011).

A estimativa da produção de calor é feita a partir da equação de Brouwer (1965): H (kj) = $16,18 \times O_2(L) + 5,02 \times CO_2(L) - 5,88 \times Nu(g) - 2,17 \times CH_4(L)$, em que **H** refere-se à produção de calor e **Nu** ao nitrogênio urinário.

2.5. Emissão de Metano por ruminantes

O processo metabólico que resulta na produção de metano (CH₄), chamado metanogênese, visa evitar que ocorra um acúmulo de hidrogênio (H₂) no organismo, esse acúmulo pode resultar em diminuição do pH ruminal e restrição do crescimento de microrganismos responsáveis pela degradação da fibra (RIVERA *et al*, 2010). A maior parte

do CH₄ produzido é eliminada pelo processo chamado eructação e embora seja um processo fundamental no organismo do animal, representa de 2 a 12% de perda do potencial energético dos alimentos consumidos, o que impacta no desempenho dos animais (GERASEEV *et al*, 2023).

É possível alterar a produção de CH₄ através da dieta. A diminuição na relação volumoso:concentrado, faz com que haja maior utilização de amido e açúcares solúveis, ocasionando mudanças físico-químicas no rúmen e na população de microrganismos. Com isso, alterações na composição e na qualidade dos alimentos modificam a fermentação ruminal (FREIRE *et al.*, 2015). Estratégias em relação ao tipo e a qualidade da fonte de carboidrato da dieta, pela adição de lipídeos e pela manipulação da microbiota do rúmen através de aditivos alimentares, podem ser uma opção para diminuir a produção de CH₄ e as perdas de energia (RIVERA *et al.*, 2010).

Geraseev *et al*, (2023a) avaliando a substituição de parte do milho pela torta de macaúba notaram alteração no perfil de microrganismos do rúmen de ovinos, devido ao aumento de bactérias do gênero *Archea* e, o que resultou em aumento produção de CH₄. Em estudo de Rufino *et al.* (2011), o qual avaliaram os efeitos da inclusão de torta de macaúba sobre a população de protozoários, observaram aumento na população de protozoários, com a inclusão de 10 e 15% de torta de macaúba.

Além disso, o CH₄ é um dos gases de efeito estufa (GEE), sua diminuição também seria benéfica em termos ambientais. (ORNELAS, 2016; DE PAULA, 2019; MÉO FILHO, 2020).

3. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. D. M. 2018. Modelagem de extração por etanol de óleo da farinha de macaúba. **Monografia** (Bacharel em Engenharia de Produção). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.
- ALVES, A. R.; PASCOAL, L. A. F.; CAMBUÍ, G. B.; DA SILVA TRAJANO, J.; DA SILVA, C. M.; GOIS, G. C. Fibra para ruminantes: Aspecto nutricional, metodológico e funcional. **Pubvet**, v. 10, p. 513-579, jul., 2016.
- AZEVEDO, R. A.; ALMEIDA RUFINO, L. M.; SANTOS, A. C. R.; SILVA, L. P.; BONFÁ, H. C.; DUARTE, E. R.; GERASEEV, L. C. Desempenho de cordeiros alimentados com inclusão de torta de macaúba na dieta. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1663-1668, 2012.
- AZEVEDO, R. A.; RUFINO, L. M. A.; SANTOS, A. C. R.; RIBEIRO JUNIOR, C. S.; RODRIGUEZ, N. M.; GERASEEV, L. C. Comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com torta de macaúba. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.2, p.490-496, 2013.
- AZEVEDO, R.A., BICALHO, F.L., ARAÚJO, L., RIBEIRO JR., C.S., SANTOS, A.C.R., JAYME, D.G., & GERASEEV, L.C.. Análise técnico-econômica de diferentes níveis da torta de macaúba em dietas para vacas leiteiras. **Archivos zootecnia**, Córdoba, v. 62, n. 237, p. 147-150, 2013 .
- BIZZUTI, B. E.; 2019. Sustentabilidade da produção: uso de subprodutos agroindustriais na produção de pequenos ruminantes. **Dissertação** (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BROUWER, E. 1965. Report of Sub-committee on Constants and Factors. In: Proceedings of 3rd Symposium on Energy Metabolism. EEAP Publication 11. Academic Press, London.
- CARNEIRO, T. B.; 2021. Alimentos na nutrição de pequenos ruminantes. **Monografia** (Bacharel em Zootecnia). Universidade Federal do Tocantins, Araguaína.
- COELHO, G. D. J.; ALVES, K. S.; MEZZOMO, R. Probióticos como alternativa aos ionóforos em dietas de ruminantes. **Revista Ciência Animal**. v. 30, n. 4, p. 117-130, 2020.

CHWALIBOG, A. 2004. Physiological basis of heat production – The fire of life. Research School of Nutrition and Physiology 23.

DANIELI, B.; SCHOGOR, A. L. B. Uso de aditivos na nutrição de ruminantes: revisão. **R. Vet. Zootec.**, v. 27, p. 1-13, 2015.

DE PAULA, K. S.; JUNIOR, O. L. F. Utilização dos restos culturais e resíduos da industrialização de abacaxi na alimentação de ruminantes: Revisão. **PUBVET.** v.13, n.2, a271, p.1-7, fev., 2019.

DETMANN, E.; SOUZA, M. D.; VALADARES FILHO, S. D. C.; QUEIROZ, A. D.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. D. O.; AZEVEDO, J. A. G. Métodos para análise de alimentos. Visconde do Rio Branco – MG. 2012.

DIAS, E. F. 2018. Farelo da polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em dietas para suínos em crescimento. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina - MG.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. **Ovinocultura e Caprinocultura.** 2016.

FREIRE, A. A., SILVA, F. L. M., POLIZEL, D. M., SUSIN, I. Nitrato na alimentação de ruminantes mitiga a produção de metano. **Ciência Veterinária nos Trópicos**, v. 18, n. 1, p. 6-12, 2015.

GOULART, S. M. 2018. Colheita e pós-colheita de macaúba: qualidade do óleo da polpa para alimentação humana e aproveitamento da torta na alimentação animal. **Tese** (Doctor Scientiae). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. GUIMARÃES, T. P. Conceitos e exigências de energia para bovinos de corte. Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás. p. 1 – 27. Goiânia, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**, 2020.

LIRA, A. B. 2019. Índices de produtividade e análise econômica de um sistema de produção de ovinos de corte no Semiárido. **Tese** (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal do Ceará, Areia – PB.

MACHADO, F. S. 2010. Consumo, digestibilidade aparente, partição de energia e produção de metano em ovinos alimentados com silagens de sorgo em diferentes estádios de maturação. **Tese** (Doutorado em zootecnia). Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG.

MACHADO, A. S.; CAFÉ, M. B.; GODOY, M. M.; RIOS, A. D. F.; FRANÇA, A. F. S.; ALMEIDA, E. M.; DIJKSTRA, D.; OLIVEIRA JUNIOR, A. R.; SILVA, L. O.; RIBEIRO, F. M. Comportamento ingestivo de vacas lactantes alimentadas com diferentes teores de lipídeos na dieta. **Revista Medicina Veterinária**, Recife, v.13, n.3, p.429-43, jul.-set., 2019.

MAIA, M. O. de; PARENTE, H. N.; ARAÚJO, V. M. de. Utilização de lipídeos na dieta de pequenos ruminantes. **Arquivo Ciências Veterinárias e Zoologia**. Umuarama, v. 14, n. 2, p. 127-131, jul./dez. 2011.

MAGAÑA, K. B. D. 2019. Pulso de oxigênio para determinação da produção de calor em vacas leiteiras. **Dissertação** (Mestre em produção animal). Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros – MG.

MAMUAD, L. L.; KIM, S. H.; BISWAS, A. A.; YU, Z.; CHO, K. K.; KIM, S. B.; LEE, K.; LEE, S. S. Rumen fermentation and microbial community composition influenced by live *Enterococcus faecium* supplementation. **Amb Express**, v. 9, p. 1-12. 2019.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, Instrução Normativa Nº 44 DE 15/12/2015 Anexo III 2.1.2.1. 2015.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, Instrução Normativa nº 81, Capítulo I, Art. 4º. 2018.

MATRICARDE, V. A. N., DE OLIVEIRA, I. F., & FACTORI, M. A. Reduzir impactos ambientais na produção de ruminantes com uso de aditivos. **Revista Alomorfia**, Presidente Prudente, v. 5, n. 2, 2021, p. 331-339, 2021.

MELO, W. O.; SOUZA, E. S.; SANTOS, R. C. B. Utilização de aditivos nas dietas de bovinos de corte no Brasil: revisão de literatura. **Nutri Time Revista Eletrônica**. v. 15, n. 03, maio/Jun., 2018.

MÉO FILHO, P. Efeitos do manejo, intensificação e integração em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto, em face da emissão de metano ruminal e do aquecimento global. **Tese**(Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, Pirassununga – SP, 2020.

MONTEIRO, A.L.G.; COSTA, N. L.; SILVA, A.L.P; MORAES, A.; GIOSTRI, A.F.; STIVARI, T.S.S.; GILAVERTE, S.; BALDISSERA, T.C.; PIN, E. A. Considerações sobre a degradação da fibra em forragens tropicais associada com suplementos energéticos ou nitrogenados. **Archivos de Zootecnia**. v. 64 p. 31-41, jun., 2015.

MONTEIRO, M. G.; BRISOLA, M. V.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Diagnóstico da cadeia produtiva de caprinos e ovinos no Brasil. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA**, Brasília, jun., 2021.

NETO, A. T.; DE OLIVEIRA GOMES, I. P.; DIAS, A. L. G.; DE ARRUDA CÓRDOVA, H.; DAL PIZZOL, J. G.; RODRIGUES, R. S. Desempenho de bezerros da raça holandesa suplementados com probiótico a base de *saccharomyces cerevisiae*, cepa ka500 e *pediococcus acidilactici*. **Archives of Veterinary Science**, v. 19, n. 4, p. 10-16, 2014.

NETO, R. F.; ABRÃO, F. O.; MIYAGI, E. S.; GODOY, M. M.; BRAINER, M. MA. A.; SANTOS, W. B. R.; PERON, H. J. M. C.; SILVA, B. P. A. Probióticos fúngicos na dieta de alto grão para ruminantes. **Braz. J. Of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 53562-53584, jul., 2020.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requeriments of Small Ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. National Academic Press, 2007.

NUNES, H.; ZANINE, A. M.; MACHADO, T. M. M.; CARVALHO, F. C. Alimentos alternativos na dieta dos ovinos: Uma revisão. **Asociación Latino americana de Producción Animal**. v. 15, n. 4, p. 147-158, maio 2007.

OLIVEIRA R. L.; LEÃO, A. G.; ABREU, L. L.; TEIXEIRA, S.; SILVA, T. M. Alimentos Alternativos na Dieta de Ruminantes. **Revista Científica de Produção Animal**, Paraíba, v.15, n.2, p.141-160, dez., 2013.

OLIVEIRA, V. S.; SANTOS, A. C. P.; VALENÇA, R.L. Desenvolvimento e fisiologia do trato digestivo de ruminantes. **Revista Ciência Animal**. v.29, n.3, p.114-132, out., 2019.

ORNELAS, L. T. C. 2016. Consumo de oxigênio, produção de gás carbônico e metano, por ovinos alimentados com farelo de girassol. **Dissertação** (Mestrado em Produção Animal). Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros – MG.

RIGUEIRA, J. P. S.; MONÇÃO, F. P.; SALES, E. C. J.; REIS, S. T.; ALVES, D. D.; AGUIAR, A. C. R.; ROCHA JUNIOR, V. R.; CHAMONE, J. A. Composição química e digestibilidade in vitro de tortas da macaúba. **Revista Unimontes Científica**, v. 19, n. 2, p. 62-72, 2017.

RIVERA, A. R., BERCHIELLI, T. T., MESSANA, J. D., VELASQUEZ, P. T., FRANCO, A. V. M., FERNANDES, L. B. Fermentação ruminal e produção de metano em bovinos alimentados com feno de capim-tifton 85 e concentrado com aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 617-624, 2010.

RODRIGUES, A. S. 2021. Inventário do ciclo de vida da produção de biodiesel utilizando macaúba como fonte de matéria-prima. **Dissertação** (Mestrado em Bicombustíveis). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina.

RODRÍGUEZ, N. M., CAMPOS, W. E., LACHICA, M. L., BORGES, I., GONÇALVES, L. C., BORGES, A. L. C. C., SALIBA, E. O. S. (2007). A calorimetry system for metabolism trials. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 59, p. 495-500, 2007.

ROSA, P.P.; NUNES, L. P.; CHESINI, R. G.; POZADA, T. N.; SILVA, G. F.; CAMACHO, J. S.; FARIA, M. R.; MOTA, G. N.; LOPES, A. A.; FERREIRA, O. G. L. Utilização de coprodutos industriais na alimentação de ruminantes: revisão bibliográfica. **Revista Científica Rural**, Bagé-RS, v. 21, n. 3, out. 2019.

SANTOS, M. R. 2017. Técnica da máscara facial para mensuração da emissão de metano e produção de calor em vacas girolando no terço final da lactação. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Animal) Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA.

SANTOS, O. M. 2020. Viabilidade técnica da utilização da silagem de erva-palha (*Blainvillealatifolia*) para alimentação de ruminantes. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

SEAPA - SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS. SUBSECRETARIA DE POLÍTICA E ECONOMIA AGRÍCOLA. Ovinocultura. 2017.

SILVA, R. R. 2011. Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos. **Tese** (Doutorado em zootecnia). Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG.

SILVA, G. B. 2021. Bagaço de cana-de-açúcar como fonte alimentar alternativa para ruminantes. **Dissertação** (M.Sc.). Instituto Federal Goiano, Ceres.

STASIAK, G. 2017. Descrição da ovinocultura na região noroeste do Rio Grande do Sul nas Microrregiões de Santo Ângelo e Cerro Largo. **Monografia** (Bacharel em Agronomia), Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo – RS.

SHULTZ, E. B; GOULART, S.M; GARCIA, I. S; AMARAL, R. M; GROSSI, J. M. S. Torta de macaúba na dieta de cabras leiteiras. **Vet. Not.** Uberlândia, MG, v.25, n°1, p.67-81, jan./jun. 2019.

VIANA, J. G. A. Panorama geral da ovinocultura no mundo e no Brasil. **Revista Ovinos**, v. 4, n. 12, p. 44-47, Porto Alegre – RS, mar., 2008.

XAVIER, J. V. V. 2020. Aditivos alimentares alternativos para bovinos. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

4. ARTIGO

4.1. Metabolismo energético de ovinos inoculados com fungos celulolíticos e alimentados com torta de macaúba.

(Artigo escrito de acordo com as normas da revista Small Ruminants Research)

Energetic metabolism of sheep inoculated with cellulolytic fungi and fed macaúba cake

Lorena Fernandes Costa¹, Luciana Castro Geraseev¹

⁽¹⁾Federal University of Minas Gerais, Regional Campus of Montes Claros. Universitária Avenue, 1000 - Universitário Neighborhood - Montes Claros, MG, ZIP code: 39.404-547 Montes Claros, MG, Brazil. Email: lorenafernandesc@hotmail.com

Abstract

The aim of this study was to evaluate the intake, nutrient digestibility, and energy metabolism in lambs fed with macauba cake supplemented or not with autochthonous cellulolytic fungi. Eighteen crossbred, non-castrated male lambs were distributed into three experimental groups: control diet (CTRL), diet with macauba cake (MC), and diet with macauba cake and autochthonous cellulolytic fungi (MC+ACF). The animals were adapted to the experimental conditions of the digestibility trial for 15 days, during which they remained in metabolic cages and were fed twice a day. Subsequently, diets, leftovers, feces, and urine were measured and sampled daily for five days to determine nutrient consumption and digestibility. Following this period, a respirometry trial was conducted, with animals individually transferred to a respirometric chamber. Oxygen consumption and production of carbon dioxide and methane were measured for 20 hours/animal. A randomized block design was used, with animals distributed according to weight. Data were subjected to analysis of variance, and means were compared by Tukey's test at a 5% probability level. There was no difference in dry matter (DM), crude protein (CP), and mineral matter (MM) intake, with means of 1258.43, 256.75, and 101.87 g/day, respectively. Ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) intake were higher ($P<0.05$) in animals fed with the diet containing macauba cake, with respective values of 61.0, 553.34, and 355.20 g/day. Animals fed with the CTRL diet showed higher ($P<0.05$) non-fibrous carbohydrate (NFC) intake (539.44 g/day). In animals fed with the CTRL diet, DM (69.20%) and NDF (59.51%) digestibility were higher ($P<0.05$), with mean of 59.51% and 43.59%, respectively.

The digestible energy intake (DEI) was lower in the MC and MC+ACF (280.34 and 257.04 kcal/kg^{0.75} BW/day) than CTRL (306.80 kcal/kg^{0.75} BW/day), due to a higher percentage of energy loss in feces. Metabolizable energy (ME) and net energy (NE) intake were similar among the lamb groups, with means of 245.51 and 179.85 kcal/kg^{0.75} BW/day, respectively. It is concluded that the inclusion of TM reduces diet digestibility, however, it does not alter animal intake and energy utilization, and fungal inoculation did not result in improved diet utilization.

Keywords: By-product. Microbial additive. Respirometry. Small ruminant.

Introduction

The use of alternative feeds in ruminant nutrition has increased due to the rising prices of conventional feeds such as corn and soybean, as well as the seasonality in their production. Byproducts from industrial processes stand out in this substitution, as they are more readily available during drier periods of the year when feed scarcity occurs. Another relevant factor in the use of byproducts is to avoid environmental problems associated with improper disposal, as for many industries these byproducts represent waste (MURTA et al., 2011).

Macauba cake (MC) is a byproduct obtained from the oil extraction of the pulp of the macauba palm fruit. It contains on average 94.96% dry matter (DM), 14.95% ether extract (EE), 8.18% crude protein (CP), and 62.03% neutral detergent fiber (NDF) (SANTOS et al., 2017). Due to this composition, it can be used to partially replace corn in diets (GERASEEV et al., 2023). However, due to the high NDF content, MC is considered a fibrous feed, and this, coupled with the higher amount of EE, may pose a challenge in its utilization in ruminant feeding. Excess fiber compromises the energy utilization of the diet, and high EE levels can be toxic to rumen microorganisms, interfering with fiber degradation (ALVES et al., 2016; MACHADO et al., 2019).

When incorporating byproducts into diets, their digestibility must be considered due to the presence of antinutritional factors or even an excess of some nutrients, as in the case of MC (MIZUBUTI et al., 2016).

Negative effects resulting from higher levels of low-quality fiber could be minimized with the use of microbial additives that aid in the degradation of the fibrous fraction, increasing feed utilization and consequently animal performance (COELHO; ALVES; MEZZOMO, 2020). Martins Junior et al. (2023) confirmed this in a study where they evaluated the in vitro digestibility of DM (IVDMD) and NDF (IVNDF) of MC inoculated with *Trichoderma longibrachiatum* and *Paecilomyces* sp. fungi. They found that the group inoculated with the

mixture of fungi showed an increase in IVDMD and IVNDF, indicating the potential use of microbial additives in supplementing feeds with high fiber content such as MC.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the energy metabolism of lambs fed macauba cake inoculated with indigenous cellulolytic fungi.

Materials and Methods

The experiment was approved by the Ethics Committee on Animal Use (CEUA) of the Federal University of Minas Gerais under protocol number 230/2021.

Eighteen lambs, males, Santa Inês × Dorper crossbreeds, non-castrated, with an average age of 7 months and average weight of 31 kg (+/- 5 kg), were evaluated and distributed into three experimental groups: control diet (CTRL), diet with macauba cake (MC), and diet with macauba cake and indigenous cellulolytic fungi (MC+ICF). The diets were formulated for growing lambs, balanced for a weight gain of 200 g/day according to the recommendations of the NRC (2007), with a concentrate to forage ratio of 60:40, containing Cynodondactylon cv. Tifton 85 hay, composed of 19.62 and 18.19% CP for the control and MC diets respectively (Table 1).

Before the digestibility trial, the animals were housed in pens for 65 days for performance data collection. After this period, they were adapted for 7 days to the experimental conditions of the digestibility trial, during which they were housed in metabolic cages. The diets were provided twice daily at 7:00 a.m. and 4:00 p.m. and adjusted to maintain leftovers at around 20% of the amount provided. At feeding time, one group of animals was supplemented with 20 ml of culture medium containing 10^7 CFU/ml of *Trichoderma longibrachiatum* fungus and 10^7 CFU/ml of *Paecilomyces* sp. fungus, mixed with 50g of ground corn, aiming for total consumption of the supplement. Lambs in the other groups received the same volume of culture medium without the microbial additive.

The fungi used were isolated from the digestive tract of lambs and Santa Inês sheep fed on *Panicum maximum* cv. Tanzania pastures (FREITAS et al., 2012) or *Cynodondactylon* cv. Vaqueiro hay, during the dry season in the northern region of Minas Gerais. Based on the methodology described by De Hoog (2000), the fungal isolates were previously identified using microcultivation techniques and evaluation of micromorphological characteristics and ribosomal DNA sequencing. They were cultured on Sabouraud Dextrose agar medium (KASVI®, Teramo, Italy) supplemented with chloramphenicol (150 mg/L) for up to seven days at 37°C. The sporulated culture of mycelial fungi was suspended in 0.85% saline solution containing 0.1% Tween 80 for colony-forming unit (CFU/mL) counting on Sabouraud Dextrose agar (KASVI®, Teramo, Italy) for standardization of inocula containing 10^7 CFU/mL.

After the adaptation period, the diets, leftovers, feces, and urine were measured and sampled daily for five days. Urine was collected in plastic buckets containing 100 ml of 10% H₂SO₄ solution to prevent nitrogen losses. Subsequently, single samples were mixed and homogenized to form a composite sample.

Composite samples of diet, leftovers, and feces were dried in a forced-air oven at $55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ for 72 hours and processed in a Willey type mill with a 1 mm sieve. After this phase, the samples were analyzed to determine the contents of dry matter (DM), ash, crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and non-fiber carbohydrates (NFC), according to INCT-CA (DETMANN et al., 2012). The gross energy content (kcal/g) of the diets, leftovers, urine, and feces was determined using an adiabatic bomb calorimeter model PARR 208, according to the methodology proposed by AOAC (2006). Urine samples were analyzed to determine the total nitrogen content according to AOAC (2006).

For measurement of oxygen consumption, gas production, and heat production, after the digestibility data collection, the animals were individually transferred to a metabolic cage located inside an open-flow respirometric chamber for small ruminants, conditioned with transparent acrylic plates, with the air inlet of the system located outside the laboratory as described by Rodriguez et al. (2007). The respirometry assay was conducted in two stages: in the first stage, data collection was performed with fed animals, and in the second stage, the animals underwent a 72-hour fast with access to water only for collection of data related to basal metabolism.

Gas exchanges were measured in the respirometric chamber using an open-circuit technique for a period of 20 hours. During the gas determination period, food was provided once daily before the start of the readings, and after this period, leftovers were weighed and consumption was recorded. Water was provided ad libitum throughout the experiment.

Daily, before the measurement period began, the O₂, CO₂, and CH₄ analyzers were calibrated using gases of known concentration and nitrogen (N₂). Gas concentrations and airflow were automatically recorded by the Expedata software from Sable Systems International, which calculates gas volumes produced by the animals based on the difference between the composition of the air entering and exiting the chamber. Atmospheric air entered the chamber at a flow rate according to the animal's weight (1 liter/kg body weight) per minute and was mixed with the expired air from the animal, with samples collected every 6 minutes over a 20-hour period for determination of O₂, CO₂, and CH₄ concentrations. The air temperature inside the respirometric chamber was maintained at 23°C to ensure animal thermal comfort.

Heat production was calculated using the Brouwer equation (1965): $H \text{ (kJ)} = 16.18 \times \text{O}_2 \text{ (L)} + 5.02 \times \text{CO}_2 \text{ (L)} - 5.88 \times \text{Nu (g)} - 2.17 \times \text{CH}_4 \text{ (L)}$, where H refers to heat production and Nu to urinary nitrogen.

Methane energy loss was quantified assuming a value of 9.45 kcal/L of methane produced, according to Brouwer (1965), and the caloric increment was calculated as the difference between the heat production of the fed animal and the heat production of the fasting animal.

Digestible energy (DE) values were obtained from the difference between the gross energy of the diets, leftovers, and feces. Metabolizable energy (ME) was calculated from the difference between DE and energy lost in the form of gases (methane) and urine. Net energy (NE) was calculated as the difference between ME and the caloric increment (CI). The energy digestibility coefficient (EDC) was calculated from the diet, leftovers, and feces EB data.

A randomized complete block design (RCBD) ($y_{ij} = m + b_j + t_i + e_{ij}$) was used according to weight. The data obtained were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test at a 5% probability level, using the Statistical Package for The Social Sciences (SPSS/IBM) version 19.

Results

There was no significant effect ($P > 0.05$) on DMI, CPI, and MMI, with means of 1258.43, 256.75, and 101.87 (g/day), respectively. However, NDFI, ADFI, and EEI were higher in animals that received the diet containing macauba cake, with respective values of 553.34, 355.20, and 61.0 (g/day), differing ($P < 0.05$) from those that did not receive the by-product, with means of 414.36, 206.87, and 41.66 (g/day). For CNFI, it was observed that animals receiving the control diet (539.44 g/day) had higher consumption ($P < 0.05$) than animals receiving diets containing macauba cake (237.2 g/day).

No significant difference ($P > 0.05$) was observed for CPD and CNFD between the evaluated groups, with means of 74.08 and 78.17%, respectively. Animals in the control group had higher ($P < 0.05$) DMS (69.20%) than animals in the other groups (average of 59.51%), the same occurred with NDFD, where animals in the control group had a higher average

(52.77%) than animals receiving macauba cake (43.59%). EED was higher in diets containing macauba cake (81.31 and 82.90%) than in the control diet (67.67%).

There was no effect of the diet on oxygen consumption, CO₂ production, CH₄ production, heat production, and respiratory coefficient ($p > 0.05$) (Table 3), with means of 27.12 L O₂/kg^{0.75}, 27.53 L CO₂/kg^{0.75}, 2.33 L CH₄/kg^{0.75}, 134.8 kcal/kg^{0.75}, and 1.01, respectively.

There was no difference in gross energy intake (GEI) between the evaluated groups, with a mean of 317.87 kcal/kg^{0.75}/PC/day. However, digestible energy (DE) was lower in groups with MC and MC+ICF (280.34 and 257.04 kcal/kg^{0.75}/PC/day) compared to CTRL (306.80 kcal/kg^{0.75}/PC/day), due to the higher percentage of energy loss in feces. For the variables EM and EL, no significant differences were observed between the evaluated groups, with means of 245.51 and 179.85 kcal/kg^{0.75}/PC/day, respectively.

Discussion

Although MC is a fibrous and low-digestibility feed, there was no alteration in animal DMI, demonstrating the potential for coproduct utilization, considering that corn, which was the replaced feed, has high rumen degradation. These results are similar to those reported by Geraseev et al. (2023a), who evaluated the replacement of corn by MC in sheep diets and found that up to 30% inclusion of MC did not alter animal DMI. These results may be related to MC processing and decreased fiber effectiveness. According to Dantas Filho et al. (2007), the type of coproduct processing influences passage rate, with finer particles having a higher passage rate in the rumen.

The higher intake of NDF and ADF in animals that received the MC diet reflects the similar DMI and higher levels of these nutrients in this coproduct (Table 1). When evaluating the use of sunflower meal in sheep diets, Geraseev et al. (2023b) reported an increase in NDF intake,

which was also related to the high NDF content of the diet with the inclusion of the coproduct, as in the present study.

According to Oliveira et al. (2015), NDF intake can be influenced by the proportion of cell wall components. In a study evaluating the inclusion of palm kernel cake in sheep diets, these authors observed that as lignin consumption increased, NDF intake decreased, showing that fiber quality can also interfere with NDF intake.

Geraseev et al. (2023a) and Azevedo et al. (2013), in studies involving the inclusion of MC in sheep and dairy cow diets, respectively, observed that in the groups receiving a higher percentage of MC, the diets exhibited higher NDF, which subsequently led to increased NDF consumption by the animals. The MC diets in this study had an EE content of 5.28%, which explains the higher EE consumption in these evaluated groups, given that DMI was the same. When compared to the control diet, the EE content is relatively high, but still within the acceptable inclusion level for ruminants (up to 6% EE).

An EE content higher than this value may influence DMI (VAN SOEST, 1991), as it is directly related to a decrease in rumen microorganism population, which subsequently leads to a reduction in diet utilization and consequently in the animal's energy efficiency. An example of this is Azevedo et al. (2013), who evaluated the ingestive behavior of dairy cows receiving diets with 100, 200, and 300 g/kg DM of MC, reported a reduction in DMI and milk production. According to these authors, this may have been due to the high EE content, reaching 9.5% in diets with the coproduct, which reduced fiber digestibility.

The similar protein consumption in the evaluated groups is due to the similarity in protein levels in the diets, 19.62% and 18.19% (Table 1). The average consumption was 256.75 g/day, above the recommendation by the National Research Council (2007), which is 180g for growing lambs with an average daily gain of 200g.

The CNF consumption values in the present study were lower in animals consuming diets with MC, as expected, because with the substitution of corn by the coproduct, the CNF content in the diet decreased, from 30.71% in the control diet to 20.31% in the MC diets (Table 1). Azevedo et al. (2012) also reported a similar behavior in CNF consumption in sheep fed MC and observed a linear decreasing effect on CNF consumption as the level of MC in the diet increased.

The reduction in DM digestibility in groups receiving MC may be due to the content and quality of fiber in the diet. The same happened with NDF digestibility; when evaluating the diet composition (Table 1), a large amount of ADF was observed, indicating the low quality of this fiber. Another factor that may be related is the amount of EE present in the MC-containing diet, as it contains unsaturated fatty acids that are highly toxic to rumen microorganisms, which may decrease fiber digestibility (BUDEL et al., 2023). However, these unsaturated fatty acids may have helped improve EE digestibility in diets containing MC.

When evaluating the digestibility of lambs fed with different fruit residues replacing sorghum silage, Almeida et al. (2018) found that DM digestibility was not influenced by the type of residue in the diet. However, NDF digestibility decreased in the diet containing passion fruit residue, which had an NDF content of 53.54%, a value similar to the diets containing TM in the present study (50.68%).

In the present study, it was expected that the inclusion of fungi could improve NDF digestibility, considering that the fungus *T. longibrachiatum* has cellulose and hemicellulose activity that assist in fiber digestion (ALMEIDA, 2019). However, this result was not observed, which could be related to the EE content of the diet.

The similarity in protein digestibility among the evaluated groups may be due to the parity in the protein content of the diets (Table 1).

The similarity in oxygen consumption and production of carbon dioxide and methane by the animals resulted in equivalent heat production. Despite the higher fiber content in the MC diets (Table 1), it was not sufficient to alter the animals' energy metabolism. Teixeira et al. (2015) evaluated the heat and methane production of sheep fed elephant grass at different cutting ages. They observed that heat and methane production were higher in animals receiving the younger plant, although it had a lower NDF content than the others. According to the authors, this result was a reflection of DMI, which was also higher in this group, and the digestibility of the fibrous fraction, which decreased as the age of the plant increased. In a study, Cavalcanti et al. (2019) did not find differences in heat and methane production in sheep fed *Andropogon gayanus* grass at different cutting ages. This occurred because the similarity in the NDF content of the grass in the evaluated groups may have interfered with the results, as well as the DMI, which was also similar.

It was expected that the inclusion of the fungus would alter the digestibility of the fibrous fraction of the diet and consequently, the methane production of the animals. However, such a result was not observed, which may be related to the concentration of EE present in the macauba cake. According to Santos et al. (2017), MC has a high percentage of unsaturated fatty acids, especially lauric (C12:0) and myristic (C14:0) acids, which have a toxic effect on some microorganisms, which could have reduced the effectiveness of the fungus.

Regarding the respiratory quotient, the average found was 1.01, indicating a predominance in the metabolism of carbohydrates. According to Berchielli, Pires, and Oliveira (2006), the respiratory quotient for carbohydrates, proteins, and fats are respectively 1.0, 0.8, and 0.7. Despite the higher EE content in the MC, it was not sufficient to alter the metabolism of nutrients.

The values of ingested gross energy (GEI) vary according to the energy content of the foods. In the present study, there was no difference between the evaluated groups, with an average of

317.87 kcal/kg BW/day. Digestible energy (DE) is equivalent to GEI minus losses in feces, which changes according to the digestibility of the food and can be lower in the case of more fibrous foods, such as MC. In this study, lambs fed MC showed lower values of DE, reflecting the higher energy lost in feces. It was observed that animals fed MC had lower dry matter and fiber digestibility, which could justify the higher energy loss in feces. According to MATRICARDE et al. (2021), the energy contained in feces and methane are the main forms of energy loss by ruminants, which varies depending on the type of diet offered.

In the present study, energy losses in feces ranged from 30.57% to 41.22%, which is close to the values reported by Brito Neto et al. (2023), who reported average losses of 37.36% for animals fed at intermediate and high levels.

Cavalcanti et al. (2019), when evaluating the energy intake of sheep fed with *Andropogon gayanus* grass hay at different cutting ages, observed that animals receiving hay cut at 56 days had higher ED intake (164.83 kcal/kg BW) than hay cut at 84 and 112 days (148.38 and 151.57 kcal/kg BW). On the other hand, energy losses in feces relative to GEI were higher in hay cut at 84 and 112 days (44.44% and 45.97%) compared to hay cut at 56 days (39.28%). From the nutritional composition of these hays, it was possible to observe that the NDF increased as the plant aged, resulting in lower digestibility of this fiber and consequently greater fecal loss, as was observed in the present study. The majority of energy lost in the form of gases is in the form of methane, which can vary from 2 to 12% of the energy from the food (RIVERA et al., 2010; GERASEEV et al., 2023). Methane and urine represent the energetic loss of DE metabolism, resulting in metabolizable energy (ME), i.e., energy available to the animal's cells (BERCHIELLI, PIRES, OLIVEIRA, 2008). In the present study, there was no difference in ME among the evaluated groups, as well as in the energy lost in urine and methane. Energy losses through urine should not exceed 5% of GEI (CAVALCANTI et al., 2019), a fact evidenced in the present study, where the average among

the evaluated groups was 3.02%. Assessing the energy intake of lambs fed banana crop residues, Santos (2020) found energy losses in urine of 3.79%, a value close to that found in this study. Cavalcanti et al. (2019) found lower values, with an average of 2.70%.

Energy losses in the form of methane range from 2 to 12%, varying according to the diet composition (GERASEEV et al., 2023). In this study, there was no difference between the evaluated groups, with an average of 4.99% in relation to GEI. Similar results were found by Machado et al. (2015) when assessing the energy use efficiency of sheep fed different genetic and maturity stage sorghums, reporting an average energy loss in the form of methane of 4.62% among the evaluated groups.

The caloric increment is the energy loss in the form of heat from the metabolism of nutrients. It is calculated based on the difference in heat production of the fed and fasting animal, which can vary depending on dry matter intake, food digestibility, animal breed, age, sex, among other factors. Although there was a difference in DM and NDF digestibility, DMI and heat production of the animals were similar among the evaluated groups, which allowed for a similar caloric increment, with an average of 65.66 kcal/kg BW/day. Machado et al. (2015) found values close to 31.56 kcal/kg BW, lower than those found in the present study, which may be due to differences in diet composition and also influenced by the animals; in this study, the authors used older and castrated animals. Cavalcanti et al. (2019) observed caloric increment values ranging from 25.18 to 47.84 kcal/kg BW in a study with *Andropogon gayanus* grass.

The ratio between metabolizable energy and digestible energy (ME/DE) was similar among the evaluated groups, with an average of 0.87, which is higher than the recommendation by global committees such as the National Research Council (NRC, 2007), which is 0.82.

Brito Neto et al. (2023) recorded ME/DE values of 0.85 in sheep raised in tropical climates. The authors mention that in this case, the value of 0.85 was more accurate in predicting ME

than 0.82, and in residual analysis, 0.85 showed less dispersion with the equation used in this study, indicating a lower possibility of error in prediction and better adjustment for diets of higher quality.

In the present study, the values found are similar to those reported by Brito Neto et al, (2023), reinforcing the importance of studies of that evaluate the energy metabolism of animals on tropical diets.

Conclusion

The inclusion of macauba cake in the diet reduces digestibility; however, it does not alter the energy utilization of the animals. Additionally, inoculation with cellulolytic fungi did not result in an improvement in diet utilization.

Table 1. Ingredients and nutritional composition of the experimental diets.

Ingredients (%)	Control Diet	MacaubaCake Diet
Tifton hay	40.0	40.0
Macaubacake	0.00	30.0
Ground corn	39.5	8.5
Soybeanmeal	16.5	17.5
Urea	1.0	1.0
Minerals	3.0	3.0
NutritionalComposition		
DM (% DM)	91.17	91.46
CP (% DM)	19.62	18.19
EE (% DM)	2.94	5.2
CNF (% DM)	30.71	20.31

NDF (% DM)	40.02	50.68
ADF (% DM)	16.99	26.32

Table 2. Dry Matter Intake (DMI), Neutral Detergent Fiber Intake (NDFI), Acid Detergent Fiber Intake (ADFI), Crude Protein Intake (CPI), Ether Extract Intake (EEI), Mineral Matter Intake (MMI), and Non-Fibrous Carbohydrate Intake (NFCI) of sheep fed with macauba cake inoculated with indigenous cellulolytic fungi.

Variables	Control Diet	TM Diet	TM Diet + Fungi	EPM	P value
DMI (g/day)	1375.71	1221.68	1178.0	46.48	0.069
NDFI (g/day)	414.36b	567.70a	538.98a	22.74	0.002
ADFI (g/day)	206.87b	363.55a	346.86a	19.44	0.001
CPI (g/day)	281.17	248.3	240.78	9.71	0.076
EEI (g/day)	41.66b	61.13a	60.88a	2.92	0.001
MMI (g/day)	99.08	104.75	101.79	3.63	0.733
NFCI (g/day)	539.44a	238.81b	235.59b	39.94	0.001

Means followed by different letters in the same row differ significantly according to Tukey's test at 5% significance level.

Table 3. Dry Matter Digestibility (DMD), Neutral Detergent Fiber Digestibility (NDFD), Crude Protein Digestibility (CPD), Ether Extract Digestibility (EED), Mineral Matter Digestibility (MMD), and Non-Fibrous Carbohydrate Digestibility (NFCD) of sheep fed with macauba cake inoculated with indigenous cellulolytic fungi.

Variables	Control Diet	TM Diet	TM Diet + Fungi	EPM	P value
-----------	--------------	---------	-----------------	-----	---------

DMD (%)	69.20a	59.74b	59.29b	1.26	0.001
CPD (%)	74.37	74.7	73.17	1.02	0.837
NDFD (%)	52.77a	44.95b	42.23b	1.6	0.012
EED (%)	67.67b	81.31a	82.90a	1.75	0.001
MMD (%)	59.96	60.88	61.07	1.28	0.203
NFCD (%)	81.15	73.81	79.56	2.02	0.381

Means followed by different letters in the same row differ significantly according to Tukey's test at 5% significance level.

Table 4. Oxygen consumption, CO₂ production, CH₄ production, heat production, and respiratory quotient of sheep fed with macauba cake inoculated with indigenous cellulolytic fungi.

Variables	Control Diet	TM Diet	TM Diet + Fungi	EPM	P value
Oxygen consumption (L/kg/BW ^{0.75})	28.06	26.99	26.33	0.474	0.345
CO ₂ production (L/kg/BW ^{0.75})	29.71	26.63	26.27	0.657	0.053
CH ₄ production (L/kg/BW ^{0.75})	2.63	2.09	2.28	0.122	0.191
Heat production (L/kg/BW ^{0.75})	140.85	133.3	130.36	2.451	0.203
Respiratory quotient	1.06	0.99	1.0	0.016	0.116

Means followed by different letters in the same row differ significantly according to Tukey's test at 5% significance level.

Table 5. Energy partitioning of sheep fed with macauba cake inoculated with indigenous cellulolytic fungi.

Variables	Control Diet	TM Diet	TM Diet + Fungi	EPM	P value
GEI(kcal/kgBW/day)	442.86	472.88	437.87	11.33	0.508
DE(kcal/kg BW/day)	306.80a	280.34ab	257.04b	7.33	0.039
ME(kcal/kgBW/day)	267.33	246.43	222.79	7.05	0.065
NE(kcal/kg BW/day)	195.66	182.1	161.79	7.38	0.307
EFeces(kcal/kgBW/day)	136.05b	192.53a	180.82ab	8.44	0.025
EUrine(kcal/kgBW/day)	14.44	13.85	12.56	0.61	0.491
EGases(kcal/kgBW/day)	25.03	20.05	21.69	1.14	0.095
CI (kcal/kg BW/day)	71.68	64.33	60.99	2.9	0.360
Fecal Loss (%)	30.57b	40.57a	41.22a	1.31	0.001
UrinaryLoss (%)	3.26	2.93	2.88	0.11	0.409
CH ₄ Loss (%)	5.69	4.34	4.98	0.3	0.145
IC Loss (%)	16.18	13.97	13.96	0.71	0.433
EDC	69.43a	59.43b	58.77b	1.31	0.001
ME/DE	0.87	0.88	0.87	0.01	0.626
NE/GE	0.44	0.38	36.97	1.24	0.094

Means followed by different letters in the same row differ significantly according to Tukey's test at a 5% significance level. Gross energy ingested (GEI), digestible energy (DE), metabolizable energy (ME), net energy (NE), energy in feces (Efeces), energy in urine (Eurine), energy in gases (Egases), caloric increment (CI), energy digestibility coefficient (EDC).

References

ALVES, A. R.; PASCOAL, L. A. F.; CAMBUÍ, G. B.; DA SILVA TRAJANO, J.; DA SILVA, C. M.; GOIS, G. C. Fiber for ruminants: Nutritional, methodological, and functional aspects. *Pubvet*, v. 10, p. 513-579, July, 2016. DOI: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n7.568-579>

ALMEIDA, J. C. S.; FIGUEIREDO, D. M.; AZEVEDO, K. K.; PAIXÃO, M. L.; RIBEIRO, E. G.; DALLAGO, G. M. Intake, digestibility, microbial protein production, and nitrogen balance of lambs fed with sorghum silage partially replaced with dehydrated fruit by-products. **Tropical Animal Health and Production**. 2018. DOI: [10.1007/s11250-018-1734-0](https://doi.org/10.1007/s11250-018-1734-0)

ALMEIDA, P. N. M.; DUARTE, E. R.; ABRÃO, F. O.; FREITAS, C. E. S.; GERASEEV, L. C.; ROSA, C. A. Aerobic fungi in the rumen fluid from dairy cattle fed different sources of forage. **R. Bras. Zootec.** v.41, n.11, p.2336-2342, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012001100006>

AZEVEDO, R. A.; SANTOS, A. C. R.; RIBEIRO JUNIOR, C. S.; BICALHO, F. L.; BAHIANSE, R. N.; ARAÚJO, L.; GERASEEV, L. C. Ingestive behavior of cows fed with macauba cake. *Ciênc. Rural*, v.43, n.8, p.1485-1488, Aug, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000800023>

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, A. G.; Ruminant Nutrition. FUNEP - Foundation for Research, Teaching, and Extension Support. p. 583, 2006.

BROUWER, E. 1965. Report of Sub-committee on Constants and Factors. In: Proceedings of 3rd Symposium on Energy Metabolism. EEAP Publication 11. **Academic Press, London**. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1438881>

BUDEL, J. C. C.; CASTRO, V. C. G.; SOUZA, S. M.; NAHÚM, B. S.; BARBOSA, A. V. C.; RODRIGUES, L. S.; BENDT, A.; RENNÓ, L. N.; MARAIS, E.; SILVA, J. A. R.; RODRIGUES, T. C. G. C.; SILVA, A. G. M.; LOURENÇO JUNIOR, J. B. Methane emission, intake, digestibility, performance and blood metabolites in sheep supplemented

with cupuassu and tucuma cake in the eastern Amazon. **Frontiers in Veterinary Science**, p.1-9. abril 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1181765>

BRITO NETO, A. S.; HERBSTER, C. J. L.; GERASEEV, L. C.; MACEDO JUNIOR, G. L.; NASCIMENTO, D. R.; ROCHA, A. C.; PEREIRA, M. I. B.; MARCONDES, M. I.; SILVA, L. P.; BEZERRA, L. R.; OLIVEIRA, R. L.; PEREIRA, E. E. Feed energy utilization by hair sheep: does the 0.82 conversion factor of digestible to metabolizable energy need to be revised? **The Journal of Agricultural Science**. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859623000515>

CAVALCANTI, A. C.; SALIBA, E. O. S.; COUTO FILHO, C. C. C.; SILVA, S. A.; SILVA, C. M. R.; MACÊDO, T. M. Energy partitioning and methane production in sheep fed with *Andropogon Gayanus* hay harvested at three different ages. *Revista de La Facultad de Agronomía*. v 118 (1). p. 99 -110, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e010>

COELHO, G. D. J.; ALVES, K. S.; MEZZOMO, R. Probiotics as an alternative to ionophores in ruminant diets. *R. Ciênc. Animal*. v. 30, n. 4, p. 117-130, 2020. DOI: <https://revistas.uece.br/index.php/cienciaanimal/article/view/9765>

DANTAS FILHO, L. A.; LOPES, J. B.; VASCONCELOS, V. R.; OLIVEIRA, M. E.; ALVES, A. A.; ARAÚJO, D. L. C.; CONCEIÇÃO, W. L. F. Inclusion of dehydrated cashew pulp in the feeding of sheep: performance, digestibility, and nitrogen balance. *R. Bras. Zootec.*, v.36, p.147-154, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000100018>

DE HOOG, G.S., GUARRO, J., GENE, J., FIGUERAS, M.J., 2000. Atlas of clinical fungi. In: *Centraal Bureau Voor Schimmel Cultures. CentraalbureauvoorSchimmelcultures (CBS)*, Utrecht, The Netherland, 1126. https://www.researchgate.net/publication/41903192_Atlas_of_clinical_fungi_2nd_edn_GS_de_Hoog_J_Guarro_J_Gene_MJ_Figueras

DE PAULA, K. S.; JUNIOR, O. L. F. Use of crop residues and pineapple industrialization waste in ruminant feeding: A review. *PUBVET*. v.13, n.2, a271, p.1-7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n2a271.1-7>

DETMANN, E. Methods for food analysis, INCT - Animal Science. Visconde 425 do Rio Branco, MG. Suprema. 2012.

FREITAS, C. E. S., ABRÃO, F. O., SILVA, K. D., ALMEIDA, P. D., and DUARTE, E. R. Aerobic fungi in the large intestine of lambs and sheep raised on tropical pastures. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 64, 225-227. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000100033>

GERASEEV, L. C.; DUARTE, E. R.; VIEIRA, E. A. ; IBARRA, N.G. ; CHAVES, A. S. ; SANTOS, S.S. ; AZEVEDO, A. M. ; PASSETTI, R. A. C. Does macauba cake alter nutrient digestibility and microorganism population in the rumen of sheep? **Tropical Animal Health and Production**, v. 55, p. 234, 2023. DOI: [10.1007/s11250-023-03645-w](https://doi.org/10.1007/s11250-023-03645-w)

GERASEEV, L.C.; SILVA, N. C.; CHAVES, A. S.; COSTA, D. S.; ORNELAS, L. T. C.; CROCOMO, L. F.; MOREIRA, S. J. M. Use of Sunflower meal as a protein source in diets of growing lambs. **R. Bras. Zootec.** v.52, e20220144, 2023. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz5220220144>

HASSAN, GADO, H.; ANELE, U. Y.; BERASAIN, N. A. M.; SALEM, A. Z. M. Influence of dietary probiotic inclusion on growth performance, nutrient utilization, ruminal fermentation activities and methane production in growing lambs. **Anim. Biotech.** v. 31, n. 4, p. 365-372, 2020. DOI: [10.1080/10495398.2019.1604380](https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1604380)

MACHADO, A. S.; CAFÉ, M. B.; GODOY, M. M.; RIOS, A. D. F.; FRANÇA, A. F. S.; ALMEIDA, E. M.; DIJKSTRA, D.; OLIVEIRA JUNIOR, A. R.; SILVA, L. O.; RIBEIRO, F. M. Ingestive behavior of lactating cows fed diets with different lipid contents. *Vet. Med. J., Recife*, v.13, n.3, p.429-43, Jul-Sep, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26605/medvet-v13n3-3305>

MACHADO, F. S.; RODRIGUEZ, N. M.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; RIBAS, M. N.; PÔSSAS, F. P.; TOMICH, T. R. Energy partitioning and methane emission by sheep fed sorghum silages at different maturation stages. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** v. 67, n. 3, p.790-800. Jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-7177>

MATRICARDE, V. A. N., DE OLIVEIRA, I. F., FACTORI, M. A. Reducing environmental impacts in ruminant production through the use of additives. *Alomorfia Journal*, Presidente Prudente, v. 5, n. 2, p. 331-339, 2021. DOI: <https://fatecpp.edu.br/alomorfia/index.php/alomorfia/article/view/109>

MURTA, R. M.; CHAVES, M. A.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M.; SILVA, F. F.; ROCHA NETO, A. L.; EUTÁQUIO FILHO, A.; SANTOS, P. E. F. Performance and apparent nutrient digestibility in sheep fed diets containing sugarcane bagasse treated with calcium oxide. *Braz. J. Anim. Sci.*, v.40, n.6, p.1325-1332, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000600022>

OLIVEIRA, M. V.; FERREIRA, I. C.; MACEDO JUNIOR, G. L.; SOUZA, L. F.; SOUZA, J. T. L.; SANTOS, R. P. Intake and nutrient digestibility of palm kernel cake in sheep diet. *Braz. J. Anim. Sci.*, v.16, n.2, p.179-192, Apr./Jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1089-6891V16I225615>

RIVERA, A. R., BERCHIELLI, T. T., MESSANA, J. D., VELASQUEZ, P. T., FRANCO, A. V. M., FERNANDES, L. B. Ruminal fermentation and methane production in cattle fed Tifton 85 grass hay and concentrate with additives. *Braz. J. Anim. Sci.*, v. 39, p. 617-624, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000300022>

RODRIGUEZ N.M.; CAMPOS, W.E.; LACHICA, M.L.; BORGES, I.; GONÇALVES, L.C. A calorimetry system for metabolism trials. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 59, n. 2, p.495-500, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352007000200033>

SANTOS, A. C. R.; AZEVEDO, R. A.; VIRGINIO JÚNIOR, G. F.; RODRIGUEZ, N. M.; DUARTE, E. R.; GERASEEV, L. C. Effects of macauba cake on profile of rumen protozoa of lambs. *R. Bras. Zootec.*, v. 46, n. 3, p. 251-256, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000300010>

TEIXEIRA, A. M.; GONÇALVES, L. C.; VELASCO, F. O.; RIBEIRO JUNIOR, G. O.; FARIA JÚNIOR, W. G.; CRUZ, D. S. G.; JAYME, D. G.; Respiriometry and methane

emissions from sheep fed elephant grass cut at different ages. *Bioscience Journal*. v. 31, n. 3, p. 841-849, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n3a2015-22577>

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p. DOI: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1044355>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A torta de macaúba, embora seja um alimento fibroso e tenha substituído o milho na dieta, não alterou o consumo dos animais, demonstrando o potencial do coproduto na alimentação de cordeiros em confinamento.

A torta de macaúba inoculada com fungos autóctones celulolíticos não resultou em melhora na digestibilidade e consumo dos nutrientes, além de não alterar o metabolismo energético dos animais.