



## Impacto do óleo de açaí como aditivo na fermentação ruminal *in vitro*

Impact of açaí oil as an additive on *in vitro* ruminal fermentation

Gabriela de Jesus Coelho<sup>\*1</sup> , Fernando Gomes de Oliveira<sup>1</sup> , Murilo Exaltação Saúde<sup>2</sup> , Hyda Magna Ferreira Martins<sup>2</sup> , Sheila Vilarindo de Sousa<sup>3</sup> , Luciano Fernandes Sousa<sup>2</sup> , Raylon Pereira Maciel<sup>1</sup> , Rafael Mezzomo<sup>1</sup>

1 Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Parauapebas, Pará, Brasil

2 Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), Araguaína, Tocantins, Brasil

3 Universidade Federal do Piauí (UFPI), Bom Jesus, Piauí, Brasil

\*autor correspondente: gabrielajcoelho@gmail.com

Recebido: 06 de junho de 2025. Aceito: 25 de agosto de 2025. Publicado: 12 de setembro de 2025. Editor: Rondineli P. Barbero

**Resumo:** Este estudo avaliou os efeitos do óleo da polpa de açaí na dinâmica da fermentação ruminal *in vitro* em bovinos. Quatro tratamentos (0, 0.3, 3 e 30 mg g<sup>-1</sup> de óleo de açaí) foram testados usando delineamento em blocos casualizados com arranjo de parcelas subdivididas ao longo do tempo (24 e 48 h). Os parâmetros avaliados incluíram degradabilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), degradabilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), cinética de produção de gás *in vitro*, concentrações de ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGVCC) e concentrações de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>). Nenhuma interação foi detectada entre o nível de óleo de açaí e o tempo de incubação para DIVMS ou DIVMO ( $p > 0.05$ ). No entanto, o nível de 30 mg g<sup>-1</sup> reduziu significativamente a DIVMS ( $p < 0.05$ ). As concentrações de AGVCC e N-NH<sub>3</sub> não foram afetadas ao longo dos tempos de incubação ( $p > 0.05$ ). A produção de gás *in vitro* aumentou com a inclusão do óleo de açaí ( $p < 0.05$ ), e a cinética da produção de gás *in vitro* indicou padrões semelhantes entre os grupos 0 vs. 30 mg g<sup>-1</sup> e 0.3 vs. 3 mg g<sup>-1</sup> ( $p < 0.05$ ). A dosagem de 30 mg g<sup>-1</sup> reduziu a DIVMS enquanto aumentou a produção total de gases. Em contraste, níveis mais baixos (0.3 e 3 mg g<sup>-1</sup>) não prejudicaram a eficiência da fermentação ruminal e justificam avaliações adicionais em ensaios de desempenho animal.

**Palavras-chave:** degradabilidade; *Euterpe oleracea*; modulação nutricional; ruminante.

**Abstract:** This study evaluated effects of açaí pulp oil on *in vitro* rumen fermentation dynamics in cattle. Four treatments (0, 0.3, 3, and 30 mg g<sup>-1</sup> of açaí oil) were tested using a randomized block design with a split-plot arrangement over time (24 and 48 h). The parameters assessed included *in vitro* dry matter degradability (IVDMD), *in vitro* organic matter degradability (IVOMD), *in vitro* gas production kinetics, short-chain volatile fatty acid (SCVFA) concentrations, and ammonia nitrogen (N-NH<sub>3</sub>) concentrations. No interaction was detected between açaí oil level and incubation time for IVDMD or IVOMD ( $p > 0.05$ ). However, the 30 mg g<sup>-1</sup> level significantly reduced IVDMD ( $p < 0.05$ ). SCVFA and N-NH<sub>3</sub> concentrations were unaffected across incubation times ( $p > 0.05$ ). *In vitro* gas production increased with açaí oil inclusion ( $p < 0.05$ ), and *in vitro* gas production kinetics indicated similar patterns between 0 vs. 30 mg g<sup>-1</sup> and 0.3 vs. 3 mg g<sup>-1</sup> groups ( $p < 0.05$ ). The 30 mg g<sup>-1</sup> dosage reduced IVDM while increasing total gas production. In contrast, lower levels (0.3 and 3 mg g<sup>-1</sup>) did not impair rumen fermentation efficiency and warrant further evaluation in animal performance trials.

**Key-words:** degradability; *Euterpe oleracea*; modulation nutrition; ruminant.



## 1. Introdução

A crescente demanda por produção pecuária sustentável acelerou a busca por aditivos alimentares que aumentem a eficiência nutricional de ruminantes e, ao mesmo tempo, mitiguem o impacto ambiental<sup>(1)</sup>. Entre eles, aditivos derivados de extratos vegetais têm sido investigados devido aos compostos bioativos, que podem modular a fermentação ruminal, melhorar a saúde e a produtividade animal, aumentando a eficiência alimentar<sup>(2,3)</sup>.

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), palmeira nativa da Amazônia, é amplamente consumido na dieta humana por seu valor nutricional, contendo aproximadamente 76% de fibras, 24% de lipídios, 70% de ácidos graxos insaturados e 0,4% de vitaminas, fornecendo 37 kcal 100 g<sup>-1</sup><sup>(4)</sup>. A polpa do açaí também é rica em antocianinas (3.19 mg g<sup>-1</sup> MS) e proantocianidinas (12.89 mg g<sup>-1</sup> MS), flavonoides com propriedades antioxidantes<sup>(2)</sup>. Devido a essas propriedades, a suplementação com óleo de açaí na dieta de vacas em transição tem sido associada ao aumento da produção de leite<sup>(5)</sup>. Estudos *in vitro* indicam ainda potenciais benefícios, incluindo redução da produção total de gases<sup>(6)</sup> e inibição de bactérias gram-positivas, como *Staphylococcus aureus* e *Enterococcus faecalis*<sup>(7)</sup>.

Apesar dos resultados promissores, nenhum estudo avaliou os efeitos do óleo de açaí sobre a degradabilidade de nutrientes, produção de gases e produtos da fermentação ruminal. Portanto, a nossa hipótese é que a inclusão de óleo de açaí modula a microbiota ruminal, reduzindo a relação acetato-propionato, a concentração de nitrogênio amoniacal e a produção de gases, mantendo ou aumentando a degradabilidade *in vitro* da matéria seca e orgânica. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes níveis de óleo de açaí nos parâmetros da fermentação ruminal *in vitro* em bovinos.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Localização experimental e animais

O experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição Animal e Produção de Gases da Universidade Federal do Norte do Tocantins, Campus de Araguaína. Todos os procedimentos envolvendo animais foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (protocolo nº 4028220422).

Quatro níveis de inclusão de óleo de polpa de açaí (0, 0,3, 3 e 30 mg g<sup>-1</sup> de matéria seca do substrato, MS) foram testados quanto aos efeitos na fermentação ruminal e na cinética de produção de gases *in vitro*. Inicialmente, o fluido ruminal foi obtido de quatro bovinos machos não castrados, sendo três pesando aproximadamente 300 kg e um touro fistulado pesando aproximadamente 500 kg. Os animais foram alojados em piquetes estabelecidos por *Urochloa brizantha* cv. Mombaça e suplementados com uma mistura concentrada de farelo de soja, milho moído e ureia (0,5% do peso corporal dia<sup>-1</sup>) por cinco dias antes da coleta do fluido ruminal.

### 2.2 Coleta de fluido ruminal e degradabilidade *in vitro*

O conteúdo ruminal foi coletado em frascos térmicos pré-aquecidos com água a 39°C utilizando uma sonda esofágica e transportados imediatamente ao laboratório para preparação e montagem do sistema. Um total de 180 frascos de vidro (100 mL) foram preparados, cada um contendo 1,0 g de substrato (dieta volumosa:concentrada 40:60; Tabela 1), 79,2 mL de solução tampão<sup>(8)</sup>, 10 mL de fluido ruminal e

óleo de açaí diluído em 0,8 mL de etanol. Para o tratamento de 0 mg g<sup>-1</sup> de MS, apenas etanol (0,8 mL) foi adicionado. Os frascos foram selados com rolhas de silicone e incubados a 39°C em uma estufa. Para corrigir os resíduos de matéria seca e orgânica, 36 frascos em branco (contendo o inóculo sem o óleo de açaí ou o substrato) foram incubados simultaneamente. A composição química do substrato (matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, fibra em detergente neutro e extrato etéreo) foi determinada seguindo o método descrito por Detmann *et al.*<sup>(9)</sup>.

**Tabela 1.** Proporção de ingredientes e composição química dos substratos utilizados neste estudo.

Item	Composição
<i>Proporção de ingredientes no substrato, g kg<sup>-1</sup> MS</i>	
Silagem de milho	400
Milho moído	529
Farelo de soja	52,4
Sal mineral	10,2
Ureia	8,4
<i>Composição química do substrato, g kg<sup>-1</sup> MS</i>	
Matéria seca, g kg <sup>-1</sup> matéria natural	926,4
Matéria orgânica	964,2
Proteína bruta	150,3
Fibra em detergente neutro	669,4
Extrato etéreo	33,8

Após 24 h de incubação, 24 frascos por tratamento (oito repetições) foram removidos. O conteúdo dos frascos foi filtrado a vácuo em cadinhos porosos nº 2, secos a 105 °C por 24 h e pesados para determinar a degradabilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). As amostras foram então incineradas em mufla a 400 °C por 4 h e pesadas novamente para obter a degradabilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), seguindo o método descrito por Vargas *et al.*<sup>(10)</sup>. Os mesmos procedimentos foram aplicados aos frascos incubados por 48 h.

### 2.3 Determinação de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGVCC) no inóculo

Para análise de N-NH<sub>3</sub>, alíquotas foram filtradas e preservadas usando uma mistura de 1,96 mL de fluido ruminal e 0,04 mL de ácido sulfúrico a 50%, sendo então armazenadas a -80 °C. As amostras foram analisadas usando espectrofotometria UV-Visível seguindo o método descrito por Detmann *et al.*<sup>(9)</sup>. Para análise de AGVCC, 1,0 mL de fluido ruminal filtrado foi misturado com 1,0 mL de ácido ortofosfórico a 0,85%, agitado em vórtice e centrifugado a 4000 rpm por 10 min. O sobrenadante foi recuperado, filtrado e analisado usando cromatografia líquida de alta eficiência em fase reversa com detecção por arranjo de diodos (RP-HPLC-DAD) sob as condições descritas por Vargas *et al.*<sup>(11)</sup>.

### 2.4 Cinética de produção de gás e avaliação de modelos

A cinética de produção de gás foi medida utilizando a técnica semiautomática proposta por Maurício *et al.*<sup>(12)</sup>. A pressão e o volume do gás foram registrados utilizando um transdutor de pressão modelo DPI800-P nos tempos 0, 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24, 30, 36 e 48 h após o início da fermentação. Modelos matemáticos foram ajustados às curvas de produção de gás para descrever a cinética de produção de gás *in vitro* e avaliar o ajuste do modelo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Modelos matemáticos utilizados para ajustar as curvas de produção de gás *in vitro*.

Modelo	Equação*
Gompertz <sup>1</sup>	$V = V_f(1 - \exp(-kt))$
Exponential <sup>1</sup>	$V = V_f \exp(-\exp(1 - k(t - L)))$
France <sup>2</sup>	$V = V_f(1 - \exp(-k(t - L) - d(\sqrt{t} - \sqrt{L})))$
Schofield and Pell <sup>3</sup>	$V = V_{f1}(1 - e(-k_1 t)) + V_{f2}e(e(1 + k_2 e(L - t)))$
Logistic exponential <sup>4</sup>	$V = v_f(1 - e(-kt))/1 + e(\ln(1/d) - kt)$
Logistic exponential Lag <sup>4</sup>	$V = v_f(1 - \exp(-k(t - L)))/1 + e(\ln(1/d) - k(t - L))$

\* Parâmetros para cinética de produção de gás; V: volume de gás acumulado (mL); Vf: volume de gás final assintótico; Vf1: volume de gás produzido pela fração rapidamente degradável; Vf2: volume de gás produzido pela fração lentamente degradável; k: taxa de produção de gás; k1: taxa de produção de gás da fração rapidamente degradável; k2: taxa de produção de gás da fração lentamente degradável; t: tempo; L: tempo de latência; 1: Schofield et al.<sup>(13)</sup>; 2: France et al.<sup>(14)</sup>; 3: Schofield e Pell<sup>(15)</sup>; 4: Wang et al.<sup>(16)</sup>.

## 2.5 Análise estatística

A DIVMS e a DIVMO foram analisadas em delineamento em blocos casualizados com medidas repetidas em 24 e 48 h de incubação. Os dados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) com o procedimento MIXED do SAS (Statistical Analysis System), adotando-se  $p < 0.05$  como limiar de significância. Os efeitos fixos incluíram o tratamento (nível de óleo de açaí) e o tempo de incubação, e sua interação também foi testada.

As concentrações de AGVCC e N-NH<sub>3</sub>, avaliadas em 24 e 48 h, foram analisadas por ANOVA com teste de Tukey. Os tratamentos (0, 0,3, 3,0 e 30 mg g<sup>-1</sup> de MS do óleo de açaí) foram definidos como efeitos fixos, enquanto o animal doador foi definido como efeito aleatório. As diferenças foram consideradas significativas quando  $p < 0.05$ .

A seleção do modelo para a cinética da produção de gás baseou-se nos menores valores da soma dos quadrados residuais (SRQ), do critério de informação de Akaike corrigido (AICc), da raiz do erro quadrático médio de predição (REQMP) e no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os valores observados e previstos. Os parâmetros derivados de cada modelo foram comparados, e os volumes de gás previstos em 0, 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24, 30, 36 e 48 h foram comparados com os valores observados.

O modelo selecionado foi então utilizado para estimar os parâmetros de produção de gás para cada tratamento. As equações geradas pelo modelo foram comparadas usando testes de paralelismo<sup>(17)</sup> e identidade do modelo<sup>(18)</sup> a uma probabilidade de 5%.

## 3. Resultados

A análise de variância para DIVMS e DIVMO não apresentou efeito na interação entre a dosagem de óleo de açaí e os tempos de incubação ( $p > 0.05$ ; Tabela 3). No entanto, observou-se efeito isolado da dosagem de 30 mg g<sup>-1</sup> MS, reduzindo a DIVMO ( $p < 0.05$ ). Os tratamentos com 0,3 e 3 mg g<sup>-1</sup> MS de óleo de açaí não diferiram do controle ( $p > 0.05$ ). O tempo de incubação também apresentou efeito isolado, com maior valor médio para DIVMS e DIVMO em 48 h de incubação em comparação ao tempo de 24 h ( $p < 0.05$ ).

As concentrações dos produtos da fermentação ruminal *in vitro* não foram afetadas com a inclusão do óleo de açaí nos diferentes tempos de incubação ( $p > 0.05$ ; Tabela 4).

**Tabela 3.** Efeito da dosagem de óleo de açaí na degradabilidade *in vitro* da matéria seca em diferentes tempos de incubação.

Tempo	Dosagens de óleo de açaí, mg g <sup>-1</sup> MS				Média	Valor-p			
	0	0.3	3	30		Dosagem	Tempo	D × T	CV
Degradeabilidade <i>in vitro</i> da matéria seca, %									
24	67.91	66.68	66.76	66.26	66.90 B				
48	74.12	73.63	73.79	73.83	73.84 A	0.046	<0.001	0.845	2.16
Média	71.01 a	70.15 ab	70.28 ab	70.05 b	70.37				
Degradeabilidade <i>in vitro</i> da matéria orgânica, %									
24	67.33	66.09	66.33	65.52	66.32 B				
48	74.17	74.09	74.02	73.99	74.07 A	0.192	<0.001	0.835	2.59
Média	70.75	70.09	70.17	69.75	70.19				

Tempo de incubação: 24 e 48 h; Probabilidade de: efeito isolado da dosagem, efeito isolado do tempo de incubação e da interação entre dosagem do óleo de açaí e tempos de incubação (D × T) com  $p < 0.05$ . CV: coeficiente de variação, %; médias seguidas por letras maiúsculas diferentes nas colunas e letras minúsculas nas linhas diferem a 5% de probabilidade segundo o teste de Tukey.

**Tabela 4.** Efeito da dosagem de óleo de açaí nas concentrações de ácidos graxos voláteis de cadeia curta e nitrogênio amoniacal em diferentes tempos de incubação.

Item	Dosagem do óleo de açaí, mg g <sup>-1</sup> MS				EPM	Valor-p
	0	0.3	3	30		
<i>24 h de incubação</i>						
N-Amoniacal	18.6	16.5	17.1	18.3	3.29	0.977
AGV total	72.7	73.7	72.0	72.0	3.29	0.977
Acetato	45.5	45.2	46.4	46.3	2.68	0.965
Propionato	25.7	26.4	24.2	25.3	1.11	0.418
Butirato	2.06	2.10	2.12	2.03	0.20	0.965
Acetato : Propionato	1.68	1.87	1.88	1.91	0.08	0.261
<i>48 h de incubação</i>						
N-Amoniacal	18.2	18.1	18.8	19.8	2.20	0.761
AGV total	79.1	73.3	75.2	70.2	3.94	0.334
Acetato	51.8	47.0	47.7	42.5	4.49	0.229
Propionato	24.35	26.3	23.5	24.6	4.20	0.812
Butirato	2.82	2.50	2.45	2.38	0.17	0.244
Acetato : Propionato	2.03	2.20	2.15	1.99	0.51	0.873

N-Amoniacal: expresso em mg dL<sup>-1</sup>; AGV total, acetato, propionato e butirato: expressos em mmol mL<sup>-1</sup>; Acetato : Propionato: expresso em mmol mmol<sup>-1</sup>; AGV: ácidos graxos voláteis; EPM: erro padrão da média.

Dentre os modelos estatísticos testados, o modelo de Schofield e Pell<sup>(15)</sup> apresentou o melhor ajuste, com menor valor de SRQ, AICc e EQMP e maior valor de R2 (Tabela 5).

**Tabela 5.** Critérios estatísticos e seleção do modelo matemático para ajuste da cinética de produção de gás *in vitro*.

Modelos	SRQ	AICc	REQMP	R <sup>2</sup>
Gompertz	1367.6	280.9	5.45	98.8
Exponential	8556.9	362.7	13.9	88.7
France	3394.9	395.9	8.73	96.7
Logistic exponential	1659.5	290.7	6.05	98.4
Logistic exponential lag	1640.9	292.5	6.01	98.4
Schofield and Pell	1143.7	276.3	4.94	98.9

SRQ: soma residual dos quadrados; AICc: critério de informação de Akaike corrigido; REQMP: raiz do erro quadrático médio de predição; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação da regressão dos valores observados versus previstos.

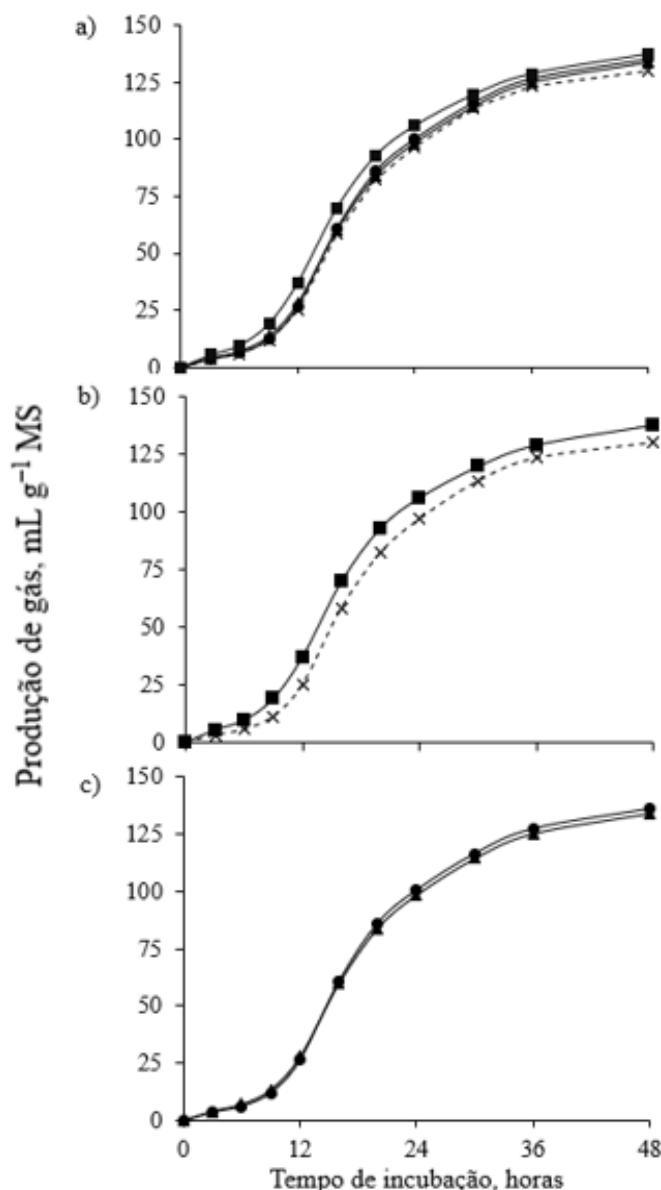
Os testes de identidade da curva mostraram que a produção cumulativa de gás *in vitro* aumentou com a inclusão do óleo de açaí ( $p < 0.05$ ; Tabela 6). Especificamente, 30 mg g<sup>-1</sup> MS do óleo de açaí aumentaram os parâmetros de produção de gás, enquanto 0.3 e 3 mg g<sup>-1</sup> MS produziram curvas cumulativas de produção de gás *in vitro* semelhantes entre si.

**Tabela 6.** Equações de produção cumulativa de gases *in vitro* expressas em mL g<sup>-1</sup> MS de dietas contendo óleo de açaí.

Dosagem <sup>1</sup>	Equations <sup>2</sup>		R <sup>2</sup>
0	$V = 55.46(1 - e(0.12 \times t)) + 75.99 e(e(1 + 0.04e(10.22 - t)))$	aC	0.97
0.3	$V = 63.73(1 - e(0.11 \times t)) + 74.07 e(e(1 + 0.03 e(10.16 - t)))$	bB	0.99
3	$V = 60.75(1 - e(0.10 \times t)) + 75.42 e(e(1 + 0.03 e(9.75 - t)))$	bB	0.99
30	$V = 74.09(1 - e(0.09 \times t)) + 66.32 e(e(1 + 0.03 e(8.46 - t)))$	aA	0.99

1: expresso em mg g<sup>-1</sup> MS; 2: Equações estimadas usando o modelo de Schofield e Pell<sup>(15)</sup>. Equações seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna são paralelas pelo teste de paralelismo de curvas. Equações seguidas por letras maiúsculas iguais são idênticas pelo teste de identidade a 5% de probabilidade.

O teste de paralelismo apresentou alteração no comportamento cinético da produção de gás *in vitro* ( $p < 0.05$ ; Tabela 6; Figura 1a). Foi observado comportamento semelhante entre os tratamentos com 0 e 30 mg g<sup>-1</sup> MS ( $p < 0.05$ ; Figura 1b) e entre os tratamentos com 0.3 e 3 mg g<sup>-1</sup> MS de óleo de açaí ( $p < 0.05$ ; Figura 1c).



**Figura 1.** Curvas de produção cumulativa de gás *in vitro* por tempo de incubação: **a.** todas as dosagens do óleo de açaí; **b.** comparação de 0 e 30  $\text{mg g}^{-1}$  MS; **c.** comparação de 0.3 e 3  $\text{mg g}^{-1}$  MS.

#### 4. Discussão

O açaí é rico em compostos fenólicos, principalmente antocianinas e proantocianinas, que lhe conferem pigmentação natural e reduzem o estresse oxidativo<sup>(19)</sup>. Com base nessas propriedades, este estudo levantou a hipótese de que o óleo de açaí reduziria a relação acetato-propionato, a concentração de N–NH<sub>3</sub> e a produção total de gases, mantendo ou aumentando a degradabilidade *in vitro* da matéria seca e orgânica. Essa hipótese foi parcialmente confirmada, pois a DIVMS não foi afetada com 0.3 e 3 mg g<sup>-1</sup> MS de óleo de açaí, mas reduziu com 30 mg g<sup>-1</sup> MS, enquanto a DIVMO, a concentração de AGVs e de N–NH<sub>3</sub> não foram alterados.

A maior DIVMS e DIVMO observada em 48 h em todos os tratamentos provavelmente reflete a colonização microbiana e a fermentação das frações estruturais de carboidratos do substrato, particularmente devido ao crescimento e a adesão mais lento de microrganismos fibrolíticos que degradam as frações estruturais de carboidratos<sup>(20)</sup>. A redução na DIVMS com 30 mg g<sup>-1</sup> MS pode ser

atribuída a compostos bioativos no óleo de açaí com efeitos inibitórios sobre bactérias gram-positivas, como demonstrado em estudo *in vitro* para *S. aureus* e *E. faecalis*<sup>(7)</sup>. Embora essas espécies sejam incomuns no rúmen, outras bactérias gram-positivas estão presentes, incluindo *Ruminococcus* sp. (degrada celulose e hemicelulose), *Streptococcus bovis* e *Lactobacillus* sp. (degrada amido), *E. faecium* (hidrolisa ureia em amônia) e arqueas metanogênicas, como *Methanobacterium* sp. e *Methanobrevibacter* sp. (produzem metano a partir de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, subprodutos da fermentação ruminal)<sup>(21)</sup>. Assim, a possível supressão desses grupos microbianos pelo óleo de açaí pode ter comprometido a eficiência da fermentação de substratos fibrosos e amiláceos, refletindo a redução da DIVMS na dose mais alta, embora a ausência de alteração em 48 h sugira que a colonização microbiana foi mantida. Assim, os compostos do óleo de açaí provavelmente reduziram a eficiência da fermentação a curto prazo na dose de 30 mg g<sup>-1</sup> MS, sem exercer toxicidade significativa sobre a microbiota ruminal.

O uso de extratos vegetais pode ter diferentes efeitos na degradabilidade e nos produtos da fermentação ruminal devido aos efeitos inibitórios dos fitoquímicos na microbiota ruminal<sup>(22)</sup>. No entanto, em nosso estudo, o óleo de açaí não alterou o perfil de AGVCC e a concentração de N-NH<sub>3</sub>, indicando que as principais vias metabólicas da fermentação ruminal foram preservadas e que o suprimento energético líquido para o animal provavelmente não seria comprometido.

No entanto, as mudanças observadas na taxa de produção de gás, conforme indicado pelo teste de paralelismo, e no volume de gás, conforme indicado pelo teste de identidade, revelaram aumento na taxa de produção com 0 e 30 mg g<sup>-1</sup> MS de óleo de açaí. Isso indica que as dosagens mais baixas (0.3 e 3 mg g<sup>-1</sup>) alteraram o padrão de fermentação ao reduzir a taxa de fermentação. Além disso, o aumento da produção de gás com 30 mg g<sup>-1</sup> e as doses intermediárias 0.3 e 3 mg g<sup>-1</sup> em comparação com o tratamento controle indicam que, embora a inclusão de lipídios possa reduzir a fermentação ruminal e a produção de gás devido aos seus efeitos tóxicos sobre os microrganismos<sup>(23)</sup>, o óleo de açaí pode ter preservado e estimulado a atividade fermentativa neste estudo. Este efeito provavelmente está relacionado aos compostos bioativos no óleo que modulam a microbiota ruminal sem comprometer a eficiência geral da fermentação.

Está bem estabelecido que a fermentação ruminal produz proteínas microbianas, amônia e AGV. Embora esses produtos sejam fontes vitais de energia para os ruminantes, a formação de gases representa perda de energia e utilização ineficiente de nutrientes. A produção de gases durante a fermentação ruminal está diretamente relacionada à degradação da matéria orgânica e ao metabolismo microbiano, pois parte da energia da dieta é convertida em gases e não é utilizada para síntese microbiana ou produção de AGV<sup>(24)</sup>. Consequentemente, o objetivo da manipulação da fermentação ruminal é aumentar a eficiência da utilização de nutrientes e da produção animal, bem como reduzir a perda de energia durante a fermentação. De acordo com os resultados deste estudo, Freitas et al.<sup>(6)</sup> também relataram aumento na produção de gases *in vitro* com suplementação com óleo de açaí. Apesar disso, a ausência de alterações nas concentrações de AGV neste estudo sugere que a produção dos principais produtos finais de degradação (acetato, propionato e butirato) permaneceu eficiente.

Do ponto de vista prático, os resultados indicam que níveis mais elevados de inclusão de óleo de açaí não prejudicam a fermentação *in vitro*. No entanto, do ponto de vista nutricional, o aumento na produção de gases sem alterações na concentração de AGV ou DIVMO provavelmente reflete na maior liberação de CH<sub>4</sub> ou CO<sub>2</sub>, os principais gases produzidos no rúmen. Isso representa aumento na perda de

energia sem aumentar a produção de substratos energéticos para o animal. Portanto, embora os perfis de AGV não tenham sido afetados, o aumento na produção de gases e a redução na DIVMS observadas com a dose de  $30 \text{ mg g}^{-1}$  MS de óleo de açaí indicam redução na eficiência energética da dieta.

## 5. Conclusão

Os resultados deste estudo indicam que o óleo de açaí modula a fermentação ruminal *in vitro* em bovinos sem prejudicar a eficiência fermentativa nas dosagens de 0.3 e  $3 \text{ mg g}^{-1}$ . Em contraste, a inclusão de  $30 \text{ mg g}^{-1}$  reduz a DIVMS e aumenta a produção total de gases, resultando em maior perda de energia da dieta. Portanto, o óleo de açaí é promissor como aditivo em níveis moderados de inclusão. Pesquisas futuras *in vivo* são incentivadas para confirmar os efeitos no desempenho animal, com enfoque aos efeitos dos compostos bioativos na modulação da microbiota ruminal e na dinâmica da fermentação.

### Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

### Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto completo de dados que suporta os resultados deste estudo está disponível mediante solicitação ao autor correspondente.

### Contribuições do autor

Conceituação: G. J. Coelho, R. Mezzomo e R. P. Maciel. Coleta de dados: G. J. Coelho, M. E. Saúde, H. M. F. Martins e S. V. Sousa. Investigação: G. J. Coelho e F. G. Oliveira. Metodologia: R. Mezzomo, R. P. Maciel e L. F. Sousa. Supervisão: R. Mezzomo. Redação (rascunho original): G. J. Coelho. Redação (revisão e edição): R. Mezzomo e R. P. Maciel.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural da Amazônia, à Universidade Federal do Norte do Tocantins, ao Programa de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia nos Trópicos e ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Produção Animal na Amazônia. Reconhecemos também o financiamento para bolsas de estudo concedidas pela Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasília, D.F., Brasil) - Código de Financiamento 00; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Adicionalmente, à sua inestimável contribuição para o desenvolvimento desta pesquisa, o Prof. Luciano Fernandes Sousa, *in memoriam*.

### Referências

1. Ahmed MG, Elwakeel EA, El-Zarkouny SZ, Al-Sagheer AA. Environmental impact of phytobiotic additives on greenhouse gas emission reduction, rumen fermentation manipulation, and performance in ruminants: an updated review. Environ Sci Pollut Res. 2024; 31: 37943-37962. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33664-5>
2. Kang J, Li Z, Wu T, Jensen GS, Schauss AG, Wu X. Anti-oxidant capacities of flavonoid compounds isolated from acai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). Food Chem. 2010; 122 (3): 610-617. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.020>
3. Lemos BJM, Souza FM, Arnhold E, Conceição EC, Couto VRM, Fernandes JJR. Effects of plant extracts from *Stryphnodendron adstringens* (mart.) coville, *Lafoensia pacari* a. st.-hil, *copaifera* spp., and *Pterodon emarginatus* Vogel on *in vitro* rumen fermentation. J Anim Physiol Anim Nutr. 2021; 105 (4): 639-652. Available: <https://doi.org/10.1111/jpn.13502>
4. Ibiapina A, Gualberto LS, Dias BB, Freitas BCB, Martins GAS, Melo Filho AA. Essential and fixed oils from Amazonian fruits: properties and applications. Food Sci Nutr. 2021; 62 (32): 8842-8854. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1935702>
5. Santos DS, Klauck V, Souza CF, Baldissera MD, Theisen C, Bordignon B, Alba DF, Reis JH, Gebert RR, Vedovatto M, Silva AS. Effects of the inclusion of açaí oil in diet of prepartum Holstein cows on milk production, somatic cell counts and future lactation. An. Acad. Bras. Ciênc. 2020; 92 (4). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020200149>
6. Freitas DS, Terry SA, Ribeiro RS, Pereira LG, Tomich TR, Machado FS, Campos MM, Corrêa PS, Abdalla AL, Maurício RM, Chaves AV. Unconventional vegetable oils for a reduction of methanogenesis and modulation of ruminal fermentation. Front Vet Sci. 2018; 5: 201. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00201>

7. Melhorançá Filho AL, Pereira MRR. Antimicrobial activity of oils extracted from açaí and pupunha on the development of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Biosci J.* 2012; 29 (4): 598-603.
8. Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim Feed Sci Tech.* 1994; 48 (3): 185-197. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
9. Detmann E, Silva LFC, Rocha GC, Palma MNN. Methods for food analysis. 2nd ed. Publisher: Suprema, Visconde do Rio Branco. (2021).
10. Vargas JAC, Leite GP, Coelho GJ, Araújo TC, Gomes DI, Alves KS, Mezzomo R. Technical note: Evaluation of an alternative automatic heating-stirring system in the determination of *in vitro* ruminal dry matter digestibility of forages using the Tilley and Terry method. *Acta Sci Anim Sci.* 2023; 45 (1): e61195. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v45i1.61195>
11. Vargas JAC, Araújo TC, Mezzomo R. Extraction, identification, and quantification of volatile fatty acids (VFA) in rumen fluid samples using Reverse Phase High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detector (RP HPLC-DAD). Available at Protocol Exchange. 2020; 1: 1-10. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.pex-1121/v1>
12. Mauricio RM, Mould FL, Dhanoa MS, Owen E, Channa KC, Theodorou MK. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. *Anim Feed Sci Tech.* 1999; 79: 321-330. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00033-4)
13. Schofield P, Pell AN. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *J Anim Sci.* 1995; 73 (11): 3455-3463. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1995.73113455x>
14. France J, Dhanoa MS, Theodorou MK, Lister SJ, Davies DR, Isac D. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. *J Theor Biol.* 1993; 163 (1): 99-111. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jtbi.1993.1109>
15. Schofield P, Pitt RE, Pell AN. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. *J Anim Sci.* 1994; 72 (11): 2980-2991. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1994.72112980x>
16. Wang Z, Li X, Zhang L, Wu J, Zhao S, Jiao T. Effect of Oregano Oil and Cobalt Lactate on Sheep *In Vitro* Digestibility, Fermentation Characteristics and Rumen Microbial Community. *Animals.* 2022; 12 (1):118. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12010118>
17. Freese, F. Métodos estadísticos elementares para técnicos forestales. Buenos Aires, Centro Regional de Ayuda técnica. (1970).
18. Regazzi AJ, Silva CHO. Test to verify the equality of parameters and the identity of non-linear regression models. I. data in a completely randomized design. *Rev Mat Estat.* 2004; 22 (3): 33-45.
19. Coelho GJ, Castillo JAV, Araújo TC, Maciel RP, Alves KS, Gomes DI, Mezzomo R. Perspectives on the use of extracts from Amazonian plants and fruits (açaí, copaiba, salva- do-marajo, pupunha and bacuri) as potential modulators of ruminal fermentation: a brief overview. *Ces Med Vet y Zootec.* 2022; 17 (2): 36-62. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.6773>
20. Cabral LDS, Valadares Filho SDC, Detmann E, Zervoudakis JT, Pereira OG, Veloso RG, Pereira ES. Ruminal kinetic of carbohydrate fractions, gas production, dry matter *in vitro* digestibility and estimated TDN of corn silage with different grain proportions. *Rev Bras Zoot.* 2002; 31: 2332-2339. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000900023>
21. Liu K, Zhang Y, Yu Z, Xu Q, Zheng N, Zhao S, Huang G, Wang, J. Ruminal microbiota–host interaction and its effect on nutrient metabolism. *Animal Nut.* 2021; 7 (1), 49-55. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.12.001>
22. Shilwant S, Hundal JS, Singla M, Patra AK. Ruminal fermentation and methane production *in vitro*, milk production, nutrient utilization, blood profile, and immune responses of lactating goats fed polyphenolic and saponin-rich plant extracts. *Environ Sci Pollut Res.* 2023; 30 (4): 10901-10913. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22931-y>
23. Jenkins TC. Lipid metabolism in the rumen. *J dairy sci.* 1993; 76 (12): 3851-3863. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77727-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77727-9)
24. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed., Ithaca: Cornell University. (1994).