



UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE DO TOCANTINS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA

LAYSA BARBOSA NUNES

**ÓLEO ESSENCIAL DE CAJU (*Anacardium occidentale L.*) NA FERMENTAÇÃO
RUMINAL *IN VITRO* DE DIETAS COM DIFERENTES RELAÇÕES VOLUMOSO:
CONCENTRADO**

ARAGUAÍNA (TO)

2023

LAYSA BARBOSA NUNES

ÓLEO ESSENCIAL DE CAJU (*Anacardium occidentale L.*) NA FERMENTAÇÃO
RUMINAL *IN VITRO* DE DIETAS COM DIFERENTES RELAÇÕES VOLUMOSO:
CONCENTRADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
UFNT – Universidade Federal do Norte do
Tocantins – Campus Universitário de
Araguaína para obtenção do Título de Bacharel
em Zootecnia, sob orientação da Profa. Dra.
Elis Regina de Queiroz Vieira.

Orientadora: Dra. Elis Regina de Queiroz
Vieira.

ARAGUAÍNA (TO)

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

B238◆

Barbosa Nunes, Laysa.

ÓLEO ESSENCIAL DE CAJU (*Anacardium occidentale* L.) NA
FERMENTAÇÃO RUMINAL IN VITRO DE DIETAS COM DIFERENTES
RELAÇÕES VOLUMOSO: CONCENTRADO. / Laysa Barbosa Nunes. –
Araguaína, TO, 2023.

37 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Araguaína - Curso de Zootecnia, 2023.

Orientadora : Elis Regina de Queiroz Vieira

1. Dióxido de Carbono. 2. Metano. 3. Ruminantes. 4. Degradabilidade. I.
Título

CDD 636

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**


LAYSA BARBOSA NUNES

ÓLEO ESSENCIAL DE CAJU (*Anacardium occidentale L.*) NA FERMENTAÇÃO
RUMINAL *IN VITRO* DE DIETAS COM DIFERENTES RELAÇÕES VOLUMOSO:
CONCENTRADO

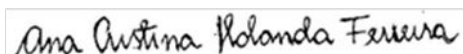
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UFNT – Universidade Federal do Norte do Tocantins – Campus Universitário de Araguaína, Curso de Zootecnia, foi avaliado para a obtenção do Título de Bacharel em Zootecnia e aprovado em sua forma final pelo Orientador(a) e pela Banca Examinadora.

Data de Aprovação: 10/11/2023

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ELIS REGINA DE QUEIROZ VIEIRA
Data: 21/12/2023 16:48:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Elis Regina de Queiroz Vieira, Orientadora, UFNT



Prof. (a) Dra. Ana Cristina Holanda Ferreira, Examinadora, UFNT

Murilo Exaltação Saúde, Zootecnista, Examinador, UFNT

Dedico este trabalho ao professor Dr. Luciano Fernandes Sousa (*in memoriam*) pela dedicação e orientação ao grupo GEFERPROG do qual fiz parte durante 2 anos, e acima de tudo, pela amizade. O seu legado jamais será esquecido. Descanse em paz, professor!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro momento, quero agradecer a Deus porque sem Ele eu não teria chegado até aqui. Deus, por todo amor gratuito, cuidado, força e resiliência que me concedeu, eu te agradeço.

Agradeço a minha família pela provisão de tudo que precisei para me manter até aqui. Com todo amor, cuidado e respeito a minha mãe, Eliane Barbosa, que sempre orou e me abençoou em tudo. Te amo.

Obrigada Fábio, meu paiadrasto, por toda proteção e ajuda.

As minhas amigas e companheiras de curso e de vida, Anna Bheatriz, Andressa Carvalho e Daiany Evangelista, pela amizade sólida que nós cultivamos nesses anos, sou eternamente grata a tudo que vocês fizeram por mim. Obrigada, por cada risada, choro e companheirismo. Nossos perrengues enfrentados já estão valendo a pena.

As minhas colegas de grupo de estudo (GEFEPROG), Livia, Isabella, Victoria, Amanda e Vitória, agradeço a vocês por muitas vezes fazerem que nossos trabalhos no laboratório ficassem mais leves de serem vividos, muita gratidão a vocês. Valeu a pena todo esforço!

Agradecimento em especial para a Livia que foi minha parceira desde o primeiro projeto, muito obrigada pela longa jornada.

A minha orientadora, Profa. Dra. Elis Regina, por todo conhecimento, ajuda e força dada. Agradeço mais ainda por ter se tornado uma grande amiga que sempre levarei comigo.

Ao Prof. Dr. Luciano Fernandes (*in memoriam*), pelas orientações, oportunidades e por acreditar em mim.

A Profa. Dra. Ana Cristina Holanda Ferreira, por toda dedicação e ensinamentos.

Ao Zootecnista Murilo Exaltação Saúde, por toda ajuda e ensinamentos, serei para sempre grata.

Aos técnicos do laboratório, Adriano e Josimar, por cada ajuda naquele laboratório.

A turma de Zootecnia de 2019.2, por todos os momentos vividos.

Sou eternamente grata a todas as pessoas que tiveram participação direta e indireta na minha formação.

Obrigada.

RESUMO

A pecuária é uma das fontes responsáveis por expelir metano (CH₄), oriundo da fermentação entérica dos ruminantes, todavia, a manipulação com uso de antibiótico para reduzir a produção e melhorar a eficiência de utilização das dietas pelos ruminantes tem sido proibido por exemplo nos países da União Europeia. Na busca de alternativas naturais para substituir os antibióticos, os óleos essenciais (OE) de plantas são uma boa opção, por exercer atividade antimicrobiana, em especial sobre as bactérias gram-positivas. O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), é uma planta originária do Brasil, e o efeito antibiótico do seu OE tem sido conhecido há 60 anos. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito da adição de OE de caju em dietas com diferentes proporções volumoso:concentrado sobre a fermentação ruminal *in vitro*. O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), Campus de Araguaína - TO. O inóculo ruminal foi obtido de três bovinos fistulados (250 ± 25 kg de peso corporal). O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com arranjo fatorial 4 × 3, sendo os fatores as três dietas e os três níveis de adição do óleo, perfazendo nove tratamentos e com quatro blocos (animais doadores). Os tratamentos consistiram em três dietas com diferentes relações volumoso:concentrado (100:0; 67:33, 33:67 e 0:100) e adição de três níveis de OE de caju (0; 1 e 2%). Foi avaliada a degradação ruminal da matéria seca, a produção de gases e a produção de metano, gás este de interesse ambiental. As curvas geradas na produção de gás foram comparadas por meio de teste de paralelismo e identidade. Os restantes dados obtidos foram submetidos à análise de variância, as médias das dietas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro tipo I. Analisando-se a cinética de fermentação ruminal, observou-se que a produção total de gases (parâmetro A) foi maior para as dietas formuladas com maior proporção de concentrado e menor para as dietas formuladas com menor proporção de volumoso, independentemente do nível de inclusão do óleo essencial de caju. A inclusão do óleo essencial de caju nas dietas apresenta pouca influência na degradabilidade ruminal *in vitro* e sua atuação sobre a produção de metano *in vitro* depende da relação volumoso:concentrado da dieta. A inclusão de 1 ou 2% de OE de Caju reduz a degradabilidade da matéria seca, porém não altera a degradabilidade da matéria orgânica. As dietas com maiores proporções de concentrado reduzem a produção de metano, sendo que, a inclusão a 1% do óleo essencial de caju estimula ainda mais essa redução.

Palavras-chave: Óleo essencial de caju. Degradabilidade. Metano. Ruminantes.

ABSTRACT

Livestock farming is one of the sources responsible for expelling methane (CH₄), originating from the enteric fermentation of ruminants, however, manipulation with the use of antibiotics to reduce production and improve the efficiency of use of diets by ruminants has been prohibited, for example in countries of the European Union. In the search for natural alternatives to replace antibiotics, plant essential oils (EO) are a good option, as they exert antimicrobial activity, especially against gram-positive bacteria. The cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) is a plant originating in Brazil, and the antibiotic effect of its EO has been known for 60 years. Therefore, the objective was to evaluate the effect of adding cashew EO to diets with different forage:concentrate ratios on in vitro ruminal fermentation. The experiment was carried out at the Federal University of Northern Tocantins (UFNT), Campus de Araguaína - TO. Ruminal inoculum was obtained from three fistulated cattle (250 ± 25 kg body weight). The experiment was conducted in a randomized block design with a 4 × 3 factorial arrangement, with the factors being the three diets and three levels of oil addition, totaling nine treatments and four blocks (donor animals). The treatments consisted of three diets with different forage:concentrate ratios (100:0; 67:33, 33:67 and 0:100) and the addition of three levels of cashew EO (0; 1 and 2%). Ruminal dry matter degradation, gas production and methane production, a gas of environmental interest, were evaluated. The curves generated in gas production were compared using parallelism and identity tests. The remaining data obtained were subjected to analysis of variance, the means of the diets were compared using the Tukey test at a 5% probability of type I error. Analyzing the kinetics of ruminal fermentation, it was observed that the total production of gases (parameter A) was higher for diets formulated with a higher proportion of concentrate and lower for diets formulated with a lower proportion of roughage, regardless of the level of inclusion of cashew essential oil. The inclusion of cashew essential oil in diets has little influence on rumen degradability in vitro and its effect on methane production in vitro depends on the forage:concentrate ratio of the diet. The inclusion of 1 or 2% of Cashew EO reduces the degradability of dry matter, but does not alter the degradability of organic matter. Diets with higher proportions of concentrate reduce methane production, and the inclusion of 1% cashew essential oil further stimulates this reduction.

Keywords: Carbon dioxide. Degradability. Methane. Ruminants.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

- Quadro 1** - Inclusão dos diferentes níveis de óleo essencial de caju (0, 1 e 2%) e suas respectivas proporções de volumoso:concentrado nas dietas 22
- Gráfico 1** - Curva da produção cumulativa de gases em função da inclusão de 0% do óleo essencial de caju em diferentes dietas contendo diferentes relações volumoso:concentrado 28
- Gráfico 2** – Curva da produção cumulativa de gases em função da inclusão de 1% do óleo essencial de caju em diferentes dietas contendo diferentes relações volumoso:concentrado 28
- Gráfico 3** - Curva da produção cumulativa de gases em função da inclusão de 2% do óleo essencial de caju em diferentes dietas contendo diferentes relações volumoso:concentrado 29
- Gráfico 4** - Média da curva da produção acumulativa de gases em função dos tempos de incubação com a inclusão de óleo essencial de caju nas dietas 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela das dietas experimentais com diferentes relações volumoso:concentrado	21
Tabela 2 – Parâmetros da cinética de fermentação ruminal <i>in vitro</i> de dietas com adição crescente de concentrado, utilizando o modelo de France e degradabilidade efetiva.....	24
Tabela 3 - Equações da produção acumulativa de gases (PCG), em mL/g de MS de dietas com adição crescente de concentrado	25
Tabela 4 - Degradabilidade da matéria seca (DMS) das dietas em função da adição do óleo essencial de caju	26
Tabela 5 - Degradabilidade da matéria orgânica (DMO) das dietas em função da adição do óleo essencial de caju	26
Tabela 6 - Produção de Metano (CH ₄) das dietas em função da adição do óleo essencial de caju	27

LISTA DE SIGLAS

CCA - Centro de Ciências Agrárias

CEE - Consumo de Extrato Etéreo

CH₄ - Metano

CMS - Consumo da Matéria Seca

DBC - Delineamento em Bloco Casualizado

DMO - Degradação da Matéria Orgânica

DMS - Degradação da Matéria Seca

EE - Extrato Etéreo

FDN - Fibra em Detergente Neutro

LCC- Líquido da Castanha de Caju

MM - Matéria Mineral

MO - Matéria Orgânica

MS - Matéria Seca

OE - Óleo Essencial

PB - Proteína Bruta

PCG - Equações da produção acumulativa de gases

PPGIZT - Programa de Pós-Graduação Integrado de Zootecnia nos Trópicos

UFNT- Universidade Federal do Norte do Tocantins

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. HIPÓTESE	15
3. OBJETIVOS GERAIS	15
3.1 Objetivos específicos	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 Óleos essenciais e óleos	17
4.2 Óleo essencial de caju	17
4.2.1 Composição do óleo de caju	17
4.3. Produção de metano nos ruminantes	17
5. MATERIAL E MÉTODOS	19
5.1 Tratamentos e composição dos alimentos	19
5.2 Análises Bromatológicas	20
5.3 Ensaio de produção de gases	20
5.4 Análises de metano dos gases produzidos	21
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
7. CONCLUSÃO	31
REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

A criação de animais ruminantes surge como uma atividade variada que não apenas sustenta comunidades rurais, mas também amplia suas oportunidades de prosperidade. Essa prática oferece um leque variado de recursos, abrangendo desde a produção de carne e leite para suprir necessidades alimentares até o fornecimento de lã e peles utilizadas na confecção de vestuário. De acordo com informações da ABIEC (2022) o Brasil ocupou a segunda posição mundial na produção de carne bovina, com 10,79 milhões de toneladas equivalente carcaça (TEC).

Nos últimos dez anos, o Brasil apresentou o maior crescimento na produção de carne bovina entre os maiores produtores do mundo, com um aumento de 1,7 milhão de toneladas nesse período. Esse aumento na produção de carne bovina está relacionado ao crescente consumo de carne por parte da população, tanto a nível nacional como internacional. Para atender a essa demanda, tem ocorrido um incremento no efetivo de animais ruminantes, levando à expansão das fronteiras de criação e com isso levando a necessidade de incrementar o desempenho produtivo dos rebanhos.

Como uma consequência do aumento do efetivo de ruminantes e otimização do desempenho produtivo, aumentam-se as emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo Brasil citado como um dos maiores contribuintes nas emissões de GEE (MOMBACH *et al.*, 2016). A pecuária é responsável por expelir metano (CH_4), oriundo da fermentação entérica dos ruminantes, e por emitir óxido nítrico (N_2O), decorrente da deposição de dejetos dos animais (BERCHIELLI *et al.*, 2012). Na pecuária leiteira tem sido estimado (g/d) que vacas em lactação produzem maior quantidade de CH_4 (354), quando comparadas com vacas secas (269) e novilhas (223). Por sua vez, na pecuária de corte, a produção de CH_4 tem sido estimada em 161; 240-350 e 323 g/d, para novilhos, vacas e animais em confinamento, respectivamente (BROUCEK, 2014).

Os ruminantes representam uma das poucas fontes produtoras de CH_4 que podem ser manipuladas, pois a produção de metano por bovinos é proveniente da fermentação ruminal, que está relacionada ao tipo de animal, ao consumo e à digestibilidade de alimento (RIVERA *et al.*, 2010). Uma das estratégias de manipulação da fermentação ruminal é o uso de aditivos ionóforos na dieta, os quais, pela sua ação antibiótica reduzem a formação de CH_4 , e aumentam produção de ácido propiônico (NRC, 2000). A produção de CH_4 é responsável pela perda de 2 a 12% da energia bruta do alimento (JHONSON *et al.*, 1993), portanto, os valores de energia

metabolizável e líquida dos alimentos devem se incrementar quando os ionóforos são usados na dieta (NRC, 2000). Além disso, estes compostos reduzem a proteólise e desaminação da proteína dietética no rúmen (NICODEMO, 2001), portanto, maior é a quantidade de proteína da dieta que atinge o intestino delgado.

Na União Europeia o uso de antibióticos promotores de crescimento foi proibido (Portaria 1831/2003/EC), com o intuito de reduzir os riscos de gerar resistência microbiana e preservar a eficácia de alguns antibióticos de uso humano. Um dos compostos proibidos é a monensina sódica, um ionóforo amplamente utilizado (GUTIÉRREZ *et al.*, 2013). Perante o exposto, iniciou-se a busca de alternativas nutricionais que permitirem diminuir a produção de CH₄ pelos ruminantes, sendo uma delas o uso de óleos e óleos essenciais (OE) de plantas, cujos metabolitos secundários tem a propriedade de manipular a fermentação ruminal para melhorar a eficiência da produção dos ruminantes (BENCHAAR *et al.*, 2008).

No Brasil, o efeito antibiótico do OE de caju (*Anacardium occidentale* L.) foi reportado por Malheiro (1950) em cães com sarna demodécica. O ácido anacárdico encontra-se em altas concentrações no OE caju, sendo que o uso deste composto tem gerado mais ácido propiônico e diminuído a produção de metano em incubação ruminal *in vitro* (VAN NEVEL *et al.*, 1971).

2. HIPÓTESE

A adição do óleo essencial de caju (*Anacardium occidentale L.*) em dietas contendo diferentes relações volumoso:concentrado funciona como modulador da fermentação ruminal, reduz a produção de metano e não melhora a degradabilidade da matéria seca.

3.OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de óleo essencial de caju (*Anacardium occidentale L.*) em dietas com diferentes relações volumoso:concentrado sobre a fermentação ruminal pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases.

3.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o efeito da adição de óleo essencial de caju sobre a produção de gases *in vitro*, degradação ruminal da matéria seca (DMS) e a degradação ruminal da matéria orgânica (DMO) de dietas com diferentes proporções volumoso:concentrado.

- b) Analisar o efeito da adição de óleo essencial de caju sobre a produção alguns gases de interesse ambiental (metano) *in vitro* de dietas com diferentes proporções de volumoso:concentrado.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Óleos essenciais

Ao contrário do seu nome, os OE não são óleos verdadeiros (ou seja, lipídios) e são comumente derivados dos componentes responsáveis pela fragrância, ou *Quinta Essentia*, das plantas (BENCHAAR *et al.*, 2008). Os óleos essenciais, também conhecido como óleos voláteis ou óleos etéreos ou essências, são produtos líquidos da destilação a vapor ou com água de partes de plantas (folhas, caules, cascas, sementes, frutos, raízes e exsudatos vegetais) (FAO, 2005).

Os OE são misturas complexas de metabolitos secundários de fenilpropanos (derivados da via do chiquimato) com baixo ponto de ebulição, e terpenos (derivados das vias do mevalonato e da desoxilulose) (GREATHEAD, 2003). Estes óleos são considerados seguros para consumo humano e animal e são classificados como seguros pela Food and Drug Administration dos Estados Unidos. No Brasil, os óleos essenciais são classificados junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020) como aditivo aromatizante destinado a fabricantes de alimentos para aves e ruminantes.

Muitos OE, dependendo da dosagem, têm efeitos bactericidas e bacteriostáticos sobre os microrganismos (SMITH-PALMER *et al.*, 1998). Segundo Cowan (1999), dos OE avaliados, 60% são inibitórios dos fungos e 30% são inibitórios das bactérias, tanto das bactérias Gram positivas quanto das Gram negativas (BENCHAAR *et al.*, 2008).

Segundo Acamovic & Brooker (2005), os OE exercem suas atividades antimicrobianas interagindo com processos associados à membrana celular bacteriana, incluindo transporte de elétrons, gradientes de íons, translocação de proteínas, fosforilação e outras reações dependentes de enzimas. Os OE apresentam alta afinidade pelos lipídios das membranas das células bacterianas devido à sua natureza hidrofóbica, e suas propriedades antibacterianas estão evidentemente associadas ao seu caráter lipofílico (BENCHAAR *et al.*, 2008).

Entre os compostos presentes no OE das plantas com atividade microbiana encontram-se o timol nos óleos de tomilho (*Thymus* spp.) e orégano (*Origanum* spp.), o eugenol nos óleos de botão de cravo (*Eugenia caryophyllus*) e canela (*Cinnamomum cassia*), a capsaicina nos óleos de páprica (*Capsicum annum*) e pimenta (*Capsicum annum* ssp.), a antraquinona nos óleos de aloe (*Aloe succotrina*) e senna (*Senna alexandrina*), e o carvacrol, cinamaldeído e anetol nos óleos de orégano, canela e anis (*Pimpinella anisum*), respectivamente (CALSAMIGLIA *et al.*, 2007).

4.2. Óleo essencial de caju

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), é uma planta originária do Brasil, encontra-se disseminado em todo o mundo tropical, sendo cada vez maior o interesse em sua exploração econômica. O principal objetivo da exploração do cajueiro tem sido a obtenção da castanha, cujo beneficiamento resulta da amêndoa, que tem alcançado altas cotações no mercado internacional de nozes comestíveis (RAMOS *et al.*, 1996). Na casca da castanha de caju, o líquido pode ser obtido através de dois métodos: extração com óleo quente (a temperaturas entre 187-194°C) ou por meio do processo de torrefação, na qual o aquecimento da castanha faz com que a casca externa se rompa, liberando alquilfenóis presentes no mesocarpo, permitindo a remoção da casca interna e a obtenção da amêndoa. Essa amêndoa tem um valor econômico significativo para o Brasil (MAZZETTO *et al.*, 2009; MARSIGLIO, 2012).

O líquido proveniente da casca da castanha de caju (LCCC) pode ser obtido por métodos a frio, como a prensagem, ou por extração com solventes, visando a remoção do CO₂. O LCCC possui diversas aplicações industriais, como na fabricação de tintas, lubrificantes, curtumes, aditivos, fungicidas, inseticidas, entre outras. Além disso, o resíduo da casca pode ser aproveitado como uma fonte de energia nas indústrias, através da sua queima em fornalhas (WALLACE, 2004; MARSIGLIO, 2012).

4.2.1 Composição do óleo essencial de caju

Na sua composição de fenoles observou-se 71,7% de ácido anacárdico, 18,7% de cardol, 4,7% decardanol, 2,7% de fenoles não identificados e 2,2% de substâncias polares (GEDAM & SAMPATHKUMARAN, 1986). No Brasil, o efeito antibiótico do OE de caju foi reportado por Malheiro (1950) em cães com sarna demodécica, e seu uso ter gerado alterações favoráveis na fermentação ruminal, como a diminuição da produção de metano (VAN NEVEL *et al.*, 1971).

O ácido anacárdico e o cardol, componentes do óleo de caju, exibem atividade antimicrobiana devido à sua natureza fenólica. Atuando como um ionóforo monovalente, estes compostos protegem as plantas contra ataques de fungos e bactérias. Além disso, o cardanol demonstrou ter propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes em estudos anteriores (Amoratti *et al.*, 2001; Trevisan *et al.*, 2006).

O óleo essencial de caju, rico nesses compostos ativos, pode ser incorporado em rações para aves de engorda em quantidades de até 8 kg/tonelada, sem impactos adversos (Toyomizu

et al., 2003). Adicionalmente, o óleo essencial de caju exibe estabilidade mesmo em temperaturas de extrusão elevadas, superiores a 200°C.

4.3. Produção de metano nos ruminantes

No processo de fermentação ruminal dos carboidratos, a produção de acetato e butirato libera maior quantidade de H₂, produto da oxidação do NADH. A retirada deste gás depende da atividade das bactérias metanogênicas que o utilizam para produzir CO₂ e CH₄. No entanto, a produção deste último vai depender do tipo de dieta do animal. Uma vez que a quantidade de CH₄ produzido no rúmen é proporcional à produção de acetato, dietas com maior nível de volumoso geram maior produção de CH₄, enquanto dietas com altos teores de concentrado aumentam a produção de propionato reduzindo a produção de H₂, e, portanto, a síntese de CH₄ (KOZLOSKI, 2019).

Além de ter um impacto ambiental significativo, a produção de metano durante o processo digestivo dos animais resulta em uma utilização ineficiente da energia dos alimentos consumidos, prejudicando a produtividade dos animais em termos de conversão alimentar. (COTA *et al.*, 2014).

A fermentação entérica e a consequente produção de metano são etapas naturais do processo digestivo dos ruminantes. O metano gerado durante a eructação é liberado para o meio ambiente, sendo reconhecido como a principal fonte de gases de efeito estufa indesejados associados à produção pecuária. (BERCHIELLI *et al.*, 2012).

Dentro desse contexto, a gestão alimentar emerge como uma estratégia crucial na redução da produção de metano pelos ruminantes. A introdução de forragens de qualidade otimizada aumenta a digestibilidade e o consumo alimentar, enquanto dietas equilibradas com proporções adequadas de amido têm impacto na modificação da fermentação ruminal. Isso, por sua vez, influencia na população dos microrganismos ruminais e os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) (PIÑEIRO VÁZQUEZ *et al.*, 2015).

A inclusão de extratos vegetais representa uma alternativa viável para a manipulação ruminal e a minimização dos efeitos adversos na microbiota ruminal produtora de H₂, resultando em mudanças no processo de fermentação que favorecem a produção de propionato. Esse ajuste promove uma utilização mais eficiente da energia dos alimentos pelo animal (PIÑEIRO VÁZQUEZ *et al.*, 2015; LI *et al.*, 2016).

4.4 Técnica de degradação *in vitro*

Nas últimas duas décadas, estudos relacionados à produção e digestibilidade de alimentos têm demandado recursos significativos, incluindo mão-de-obra, ração e tempo. Nesse contexto, as técnicas *in situ*, como aquelas descritas por Orskov *et al.* (1980), tornaram-se amplamente utilizadas para avaliar alimentos. No entanto, esses métodos estão perdendo atratividade devido a preocupações com o bem-estar animal, os custos associados à manutenção de animais submetidos a cirurgias e as limitações em relação ao número de amostras que podem ser analisadas de uma só vez. Além disso, há evidências sugerindo que a técnica dos sacos artificiais não é adequada para todos os tipos de alimentos destinados a animais.

Como resultado dessas considerações, houve um renovado interesse no potencial dos métodos *in vitro*, especialmente aqueles baseados em sistemas de produção de gás, para avaliar alimentos.

A Técnica de Leitura de Pressão (RPT) é um sistema de avaliação de dieta *in vitro* que se baseia em uma técnica semiautomática de produção de gás. Nesse método, os substratos são incubados com líquido ruminal tamponado em frascos de fermentação selados. Um transdutor de pressão, conectado a um computador, permite a coleta direta dos valores acumulados de pressão de gás no espaço livre, que são então inseridos em uma planilha.

A grande vantagem desse sistema é sua capacidade de fornecer informações não apenas sobre a taxa e extensão da degradação dos alimentos, mas também sobre a eficiência da fermentação e a cinética da degradação. Isso o torna adequado para uma ampla gama de aplicações, como a avaliação sistemática de alimentos tropicais. Em resumo, o sistema RPT é uma escolha ideal em situações em que restrições orçamentárias ou a necessidade de conhecimentos técnicos mais avançados tornam os sistemas mais complexos inadequados.

As medições de pressão obtidas com esse sistema são posteriormente utilizadas para calcular o volume de gás por meio de uma função quadrática derivada de medidas simultâneas de pressão e volume. Comparado com a técnica da seringa, conforme descrita por Theodorou *et al.* (1994), as modificações realizadas melhoraram tanto a precisão (reduzindo o erro do operador) quanto a velocidade com que as medições podem ser realizadas (5-6 segundos por frasco), aumentando substancialmente a capacidade analítica, permitindo a análise de 336 frascos ou 75 substratos em cada série de incubação.

A semiautomação da técnica de gás *in vitro*, alcançada por meio da captura direta de dados e da estimativa do volume de gás a partir da pressão acumulada no espaço livre, reduziu significativamente o tempo necessário para as análises e o potencial de erros associados à

estimativa da quantidade de gases de fermentação liberados. Isso possibilita medições em alta frequência, descrevendo com maior precisão a fase inicial de atraso, e aumentando substancialmente a capacidade do sistema atual. Compreender a cinética de degradação dos alimentos no rúmen é fundamental para desenvolver abordagens eficazes de nutrição para animais ruminantes.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), Campus de Araguaína - TO, que está localizado nas coordenadas 6°34'52'', de latitude sul, e 48°38'40'' de longitude oeste e 152,0 m de altitude na Amazônia Oriental Brasileira. Foi realizado um experimento de fermentação ruminal *in vitro* na qual o inóculo ruminal foi obtido de quatro bovinos (250 ± 25 kg de peso corporal) fistulados e canulados no rúmen.

5.1 Tratamentos e composição bromatológica dos alimentos

No experimento foi utilizado o delineamento de blocos casualizados (DBC) em arranjo fatorial 4×3, sendo os tratamentos consistindo em quatro dietas com diferentes relações volumoso: concentrado (100:0; 67:33, 33:67 e 0:100) e adição de três níveis de óleo de caju (0; 1 e 2%). As dietas formuladas foram compostas de feno Mombaça, como volumoso e, milho, farelo de soja e suplemento mineral como concentrado (Tabela 1).

Tabela 1. Proporção de ingredientes e composição das dietas experimentais.

Ingredientes	Composição (% da MS Total)			
	Dieta volumosa	Dieta (67:33)	Dieta (33:67)	Dieta concentrada
Feno Mombaça	97,00	67,00	33,00	0,00
Milho grão moído	0,00	17,00	41,00	54,92
Farelo de Soja	0,00	10,96	20,96	34,35
Fosfato	0,00	0,58	0,58	1,15
Sal Mineral	3,00	3,00	3,00	6,42
Calcário dolomítico	0,00	1,46	1,46	3,12
Composição química (% de MS)				
MS, g kg ⁻¹ MN	89,44	88,81	88,08	89,72
MM, g kg ⁻¹ MN	7,35	9,65	9,14	13,31
PB	11,19	15,19	17,68	25,43
EE	1,05	1,16	1,62	1,02
PIDN	1,29	1,83	2,01	1,42
PIDA	0,67	0,73	1,01	1,33
FDN	60,77	46,29	28,19	17,17
FDA	29,20	23,68	9,41	2,12

MS – Matéria Seca; MM – Matéria Mineral; PB – Proteína Bruta; EE - Extrato Etéreo; PIDN -Proteína insolúvel em detergente neutro; PIDA – Proteína insolúvel em detergente ácido; FDN= Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; MN – Matéria Natural.

No Quadro 1 estão descritos os tratamentos com suas respectivas relações de volumoso:concentrado (100:0; 67:33, 33:67 e 0:100) com os níveis de inclusão do óleo essencial de caju (0; 1 e 2%).

Quadro 1. Inclusão dos diferentes níveis de óleo essencial de caju (0; 1 e 2%) e suas respectivas proporções de volumoso:concentrado nas dietas.

Tratamentos	Proporções volumo: concentrado na dieta com adição do OE de caju em cada tratamento
Tratamento 1 (OECAJU0R100 0)	100% volumoso e 0% concentrado com 0% de óleo essencial de caju
Tratamento 2 (OECAJU1R100 0)	100% volumoso e 0% concentrado com a inclusão de 1% de óleo essencial de caju
Tratamento 3 (OECAJU2R100 0)	100% volumoso e 0% concentrado com a inclusão 2% de óleo essencial de caju
Tratamento 4 (OECAJU0R67 33)	67% volumoso e 33% concentrado com 0% de óleo essencial de caju
Tratamento 5 (OECAJU1R67 33)	67% volumoso e 33% concentrado com a inclusão de 1% de óleo essencial de caju
Tratamento 6 (OECAJU2R67 33)	67% volumoso e 33% concentrado com a inclusão de 2% de óleo essencial de caju
Tratamento 7 (OECAJU0R33 67)	33% volumoso e 67% concentrado com 0% de óleo essencial de caju
Tratamento 8 (OECAJU1R33 67)	33% volumoso e 67% concentrado com a inclusão de 1% de óleo essencial de caju
Tratamento 9 (OECAJU2R33 67)	33% volumoso e 67% concentrado com a inclusão de 2% de óleo essencial de caju
Tratamento 10 (OECAJU0R0 100)	100% volumoso e 0% concentrado com 0% de óleo essencial de caju
Tratamento 11 (OECAJU1R0 100)	100% volumoso e 0% concentrado com a inclusão de 1% de óleo essencial de caju
Tratamento 12 (OECAJU2R0 100)	100% volumoso e 0% concentrado com 2% de óleo essencial de caju

5.2 – Análises bromatológicas

As dietas experimentais e os ingredientes foram submetidos a análise para determinação dos teores de: matéria seca (MS), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE) seguindo os protocolos padrões (AOAC, 1990); fibra em detergente neutro (FDN) (MERTENS, 2002) e fibra em detergente ácido (FDA) (VAN SOEST, 1973). Além disso foi determinado o nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e ácido (NIDA) segundo Licitra *et al.* (1996). As concentrações de proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e detergente ácido (PIDA) foram obtidas pela multiplicação dos valores de NIDN e NIDA por 6,25.

5.3 – Ensaio de produção de gases

No experimento, a produção de gases das dietas foi mensurada por meio da técnica semi-automática de produção de gases, proposta por Maurício *et al.* (1999). Em frascos com capacidade para 160 mL, foram adicionados aproximadamente 1,0 g de amostra sob aspersão de CO₂, com três réplicas de cada tratamento, 10 mL de inoculo, 90 mL de meio de cultura e o devido nível de óleo, sendo o volume proporcional ao total de conteúdo no interior dos frascos. Para os ajustes de variação, foram incubados frascos considerados branco, contendo as soluções de incubação sem substrato. Os frascos foram vedados com tampa de silicone e incubados em estufa a 39 °C, sob controle rigoroso de temperatura. As medidas de pressão e volume de gases foram tomadas utilizando-se um transdutor de pressão modelo DPI800-P. As leituras foram realizadas nos tempos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 horas após o início do processo de fermentação.

O modelo de France *et al.* (1993) foi ajustado aos dados da cinética de produção de gases, como expresso abaixo:

$$Y = A \{1 - \text{EXP}[-B(T - L) - C X (\sqrt{T} - \sqrt{L})]\}$$

Obtendo-se os seguintes parâmetros referentes à cinética de produção de gases; produção de gases acumulada (ml) “Y”, tempo de incubação “t” (horas), total de gases produzidos (ml) “A”, tempo de colonização “T” (horas) e taxa de degradação fracional (h⁻¹) “μ”. As equações geradas foram comparadas por meio de teste de paralelismo e identidade de curvas de acordo com Regazzi e Silva (2004) (p<0,05).

A degradabilidade efetiva foi obtida segundo metodologia de France *et al.* (1993), onde:

$$DE = S_0 e^{-kT} (1 - kI) / (S_0 + U_0)$$

Em que: DE = Degradabilidade efetiva

k = taxa de passagem; sendo calculado para k=0,02; 0,03; 0,04 e 0,05.

S₀ e U₀ = frações inicialmente fermentáveis e frações não fermentáveis, respectivamente, sendo:

$$I = \int_0^{\infty} \text{EXP} - [(B + K)(T - T) + C(\sqrt{T} - \sqrt{T})] DT.$$

Foi determinada a produção do gás de maior interesse ambiental: CH₄. Tal mensuração foi feita pelo analisador de gases portátil TEC-GA21BIO®

5.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise variância utilizando um delineamento de blocos casualizados (DBC) em arranjo fatorial 4×3 , sendo os fatores, as quatro dietas e os três níveis de adição do óleo, perfazendo doze tratamentos e quatro blocos (animais doadores). As médias dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro tipo I. O modelo estatístico adotado foi: $Y_{ijk} = \mu + B_i + F_{1j} + F_{2j} + F_{1 \times F_{2j}} + e_{ijk}$, em que: μ = média geral; B_i = efeito do Bloco i , $i = 1, 2, 3, 4$ (animais); F_{1j} = efeito das dietas j , $j = 1, 2, 3, 4$; F_{2j} = efeito dos níveis de óleo j , $j = 1, 2, 3$; $F_{1 \times F_{2j}}$ = efeito da interação (Dieta \times Níveis de OE de caju); e_{ijk} = erro.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 96h de incubação *in vitro*, independente dos níveis de inclusão do OE Cajú, as dietas com maiores proporções de concentrado apresentaram melhor resultado na cinética de fermentação para a produção total de gases (A), degradabilidade efetiva (DE) e taxa de degradação fracional (μ) em um menor tempo (T) de colonização do alimento pelas bactérias, entretanto, as dietas com maiores proporções de volumoso exibiram menor resultado para os mesmos parâmetros avaliados em um maior tempo (T) de colonização pelas bactérias, como apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros da cinética de fermentação ruminal *in vitro* de dietas com adição crescente de concentrado, utilizando o modelo de France e degradabilidade efetiva

Tratamentos	Parâmetros de France						
	A*	T* (h:Min.)	μ^*	DE** (2%)	DE (4%)	DE (6%)	DE (8%)
OECAJU0R100_0	196,9	00:03	0,04818	77,15	75,60	74,04	72,50
OECAJU1R100_0	200,2	00:03	0,04743	75,81	74,27	72,74	71,21
OECAJU2R100_0	201,1	00:03	0,04454	75,66	74,13	72,60	71,07
OECAJU0R67_33	204,8	00:03	0,04248	77,81	76,22	74,63	73,05
OECAJU1R67_33	201,5	00:03	0,04378	76,73	75,17	73,62	72,06
OECAJU2R67_33	201,3	00:03	0,04155	76,85	75,28	73,71	72,14
OECAJU0R33_67	226,4	00:02	0,04711	86,92	85,18	83,45	81,71
OECAJU1R33_67	217,3	00:02	0,04602	86,29	84,56	82,84	81,12
OECAJU2R33_67	226,4	00:02	0,04387	85,72	83,99	82,26	80,54
OECAJU0R0_100	223,4	00:02	0,04893	91,13	89,33	87,53	85,73
OECAJU1R0_100	217,4	00:02	0,04670	90,74	88,93	87,12	85,31
OECAJU2R0_100	213,4	00:02	0,04444	90,73	88,91	87,09	85,28

A: Total de gases (mL), T: Tempo de colonização (horas) e μ : Taxa de degradação fracional (h^{-1}) *Parâmetros estimados pelo modelo de France *et al.* (1993). **Degradabilidade Efetiva

A formação de gases durante a fermentação ruminal é vinculada à degradação dos componentes nutritivos dos alimentos e à ação dos microrganismos dos ruminantes. Segundo Nogueira *et al.* (2006), alimentos ricos em carboidratos solúveis favorecem uma maior produção de gases em dependência aos com máxima proporção de carboidratos estruturais, isso tem papel no maior potencial de fermentação ruminal.

Na tabela 3 estão apresentadas as equações da produção acumulativa de gases (mL. g⁻¹ de MS) e seus respectivos testes de paralelismo e identidade das curvas de dietas com adição crescente de concentrado.

Tabela 3. Equações da produção acumulativa de gases (PCG), em mL. g⁻¹ de MS de dietas com adição crescente de concentrado.

Tratamentos	Equações (Modelo de France)		R ²
OE0R100_0	$Y = 196,9000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0623) \times (t-0,0500) - (-0,1162) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0500})]}\}$	a E	98,88
OE1R100_0	$Y = 200,2000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0614) \times (t-0,0571) - (-0,1155) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0571})]}\}$	a E	98,60
OE2R100_0	$Y = 201,1000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0580) \times (t-0,0537) - (-0,1133) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0537})]}\}$	a E	98,67
OE0R67_33	$Y = 204,8000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0547) \times (t-0,0582) - (-0,1029) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0582})]}\}$	a E	99,10
OE1R67_33	$Y = 201,5000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0562) \times (t-0,0541) - (-0,1037) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0541})]}\}$	a E	99,23
OE2R67_33	$Y = 201,3000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0537) \times (t-0,0587) - (-0,1030) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0587})]}\}$	a E	98,98
OE0R33_67	$Y = 226,4000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0605) \times (t-0,0424) - (-0,1101) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0424})]}\}$	a A	98,50
OE1R33_67	$Y = 217,3000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0588) \times (t-0,0412) - (-0,1053) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0412})]}\}$	a C	97,82
OE2R33_67	$Y = 226,4000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0558) \times (t-0,0460) - (-0,0989) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0460})]}\}$	a B	98,52
OE0R0_100	$Y = 223,4000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0631) \times (t-0,0376) - (-0,1158) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0376})]}\}$	a A	99,21
OE1R0_100	$Y = 217,4000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0599) \times (t-0,0391) - (-0,1087) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0391})]}\}$	a C	98,60
OE2R0_100	$Y = 213,4000 \times \{1 - \exp^{[-(0,0566) \times (t-0,0397) - (-0,1006) \times (\sqrt{t} - \sqrt{0,0397})]}\}$	a D	99,07

Equações acompanhadas por letras minúsculas iguais na mesma coluna são paralelas pelo teste de paralelismo de curvas a 5% de probabilidade (Freeze, 1970). Equações acompanhadas por letras maiúsculas iguais na mesma coluna são idênticas pelo teste de identidade de curvas a 5% de probabilidade (Regazi e Silva, 2004).

Segundo o teste de paralelismo de curvas a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) as dietas que contém maior quantidade de volumoso não alterou o comportamento cinético de produção de gases em relação as dietas que contém maior teor de concentrado.

Entretanto, ao serem submetidos ao teste de identidade de curvas com um nível de significância de 5% ($p < 0,05$), foi observado que os tratamentos que apresentavam uma proporção maior de concentrado e não continham óleo de caju (OE Caju) tiveram uma produção de gases significativamente maior em comparação aos demais tratamentos. A introdução de níveis de 1% e 2% de OE Caju resultou em uma diminuição na produção de gases, possivelmente devido ao efeito antimicrobiano do óleo sobre as bactérias, que reduziu suas atividades.

A produção aumentada de gases nos tratamentos sem inclusão de óleo pode ser atribuída à composição da dieta, caracterizada por uma proporção mais elevada de concentrado. Conforme apontado por Orskov (1986), tais resultados sugerem a possibilidade de influência do pH nos microrganismos, afetando sua atividade microbiana devido à alta

relação de concentrado. Estes microrganismos são mais propensos a uma diminuição do pH devido à disponibilidade ampliada de carboidratos para a fermentação.

No caso dos tratamentos que exibiram uma produção de gases menor, pode estar associado à atividade fermentativa mais intensa dos microrganismos, especialmente nos tratamentos com uma proporção mais elevada de volumoso. Esse efeito é possivelmente atribuído ao teor de fibra, o qual requer um tempo prolongado para a fermentação e degradação por parte das bactérias ruminais.

De acordo com a tabela de degradabilidade de matéria seca (DMS), foi verificado efeito significativo ($p < 0,05$) para a relação volumoso:concentrado (V:C) e os níveis de óleo essencial (OE), no entanto, não houve interação entre estes fatores avaliados (Tabela 4).

Tabela 4. Degradabilidade de matéria seca (DMS) das dietas em função da adição do óleo essencial de caju.

OECAJU	DMS (%)					Valor- P			
	V:C				Médias	V:C	OE	V:C x OE*	CV (%)
	100:00	67:33	33:67	00:100					
0%daMS	78,71	79,41	88,67	92,94	84,93 A	<0,001	0,002	0,719	0,77
1%daMS	77,35	78,30	88,03	92,55	84,06 B				
2%daMS	77,20	78,43	87,46	92,55	83,91 B				
Médias	77,75 d	78,72 c	88,05 b	92,68 a	84,30				

V:C – Relação volumoso / concentrado da dieta; DMS – Degradabilidade da matéria seca in vitro com 96 h de incubação; P*: Probabilidade de erro tipo I; CV: coeficiente de variação; medias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem a ($P > 0,05$), pelo teste de Tukey.

As dietas sem inclusão do óleo essencial de caju (0% da MS) promoveram uma maior degradabilidade, associando uma maior produção de gás metano. Já com a adição de óleo essencial a 1% e 2%, o percentual foi semelhante entre si. Dentro da relação volumoso:concentrado (V:C), verificou-se que o aumento do concentrado na dieta, resultou em maior degradabilidade da MS. Entre os tratamentos avaliados, o tratamento com inclusão de 100% concentrado (OECAJU0_100), apresentou maior degradabilidade, resultando em uma maior produção de gases.

De maneira geral, o aumento nos níveis de concentrado na dieta conduz a um aumento na degradabilidade do substrato, exceto para o FDN (Fibra em Detergente Neutro), uma vez que esses níveis oferecem uma maior quantidade de energia disponível para o crescimento adequado das bactérias ruminais. Esse fenômeno resulta em um aumento da atividade de fermentação. (NUSSIO, 2011).

Para a degradabilidade de matéria orgânica (DMO) foi verificado efeito significativo ($p < 0,05$) apenas para a relação volumoso:concentrado (V:C). Assim, independente da inclusão do óleo essencial de caju, os tratamentos apresentaram resultados semelhantes (Tabela 5).

Tabela 5. Degradabilidade de matéria orgânica (DMO) das dietas em função da adição do óleo essencial de caju.

OECAJU	DMO (%)				Médias	P-valor*			CV (%)
	V:C					V:C	OE	V:CxOE	
	100:00	67:33	33:67	00:100					
0%daMS	78,16	80,95	90,42	97,82	86,34 A				
1%daMS	77,38	81,00	116,99	97,58	93,24 A	<0,001	0,3655	0,4486	
2%daMS	77,08	79,78	89,36	97,29	85,91 A				
Médias	77,54 b	80,61 b	98,93 a	97,56 a	88,66				

V:C – Relação volumoso / concentrado da dieta DMO – Degradabilidade da matéria orgânica in vitro com 96 h de incubação; P*: Probabilidade de erro tipo I; CV: coeficiente de variação; médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As dietas com inclusão de 100% e 67% de concentrado, apresentaram efeito semelhante, assim como, não foi verificado efeito significativo entre as dietas com 100% e 67% de volumoso, demonstrando, portanto, que a medida que reduz o concentrado na dieta, tende a reduzir a degradabilidade da MO.

Ao investigar os efeitos dos níveis crescentes de líquido da casca da castanha de caju (LCCC) em dietas para ruminantes, com concentrações de 0, 0,3, 0,5 e 1,2 g LCCC-1 kg-1 de matéria seca (MS), Díaz (2013) constatou que a inclusão de 0,5 g de LCCC resulta em uma melhoria na digestibilidade da matéria seca. Além disso, essa inclusão impede uma queda drástica do pH ruminal em dietas com maiores proporções de amido, o que contribui para a redução de distúrbios metabólicos.

Para a produção de gás metano (CH_4) foi verificado efeito significativo ($p < 0,05$) para a relação volume: concentrado (V:C) e inclusão de óleo essencial de caju (OE), no entanto, não foi verificado efeito de interação ($p = 0,0826$) entre a relação volume: concentrado e inclusão de óleo essencial de caju (Tabela 6).

Tabela 6. Produção de Metano (CH₄) das dietas em função da adição do óleo essencial de caju.

Metano (g CH ₄ / kg MOD)									
OECAJU	V:C				Médias	P-valor*			CV (%)
	100:00	67:33	33:67	00:100		V:C	OE	V:C x OE	
0%daMS	55,30	45,60	37,73	28,32	41,74 A	<0,001	0,0179	0,0826	2,85
1%daMS	53,85	46,68	34,36	26,12	40,25 B				
2%daMS	54,06	46,18	36,91	27,15	41,08AB				
Médias	54,41 a	46,15 b	36,34 c	27,2 d	41,02				

V:C – Relação volumoso / concentrado da dieta; MOD - Matéria orgânica degradada in vitro; P*: Probabilidade de erro tipo I; CV: coeficiente de variação; medias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem a (P>0,05), pelo teste de tukey.

A inclusão do óleo essencial de caju a níveis de 1% e 2% promoveram redução da produção de metano, porém ambos se comportaram de maneira semelhante. Não houve efeito significativo com a inclusão de 2% e sem inclusão do óleo essencial. Entre as diferentes relações volumoso:concentrado (V:C) foi verificado que dietas com maiores proporções de volumoso, apresentam maior produção de gás metano.

Esse achado indica que alimentos volumosos permanecem por um período prolongado no rúmen, resultando em uma maior produção de metano, o que é considerado indesejável tanto do ponto de vista nutricional, devido à redução da energia metabólica disponível para o animal, quanto do ponto de vista ambiental, visto que o metano é liberado para o meio ambiente (PERES e PINTO, 2014).

Em estudos *in vitro*, tem-se observado que doses moderadas (50 mg/L e 500 mg/L) de alguns óleos essenciais e seus componentes ativos foram capazes de modificar favoravelmente a fermentação ruminal, alterando o perfil de ácidos graxos, a metanogênese e o metabolismo de proteínas. No entanto, doses acima de 500 mg OE/L de fluido ruminal têm resultado efeitos prejudiciais (CALSAMIGLIA *et al.*, 2007). E no presente trabalho, apesar da redução da produção de metano, verificou que os tratamentos que contém maior quantidade de concentrado são responsáveis pelo aumento na degradabilidade da MS e MO, apresentando uma maior ação na produção de gases.

Quanto maior a quantidade de amido na dieta maior será a degradação do alimento, desta forma, a maior produção de gases está relacionada a uma maior fermentação dos carboidratos (DOS SANTOS LUZ *et al.*, 2014).

Nas figuras 1, 2, 3 e 4 a seguir, ilustra as curvas de produção cumulativa de gases com a inclusão dos níveis 0, 1% e 2% de óleo essencial de caju e a média dos níveis na matéria seca incubada das dietas com diferentes relações volumoso:concentrado.

Figura 1- Curva da produção acumulativa de gases em função dos tempos de incubação com a inclusão de 0% de óleo essencial de caju nas dietas.

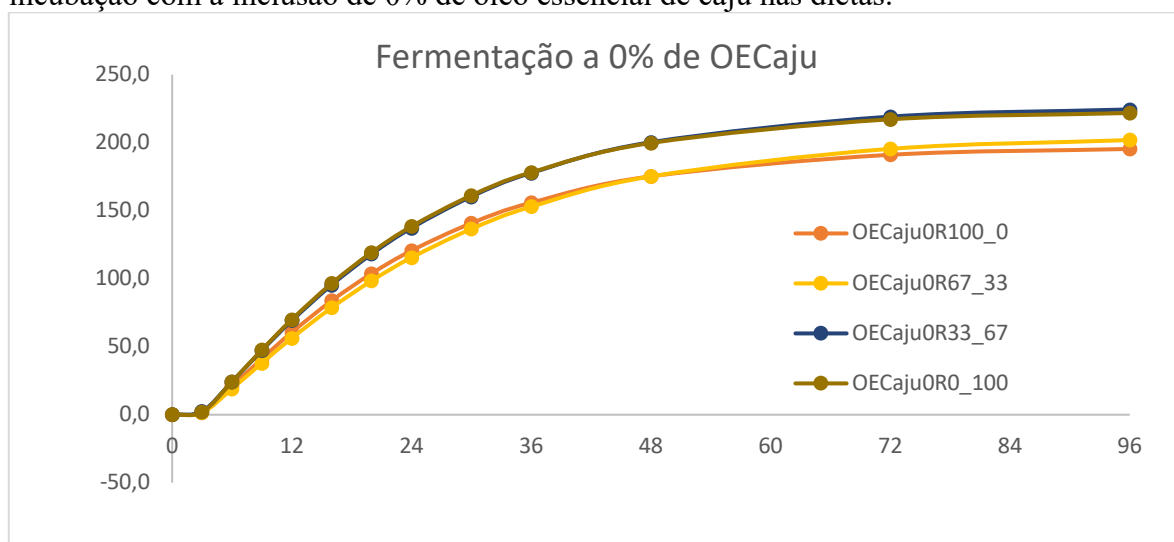


Figura 2- Curva da produção acumulativa de gases em função dos tempos de incubação com a inclusão de 1% de óleo essencial de caju nas dietas.

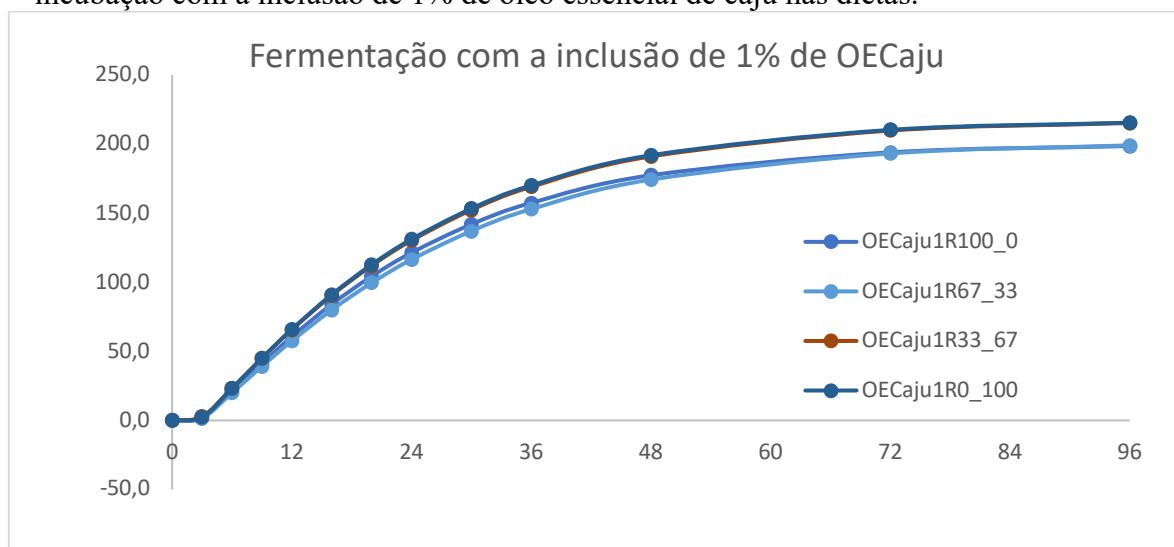


Figura 3- Curva da produção acumulativa de gases em função dos tempos de incubação com a inclusão de 2% de óleo essencial de caju nas dietas.

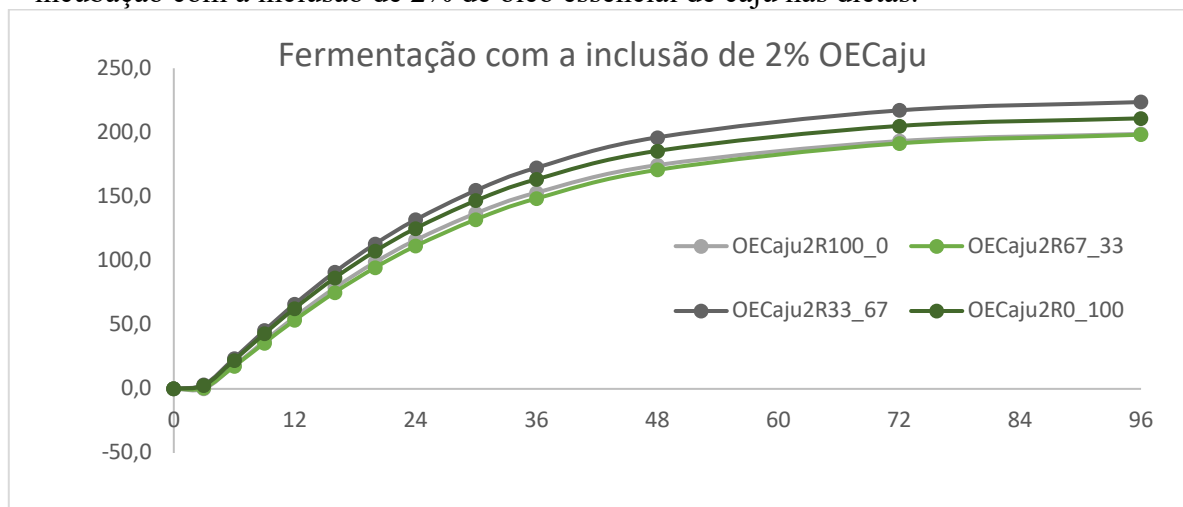
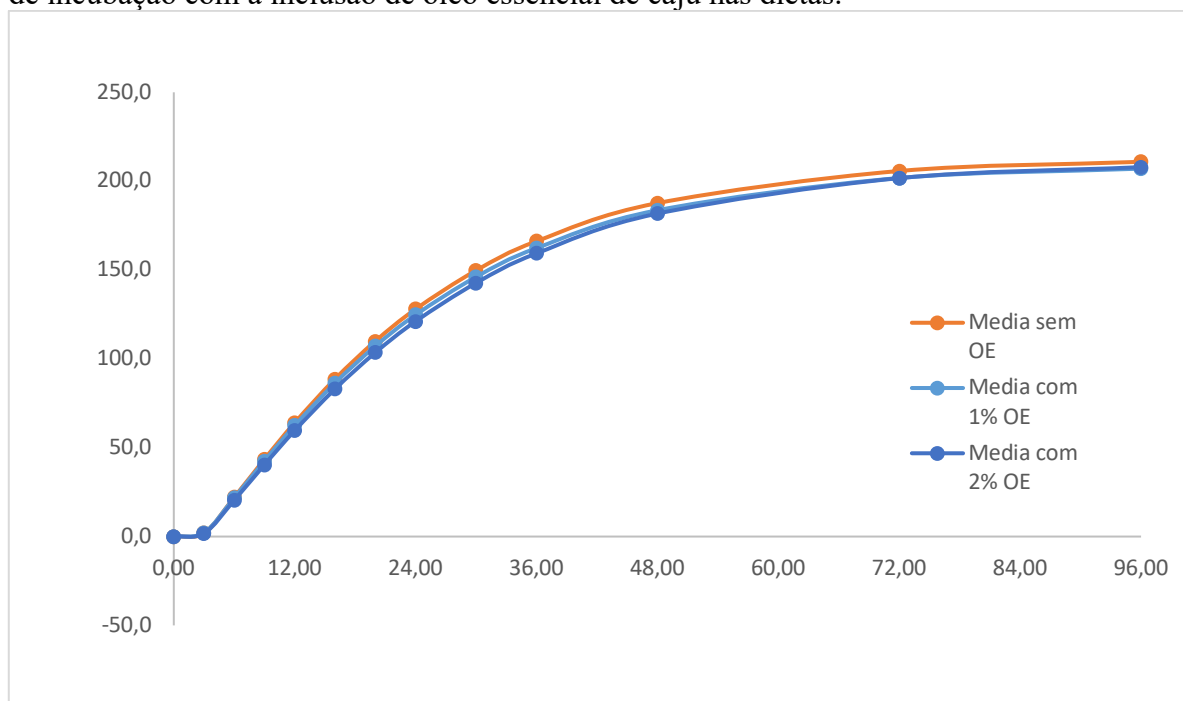


Figura 4- Média da curva da produção acumulativa de gases em função dos tempos de incubação com a inclusão de óleo essencial de caju nas dietas.



O uso de óleo essencial de caju não modificou a degradação ao longo das 96 horas, indicando o mesmo padrão de fermentação (Figuras 1, 2 e 3) para as dietas com maiores proporções de concentrado. Isso pode ser verificado pelo comportamento paralelo das curvas de degradação.

Observa-se que partir das primeiras 24h de fermentação, com 0% de inclusão, as curvas começaram a se distanciar até atingir maior produção de gases, principalmente as dietas

com maior proporção de concentrado, devido à maior presença de carboidratos de rápida fermentação e à atividade das bactérias amilolíticas.

A inclusão de OE-caju nos níveis de 1% e 2%, manteve a maior produção de gases nas dietas com mais concentrado, apresentando o mesmo comportamento. Isso indica que a dieta, teve maior influência na produção de gases e o uso de óleo essencial de caju, permitiu melhor resultado na colonização e uso dos substratos pelos microrganismos.

A produção de gases está diretamente relacionada com a atividade dos microrganismos ruminais e o tipo de alimento, podendo ser medida a intervalos curtos, permitindo dessa forma, verificar passo a passo a atividade dos microrganismos sobre ao alimento consumido (NEIVA JUNIOR *et al.*, 2010).

O óleo essencial de caju é considerado uma alternativa na alimentação dos ruminantes, pois age como aditivo, melhorando o metabolismo microbiano e favorecendo o aumento das concentrações de proprionato no rúmen. (MAIA *et al.*, 2006; HESS *et al.*, 2008).

De acordo com Morris *et al.* (1990), os aditivos quando acrescentados a dieta de alto concentrado na alimentação de bovinos, podem manipular o ambiente ruminal, melhorando a conversão alimentar dos animais e prevenindo distúrbios metabólicos como acidose ruminal e laminite.

7. CONCLUSÃO

A inclusão do óleo essencial de caju nas dietas apresenta pouca influência na degradabilidade ruminal *in vitro* e sua atuação sobre a produção de metano *in vitro* depende da relação volumoso:concentrado da dieta.

A inclusão de 1 ou 2% de OE de Caju reduz a degradabilidade da matéria seca, porém não altera a degradabilidade da matéria orgânica.

As dietas com maiores proporções de concentrado reduzem a produção de metano, sendo que, a inclusão a 1% do óleo essencial de caju estimula ainda mais essa redução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras De Carne. Beff Report: Perfil da pecuária no Brasil 2023.
- ACAMOVIC, T.; BROOKER, J. D. Biochemistry of plant secondary metabolites and their effects in animals, *Proceedings of the Nutrition Society*, v.64, n.3, p. 403–412, 2005.
- AOAC. Animal feed. In: HELRICH, K. (Ed.). *Association of Official Analytical Chemists (AOAC)*. 15th. ed. Arlington, VA. USA: Association of Official Analytical Chemists, Inc., Ip. 69-90. 1990.
- AMORATI, R.; PEDULLI, G.F.; VALGIMIGLI, L. Absolute rate constants for the reaction of peroxy radicals with cardanol derivatives. *Journal Chem Perkin*, p.2142-2146, 2001.
- BENCHAAR, C.; CALSAMIGLIA, S.; CHAVES, A. V.; *et al.* A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, v.145, p. 209-228, 2008.
- BENCHAAR, C.H.V.; PETIT, R.; BERTHIAUME, T.D. Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows. *Journal Dairy Science*, p. 4352-4364, 2006.
- BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.13, n.4, p. 954-968, 2012.
- BROUCEK, J. Production of methane emissions from ruminant husbandry: A review. *Journal of Environmental Protection*, v.5, n.15, p. 1482-1493, 2014.
- CALSAMIGLIA, S.; BUSQUET, M.; CARDOZO, P. W.; *et al.* Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, v.90, n.6, p. 2580-2595, 2007.
- CONEGLIAN, S.M. Uso de óleos essenciais de mamona e caju em dietas de bovinos. Tese de Doutorado em Agronomia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2009.
- COWAN, M. M. Plant Products as Antimicrobial Agents. *Clinical Microbiology Reviews*, v.12, n.4, p. 564-82, 1999.
- DOS SANTOS LUZ, Yann *et al.* Cinética da fermentação ruminal in vitro de dietas contendo palma forrageira enriquecida com ureia e suplementadas com diferentes fontes de amido. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 3, p. 1501-1514, 2014.
- ERWIN, E. S.; MARCO, G. J.; EMERY, E. M. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *Journal of Dairy Science*, v. 44, n. 9, p. 1768-1771, 1961.
- FRANCE, J.; DHANOA, M. S.; THEODOROU, M. K.; *et al.* A model to interpret gás accumulation profiles with in vitro degradation of ruminal feeds. *Journal of Theoretical Biology*, v. 163, n. 1, p. 99-111, 1993.

GEDAM, P. H.; SAMPATHKUMARAN, P. S. Cashew nut shell liquid: extraction, chemistry and Applications. *Progress in Organic Coatings*, v.14, n.2, p. 115-157, 1986.

GREATHEAD, H. Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of the Nutrition Society*, v.62, n.2, p. 279-290, 2003.

GUTIÉRREZ, L.A.; MONTOYA, O. I.; VÉLEZ, J. M. Probióticos: una alternativa de producción limpia y de remplazo a los antibióticos promotores de crecimiento en la alimentación animal. *Producción + Limpia*, v.8, n.1, p.135-46, 2013.

JOHNSON, D. E.; HILL, T. M.; WARD, G. M.; *et al.* Principle factors varying methane emissions from ruminants and other animals. In: KHALIL, M. A. K. (Ed.). *Atmospheric Methane: Sources, Sinks, and Role in Global Change*. NATO ADI Series. Springer-Verlag. 1993. Berlin, Germany.

KOZLOSKI, G. V. *Bioquímica dos ruminantes*. Terceira edição. Terceira e ed. Santa Maria, Rio Grande do Sul. Brasil. Editora UFSM, 2019.

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

MALHEIRO, D. M. Ensaio preliminares sobre a ação do óleo essencial da casca da castanha de caju no tratamento da sarna demodécica do cão doméstico. *Revista da Faculdade de Medicina Veterinária São Paulo*, v. 4, n.2, p. 287-296, 1950.

MAPA. Aditivos aprovados pelo mapa para uso na alimentação animal, 2020.

MASIGLIO, B.N.; Óleos funcionais em dieta alto grão para ovinos e efeito sobre a digestibilidade dos nutrientes, desempenho, características da carcaça e do músculo Longissimus dorsi. Dissertação (mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá, 2012.

MAURÍCIO, R. M., MOULD, L. F., DHANOA, M. S., OWEN, E., CHANNA, K. S. & THEODOROU, M. K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Animal Feed Science and Technology*, v. 79, n. 4, p. 321-330.1999.

MAZZETTO, S.E.; LOMONACO, D.; MELE, G.; Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. *Química Nova*, v. 32, p. 732-741, 2009.

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*, v. 85, n. 6, p. 1217–1240, 2002.

MOMBACH, M. A.; PEDREIRA, B. C.; PEREIRA, D. A.; *et al.* Emissão de metano entérico por bovinos: o que sabemos e que podemos fazer. In: PEREIRA, D.H.; PEDREIRA, B.C. (Eds.). *Recuperação das Pastagens*. Anais do 2do Simpósio de Pecuária Integrada. Fundação Uniselva. Cuiabá, MT. Brasil Ip. 181-202, 2016..

MOURA, D. P.; TEOBALDO, R. W.; PAULA, N.F.; *et al.* Efeitos de óleos essenciais e monensina sobre o pH e nitrogênio amoniacal ruminal de bovinos de corte em pastejo. 55ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Goiânia, Goiás. Brasil, 2018.

NEIVA JÚNIOR, Arnaldo Prata *et al.* Avaliação das silagens de capim-elefante aditivadas com nabo forrageiro, pinhão manso e tremoço, pela técnica de produção de gases. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, p. 1024-1030, 2010.

NICODEMO, M. L. F. Uso de aditivos na dieta de bovinos de corte. EMBRAPA Gado de Corte. Campo Grande. Mato Grosso do Sul. Brasil, 2001.

NOGUEIRA, Ú.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; PEREIRA, L.G.R. Predição da degradação da matéria seca pelo volume de gases utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.58, p.901-909, 2006.

NUSSIO, L.G.; CAMPOS, F.P.; LIMA, M.L.M. Aditivos In: Nutrição de ruminantes. Jaboticabal. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2011.

NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th. ed. Washington, D.C. USA: National Research Council. National Academy Press, 2000.

ORSKOV, E. R. Starch digestion and utilization in ruminants. *Journal of Animal Science*, v.63, n.5, p.1624-1633, 1986.

PERES, A.; PINTO, A.C.J.; A produção do gás metano por bovinos pode influenciar significativamente no efeito estufa? *Zootecnia Unesp*. 2014.

RAMOS MORALES, E.; MATA ESPINOSA, M. A.; MCKAIN, N.; WALLACE, R. J. Ricinoleic acid inhibits methanogenesis and fatty acid biohydrogenation in ruminal digesta from sheep and in bacterial cultures. *Journal of Animal Science*. v.90, n.13, p. 4943-4950, 2012.

RAMOS, A. D.; BLEICHER, E.; FREIRE, F. C. O.; *et al.* A cultura do caju. EMBRAPA-SPI. Coleção Plantar 34. Brasília, DF. Brasil. 1996.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. *Revista de Matemática e Estatística*, v. 22, n. 2, p. 33-45, 2004.

RIBEIRO, I. J.; TEOBALDO, R. W.; PAULA, N.F.; *et al.* Efeitos de óleos essenciais e monensina sobre concentração de ácidos graxos de cadeia curta de bovinos de corte em pastejo. 55ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Goiânia, Goiás. Brasil, 2018.

RIVERA, A. R.; BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; *et al.* 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, n.3, p.617-624, 2010.

ROGERIO M MAURICIO, FERGUS L MOULD, MEWA S DHANOA, EMYR OWEN, KULWANT S CHANNA, MICHAEL K THEODOROU. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation, *Animal Feed Science and Technology*, Volume 79, Issue 4, p 321-330. 1999.

SMITH-PALMER, A.; STEWART, J.; FYFE, L. Antimicrobial properties of plant essential oils and essences against five important food-borne pathogens. *Letters in Applied Microbiology*, v.26, n.2, p. 118-122, 1998

SOUZA, L. R.; TAVEIRA, R. Z.; DIB, R. T.; *et al.* Desempenho de bovinos Nelore suplementados com óleos essenciais de caju e mamona, mantidos em pastagens de *Brachiária brizantha*.

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

THIERRY RIBEIRO TOMICH, LUIZ GUSTAVO RIBEIRO PEREIRA, ROBERTO GUIMARÃES JÚNIOR, LÚCIO CARLOS GONÇALVES. Adaptação de uma Técnica "in vitro" para Descrição da Cinética de Degradação Ruminal da Matéria Seca de Volumosos. 2006.

TOYOMIZU M., NAKAI Y., NAKATSU T. Inhibitory effect of dietary anacardic acid supplementation on cecal lesion formation following chicken coccidial infection. *Journal Animal Science*, v. 74, p.105–109, 2003.

VALERO, M. V.; PRADO, R. M.; ZAWADZKI, F.; *et al.* Propolis and essential oils additives in the diets improved animal performance and feed efficiency of bulls finished in feedlot. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v.36, n.4, p. 419-426, 2014.

VAN NEVEL, C. J.; DEMEYER, D. I.; HENDERICK, H. K. Effect of fatty acid derivatives on rumen methane and propionate *in vitro*. *Applied Microbiology*, v.21, n.2 p. 365-366, 1971.

VAN SOEST, P. J. Collaborative study of acid-detergent fiber and lignin. *Journal A.O.A.C.*, v. 56, n. 4, p. 781–784, 1973.

WALLACE, R.; J.; Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings of the Nutrition Society*, v.63, n. 4, p. 621–629, 2004.