

## Produção cumulativa de gases e parâmetros de France avaliados pela técnica semiautomática *in vitro* de fontes de carboidratos de ruminantes

*Cumulative production of gases and France parameters evaluated by the semi-automatic in vitro technique of carbohydrates sources for ruminants*

MOREIRA, Paulo César<sup>1</sup>; REIS, Ronaldo Braga<sup>2</sup>; REZENDE, Pedro Leonardo de Paula<sup>3\*</sup>; WASCHECK, Roberto de Camargo<sup>4</sup>; MENDONÇA, Alberto Correa de<sup>1</sup>; DUTRA, Alecssandro Regal<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia, Goiânia, Goiás, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Departamento de Zootecnia, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal Goiás, Escola de Veterinária, Departamento de Produção Animal, Goiânia, Goiás, Brasil.

<sup>4</sup>Universidade Católica de Goiás, Escola de Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Goiânia, Goiás, Brasil.

\*Endereço para correspondência: peleonardo@hotmail.com

### RESUMO

Avaliou-se, através da técnica semiautomática *in vitro*, o efeito das associações entre diferentes fontes de carboidratos (milho dentado ou milho duro ou polpa cítrica) e forragens (silagem de milho, silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho, capim elefante, cana-de-açúcar, silagem de resíduo de milho), sobre a produção cumulativa de gases. Constatou-se interação significativa entre os tratamentos e tempos de incubação. A associação de silagem de sorgo com silagem de resíduo de milho + milho dentado (SRDE) resultou em maior produção cumulativa de gases em todos os tempos com produção total de 325,3mL às 96 horas. Com relação aos parâmetros de France os tratamentos com cana-de-açúcar (CADE, CADU e CAPC) resultaram em elevado potencial para produção de gases (322, 325 e 317mL/gMS, respectivamente). As associações compostas por Capim-Elefante + milho duro ou dentado (CEDU e CEDE) resultaram em elevados tempos de colonização (2,21 e 1,07 horas, respectivamente). Em geral, os melhores resultados de produção de gases foram obtidos nos tratamentos que contemplavam a associação de silagem de Sorgo e silagem de resíduo de milho verde na porção volumosa (SRDE, SRDU e SRPC), o que evidencia o potencial de utilização dessas fontes nas dietas de ruminantes.

**Palavras-chave:** amido, AGV's, fibra, pectina, subprodutos

### SUMMARY

It was evaluated, by semi-automatic technique *in vitro*, the effect of the associations among different sources of carbohydrates (dent corn or flint corn or citrus pulp) to forage (corn silage, sorghum silage + silage corn residue, elephant grass, sugar cane, silage corn residue) on the cumulative gas production. There was a significant interaction between treatments and incubation times. The association of sorghum silage with silage corn residue + dent corn (SRDE) resulted in higher cumulative gas production at all times with total production of 325.3 mL at 96 hours. The France's parameters showed that the treatment with sugar-cane (CADE, CADU and CAPC) resulted in high potential gas production (322, 325 and 317mL/gMS, respectively). The associations from Elephantgrass + dent or flint corn (CEDU and CEDE) resulted in high colonization times (2.21 and 1.07 hours, respectively). In general, the best results of gas production were obtained in the treatments that addressed the association of sorghum silage + silage corn residue in bulky portion (SRDE, and SRDU srpc) showing the potential for using these sources in the diets of ruminants.

**Keywords:** starch, VFA's, fiber, pectin, by-product

## INTRODUÇÃO

Os sistemas atuais de adequação de dietas para ruminantes necessitam de informações sobre o alimento no que diz respeito às suas frações de carboidratos e proteínas, bem como de suas taxas de digestão, para que se possa estimar com maior exatidão o desempenho dos animais e maximizar a eficiência de utilização dos nutrientes.

A técnica de produção de gases é simples e de baixo custo, o que a torna atrativa para qualquer laboratório envolvido em estudos de alimentos para ruminantes. A sua investigação envolve um animal canulado no rúmen e permite o trabalho com várias amostras por corrida. São vantagens da técnica de produção de gases sua simplicidade de uso e a possibilidade de processar grande número de amostras em curto espaço de tempo (BARCELOS et al., 2001).

Valentin et al. (1999), ao compararem as técnicas de degradabilidade *in vitro* e produção de gases pelo método de Menke et al. (1979), concluíram que as correlações entre os resultados desse método não foram suficientemente fortes para predizer parâmetros de degradabilidade, provenientes dos parâmetros de produção de gases. Pell & Schofield (1993) e Theodorou et al. (1994) aperfeiçoaram o método de produção de gases, acumulados em frascos de volume fixo, conhecido e calculado segundo as variações na pressão, o que a tornou mais precisa, acurada e segura.

A técnica de produção de gases (MENKE et al., 1979; PELL & SCHOFIELD, 1993; Theodorou et al., 1994) consiste basicamente em medir a produção total de gás liberada pela fermentação de uma amostra incubada em líquido ruminal tamponado. Outros métodos *in vitro* são

baseados em mensurações gravimétricas que seguem o desaparecimento do substrato (componentes que podem ou não contribuir para a fermentação), em que a mensuração de gás concentra-se no surgimento de produtos de fermentação de substâncias solúveis, mas não fermentáveis, que não contribuem para a produção de gases

Um modelo matemático de interpretação para a produção cumulativa de gases foi proposto por France et al. (1993). Theodorou et al. (1994) apresentaram a simplificação do método de determinação da cinética de fermentação de alimentos em ruminantes pela técnica de produção de gases, por meio de um transdutor para leitura de pressão no interior do frasco.

Objetivou-se, com este estudo, avaliar a produção de gases e os parâmetros de France de diferentes fontes de carboidratos na alimentação de ruminantes pela técnica semiautomática *in vitro*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido no Laboratório de Análises de Gases do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG e o resultado da análise bromatológica dos alimentos utilizados no experimento está expresso na Tabela 1.

Utilizaram-se como substratos os volumosos: cana de açúcar; silagem de milho; silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho; capim elefante com 32 dias de idade e silagem de resíduo de milho. Esses volumosos foram acrescidos de concentrados energéticos: polpa cítrica; milho dentado AG-4051 (Monsanto<sup>®</sup>, ciclo normal) moído; milho duro TORC (Syngenta<sup>®</sup>, precoce) moído, com simulações de condições de campo, nas seguintes proporções: SRDE =

silagem de sorgo (27,5%) + silagem de resíduo de milho verde (27,5%) + milho dentado (45%); SRDU = silagem de sorgo (27,5%) + silagem de resíduo de milho verde (27,5%) + milho duro (45%); SRPC = silagem de sorgo (27,55%) + silagem de resíduo de milho verde (27,5%) + polpa cítrica (45%); CEDE = capim elefante (55%) + milho dentado (45%); CEDU = capim elefante (55%) + milho duro (45%); CEPC = capim

elefante (55%) + polpa cítrica (45%); CADE = cana de açúcar (55%) + milho dentado (45%); CADU = cana de açúcar (55%) + milho duro (45%); CAPC = cana de açúcar (55%) + polpa cítrica (45%) - (CAPC); SMDE = silagem de milho (55%) + milho dentado (45%); SMDU = silagem de milho (55%) + milho duro (45%) e SMPC = silagem de milho (55%) + polpa cítrica (45%).

Tabela 1. Análise bromatológica dos alimentos volumosos e concentrados (%MS)

Substratos	MS	FDN	FDA	PB	EE	Ca	P	NIDA
Silagem de sorgo	30,93	58,08	37,74	5,95	3,02	0,22	0,18	0,52
Silagem de milho	33,56	48,39	29,93	8,58	4,56	0,24	0,07	0,58
Capim elefante	22,63	70,57	40,61	8,11	3,43	0,48	0,29	1,21
Resíduo de milho	25,47	78,15	36,36	8,05	3,72	0,09	0,18	0,41
Cana-de-açúcar	28,75	51,13	32,36	4,01	1,33	0,10	0,05	0,84
Polpa cítrica	87,97	20,45	24,42	7,32	3,13	2,19	0,09	1,55
Milho duro	88,94	22,31	4,08	7,41	5,80	0,03	0,26	-
Milho dentado	87,68	20,95	5,5	8,81	7,46	0,05	0,41	-

MS = matéria seca, FDN= fibra em detergente neutro, FDA = fibra em detergente ácido, PB = proteína bruta, EE = extrato etéreo, Ca = cálcio, P = fósforo, NIDA = nitrogênio insolúvel em detergente ácido.

Os substratos foram pré-secos em estufas de ventilação forçada a 60°C por 48 horas e posteriormente foram moídos em moinho mecânico com peneira de 5mm (forrageiras), e 1mm (concentrados) para determinação da matéria seca (MS) em estufa a 105 °C (SILVA & QUEIROZ, 2002), proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldhal (AOAC, 2000) e componentes da parede celular pelo método de detergentes (VAN SOEST et al., 1991).

Para coleta do líquido ruminal (inóculo), utilizou-se uma vaca da raça Holandês, não lactante, provida de cânula ruminal e previamente adaptada por 14 dias às dietas propostas, com base na proporção concentrado:volumoso utilizada em todos os tratamentos (45:55).

A coleta foi realizada manualmente no saco ventral do rúmen, quatro horas pós-alimentação. O líquido ruminal foi filtrado em gaze e acondicionado em garrafas térmicas pré-aquecidas com água a 39°C. O inóculo foi composto por uma amostra de líquido ruminal retirado da vaca citada. O meio a ser utilizado foi o “tampão de McDougal” (MAURÍCIO et al., 1999a). Depois de preparada, a solução tampão foi colocada em banho-maria e adicionou-se, para cada litro de tampão, uma solução redutora preparada momentos antes, composta de 891mg de HCl mais cisteína e 891mg de sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), 5,7mL de NaOH 1 N e água destilada até o volume de 77mL. Esse volume foi calculado para manter uma relação solução tampão:solução redutora

de 26:2. Então, a solução foi borbulhada com CO<sub>2</sub>, para atingir pH entre 6,8 – 6,9. Para as incubações, tomou-se uma amostra composta de aproximadamente 1g, com obediência às proporções volumoso:concentrado, com granulometria de 5 e 1mm para volumoso e concentrado, respectivamente, pesados em balança digital conforme os tratamentos propostos (55% de volumoso + 45% de cada concentrado). As amostras dos substratos acrescidos dos concentrados energéticos, em triplicata, foram colocadas em frascos de vidro com capacidade de 160mL, no volume de um grama, acrescentados nesses 90mL de meio de cultura tamponado (MAURÍCIO et al., 1999a), e os frascos aspergidos novamente com CO<sub>2</sub> foram imediatamente tampados com rolha de borracha e colocados em banho-maria a 39°C. Para cada tempo dos tratamentos foram incubados dois frascos “brancos”, apenas com inóculo e solução tampão, para funcionar como “controle”, com quantificação da produção de gases oriunda da fermentação produzida pelo inóculo. Para evitar contaminações e/ou fermentação antes da adição do inóculo, os frascos foram mantidos em geladeira comum a uma temperatura de 4°C. Cinco horas antes da inoculação, os frascos foram retirados da geladeira e levados à estufa de ventilação forçada a 39°C. A inoculação foi realizada através da injeção de 10mL de líquido ruminal em cada frasco, sob aspersão contínua de CO<sub>2</sub>, para manutenção da anaerobiose. Após inoculação, os frascos foram novamente fechados com tampas de borracha siliconada.

O volume de gases foi estimado segundo metodologia descrita por France et al. (1993), adaptada de Maurício et al. (1999a,b). As leituras de pressão e volume dos gases foram obtidas por meio de um transdutor (0-1kgf/cm<sup>2</sup>) acoplado a uma seringa metálica (20mL), nos

seguintes tempos: 2; 6; 12; 24, 48, e 96 horas após o início da incubação. Os dados de pressão foram utilizados para o cálculo do volume de gases produzidos de acordo com Maurício et al. (2003) e Nogueira et al. (2006). Com o somatório do volume de gás para cada tempo de leitura, foram construídas as curvas de produção cumulativa dos gases oriundos da degradação da MS e MO, para cada tempo de incubação, método denominado “curva de subtração”. Os valores do volume acumulado de gases foram submetidos à análise estatística com base nos parâmetros de France para taxas de passagem de 2%/H (France et al., 1993):

$$Y = A - B \times Q^t \times Z^{cvt}$$

Em que:

Y = produção de gases (mL)

t = tempo de incubação

A = valor assintótico do pool de gases (mL)

B = A<sup>(Bt + cvt)</sup> (sem valor biológico)

Q = e<sup>-b</sup>

Z = e<sup>-c</sup>

O potencial máximo de produção de gases (A), o tempo de colonização (L) e a taxa de produção de gases (μ) foram calculados segundo Ross (1987):

$$\mu = b + c / z (\sqrt{t})$$

Em que:

μ = taxa de produção de gases (mL/h)

t = tempo de incubação; “b” e “c” são constantes.

A produção cumulativa de gases em função dos tempos de coleta foi avaliada por análise multivariada de medidas repetidas no tempo com base nos tempos de incubação (2; 6; 12; 24; 48 e 96 horas) pelo procedimento MIXED do *software* estatístico SAS (2002). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, organizado em um arranjo fatorial 12x3 (doze tratamentos e três repetições) segundo o seguinte modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + R_j(\beta_i) + \tau_j + (\beta^* \tau)_{ij} + E_{ijk}$$

Em que:

$Y_{ijk}$  = Observações da variável dependente correspondente a a i-ésima combinação forragem/concentrado (tratamento), j-ésimo tempo de incubação e repetição k;

$\mu$  = Média de todas as observações;

$\beta_i$  = Efeito da i-ésima combinação forragem/concentrado (tratamento), em que  $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ ;

$R_j(\beta_i)$  = efeito aleatório baseado na repetição dentro do tratamento;

$\tau_j$  = efeito do j-ésimo tempo de incubação, sendo  $j = 2, 6, 12, 24, 48$  e  $96$  horas;

$(\beta*\tau)_{ij}$  = efeito da interação entre a i-ésima combinação forragem/concentrado e o j-ésimo tempo de incubação;

$E_{ijk}$  = Erro experimental referente ao efeito da i - ésima combinação forragem/concentrado, j-ésimo tempo de incubação e repetição k.

Os dados foram transformados em base logarítmica (base decimal), em função da instabilidade dos dados implicada pelo elevado coeficiente de variação obtido quando se analisam culturas de microorganismos (Sampaio, 2002). As diferenças entre médias foram detectadas pelo teste SNK. Adotou-se 5% como o nível de significância máximo das análises.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos e tempos de incubação. Os resultados mostram que a associação de silagem de sorgo com silagem de resíduo de milho verde + milho dentado (SRDE) resultou em maior ( $p < 0,05$ ) produção cumulativa de gases em todos os tempos de incubação (Tabela 2).

Os melhores resultados de produção de gases foram obtidos nos tratamentos que contemplavam a associação de silagem de Sorgo e silagem de resíduo

de milho verde na porção volumosa (SRDE, SRDU e SRPC), na maioria dos tempos de incubação. Esses resultados apontariam para um efeito associativo positivo desse tipo de volumoso com as fontes testadas de carboidratos de maior taxa de fermentabilidade (milho dentado, milho duro e polpa cítrica). Segundo Beuvink & Spoelstra (1992), a relação propionato/acetato pode interferir no volume de gases produzidos. Dessa forma, a provável maior produção de acetato resultante da fermentação dos carboidratos fibrosos do volumoso composto por silagem de sorgo + silagem de resíduo pode ter resultado na maior produção cumulativa de gases.

Na avaliação da produção cumulativa de gases de silagens de quatro híbridos de sorgo pela mesma técnica, Mauricio et al. (2003) constataram altas correlações ( $r^2 = 0,99$ ) entre os resultados de digestibilidade da matéria seca nos tempos 6; 12; 24; 48 e 96 horas e as respectivas produções de gases (mL), o que confirma a relação existente entre o volume de gases produzido e o processo de degradação da matéria seca. Essas elevadas correlações também já haviam sido descritas por Mould et al. (1999), ao trabalharem com silagens de milho. Esses resultados demonstram a possibilidade de estimar a curva de degradação da MS através dos valores da produção cumulativa de gases para grupos específicos de alimentos (MAURICIO et al., 2003).

Nota-se, graficamente, a superioridade dos tratamentos compostos por Silagem de sorgo + Silagem de resíduo de milho associado ao milho duro, milho dentado ou polpa cítrica (SRDU, SRDE e SRPC), que apresentaram curvas similares (Figura 1).

Tabela 2. Médias de produção cumulativa de gases (mL) de dietas compostas por diferentes fontes de carboidratos avaliadas pela técnica semiautomática *in vitro*

Item	Tempo de incubação (h)						
	2	6	12	24	36	48	96
CADE	13,2 <sup>E</sup>	49,3 <sup>G</sup>	114,5 <sup>H</sup>	209,3 <sup>D</sup>	242,5 <sup>E</sup>	260,9 <sup>C</sup>	293,8 <sup>C</sup>
CADU	18,5 <sup>CD</sup>	77,4 <sup>CD</sup>	155,9 <sup>C</sup>	244,8 <sup>B</sup>	273,7 <sup>C</sup>	284,4 <sup>B</sup>	299,8 <sup>C</sup>
CAPC	15,6 <sup>D</sup>	60,9 <sup>F</sup>	136,3 <sup>F</sup>	240,9 <sup>BC</sup>	275,5 <sup>BC</sup>	288,5 <sup>BA</sup>	306,8 <sup>BA</sup>
CEDE	20,4 <sup>C</sup>	66,2 <sup>E</sup>	129,9 <sup>G</sup>	230,0 <sup>C</sup>	267,4 <sup>D</sup>	284,5 <sup>B</sup>	304,5 <sup>BA</sup>
CEDU	16,7 <sup>D</sup>	48,9 <sup>G</sup>	111,3 <sup>H</sup>	227,1 <sup>C</sup>	269,5 <sup>D</sup>	288,4 <sup>BA</sup>	312,5 <sup>B</sup>
CEPC	29,1 <sup>A</sup>	80,4 <sup>C</sup>	146,4 <sup>D</sup>	230,9 <sup>C</sup>	263,4 <sup>D</sup>	277,6 <sup>C</sup>	299,2 <sup>C</sup>
SMDE	24,0 <sup>B</sup>	85,2 <sup>B</sup>	166,4 <sup>B</sup>	250,0 <sup>AB</sup>	276,1 <sup>BC</sup>	288,3 <sup>BA</sup>	308,1 <sup>BA</sup>
SMDU	19,6 <sup>C</sup>	74,0 <sup>D</sup>	145,8 <sup>D</sup>	245,6 <sup>B</sup>	279,5 <sup>B</sup>	294,8 <sup>B</sup>	316,8 <sup>B</sup>
SMPC	17,1 <sup>CD</sup>	58,4 <sup>F</sup>	126,9 <sup>G</sup>	242,6 <sup>BC</sup>	281,6 <sup>B</sup>	297,4 <sup>B</sup>	321,4 <sup>A</sup>
SRDE	26,6 <sup>A</sup>	100,0 <sup>A</sup>	178,0 <sup>A</sup>	261,5 <sup>A</sup>	293,7 <sup>A</sup>	307,5 <sup>A</sup>	325,3 <sup>A</sup>
SRDU	23,9 <sup>B</sup>	85,3 <sup>B</sup>	158,9 <sup>C</sup>	252,7 <sup>AB</sup>	290,6 <sup>A</sup>	306,7 <sup>A</sup>	327,8 <sup>A</sup>
SRPC	23,0 <sup>B</sup>	101,8 <sup>A</sup>	179,7 <sup>A</sup>	248,9 <sup>B</sup>	276,3 <sup>BC</sup>	290,6 <sup>BA</sup>	311,3 <sup>BA</sup>
p Valor	0,0354	0,0058	<0,0001	0,0065	<0,0001	0,0034	0,0434

<sup>a,b,c,d,e,f,g,h</sup> Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística entre tratamentos detectadas pelo teste SNK à 5% de probabilidade.

CEDE = capim elefante + milho dentado, CEDU = capim elefante + milho duro, CEPC = capim elefante + polpa cítrica, CADE = cana-de-açúcar + milho dentado, CADU = cana-de-açúcar + milho duro, CAPC = cana-de-açúcar + polpa cítrica, SMDE = silagem de milho + milho dentado, SMDU = silagem de milho + milho duro, SMPC = silagem de milho + polpa cítrica, SRDE = silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho verde + milho dentado, SRDU = silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho verde + milho duro, SRPC = silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho verde + polpa cítrica.

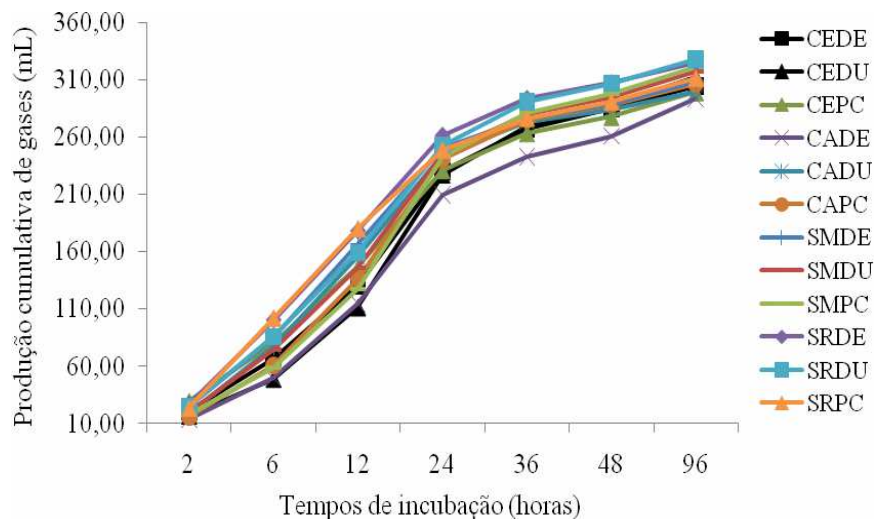


Figura 1. Curva de produção cumulativa de gases (mL) obtidas pela técnica *in vitro* semiautomática de dietas compostas por diferentes fontes de carboidratos

A forma da curva é similar em relação às associações de milho dentado, milho duro ou polpa cítrica com silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho verde que apresentaram comportamento semelhante. Às 24 horas os tratamentos que continham polpa cítrica na fração concentrada reduziram a produção cumulativa de gases, enquanto que os que continham milho dentado e milho duro as médias se elevaram. Às 36 horas, os tratamentos com milho dentado e milho duro foram próximos e superiores aos que continham polpa cítrica, respectivamente.

Quanto aos parâmetros de France et al. (1993), os quais descrevem numericamente de maneira descritiva a cinética de fermentação ruminal, nota-se que o potencial máximo de produção de gases (A), parâmetro que estima a máxima produção de gases (mL/gMS) quando a curva atinge sua assíntota, os tratamentos que continham cana-de-açúcar (CADE, CADU e CAPC) tenderam a apresentar valores numericamente superiores (Tabela 3).

Isso provavelmente ocorreu devido à maior disponibilidade e à maior quantidade de carboidratos prontamente fermentáveis da cana-de-açúcar. Segundo Fernandes et al. (2003), a cana-de-açúcar destaca-se pelo elevado teor de carboidrato não fibroso, rapidamente fermentado, e por uma lenta taxa de digestão dos carboidratos fibrosos.

O parâmetro “Lag” que estima o tempo de colonização (horas) apresentou a maior variabilidade entre os tratamentos, e as associações compostas por Capim-Elefante + milho duro ou dentado (CEDU e CEDE) resultaram em tempos numericamente maiores de “Lag” provavelmente devido à proteção da matriz proteica, bem como ao tipo do amido presente, o que não favoreceu a rápida colonização dos carboidratos pelos microrganismos. Os tratamentos que continham polpa cítrica apresentaram menores tempos, com exceção da associação com cana-de-açúcar.

Tabela 3. Médias e erros padrão (EP) referentes aos parâmetros de France para a adição de diferentes fontes de carboidratos a fontes de volumosos

Tratamentos	A	EP	Lag	EP	T/2	EP	$\mu$	EP
SRDE	312	$\pm 9,76$	0,64	$\pm 0,01$	12,83	$\pm 0,31$	4,70	$\pm 0,08$
SRDU	316	$\pm 7,93$	0,74	$\pm 0,06$	14,54	$\pm 0,31$	3,11	$\pm 0,07$
SRPC	306	$\pm 7,76$	0,59	$\pm 0,01$	11,83	$\pm 0,31$	5,89	$\pm 0,10$
CEDE	302	$\pm 8,22$	1,07	$\pm 0,04$	13,95	$\pm 0,31$	3,85	$\pm 0,07$
CEDU	308	$\pm 7,76$	2,21	$\pm 0,03$	15,75	$\pm 0,31$	2,55	$\pm 0,08$
CEPC	295	$\pm 9,76$	0,24	$\pm 0,01$	12,12	$\pm 0,31$	5,26	$\pm 0,10$
CADE	322	$\pm 7,93$	0,02	$\pm 0,01$	10,55	$\pm 0,26$	7,28	$\pm 0,10$
CADU	325	$\pm 7,78$	0,21	$\pm 0,01$	12,32	$\pm 0,31$	5,43	$\pm 0,10$
CAPC	317	$\pm 7,76$	1,14	$\pm 0,06$	9,59	$\pm 0,19$	9,82	$\pm 0,10$
SMDU	302	$\pm 9,78$	1,39	$\pm 0,06$	13,27	$\pm 0,31$	3,73	$\pm 0,08$
SMDE	295	$\pm 7,78$	0,50	$\pm 0,01$	11,33	$\pm 0,31$	5,55	$\pm 0,10$
SMPC	301	$\pm 7,93$	0,14	$\pm 0,01$	10,65	$\pm 0,19$	6,57	$\pm 0,09$

A = Potencial de produção de gases (mL/gMS),  $\mu$  = taxa fracional de produção de gases (%/h), Lag = tempo de colonização (h), T/2 = tempo necessário para se atingir metade do potencial de produção de gases, SRDE = silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho verde + milho dentado, SRDU = silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho verde + milho duro, SRPC = silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho verde + polpa cítrica, CEDE = capim elefante + milho dentado, CEDU = capim elefante + milho duro, CEPC = capim elefante + polpa cítrica, CADE = cana-de-açúcar + milho dentado, CADU = cana-de-açúcar + milho duro, CAPC = cana-de-açúcar + polpa cítrica, SMDE = silagem de milho + milho dentado, SMDU = silagem de milho + milho duro, SMPC = silagem de milho + polpa cítrica.

Os tratamentos com cana-de-açúcar apresentaram taxas fracionais de produção de gases ( $\mu$ ) numericamente mais altas, o que mostra a rapidez de fermentação e consequentemente produção de gases, seguidos pelos tratamentos com polpa cítrica. A presença da pectina na polpa cítrica e o conteúdo de carboidratos prontamente fermentescíveis na cana-de-açúcar disponibilizados prontamente produzem taxas de degradação fracional mais altas. O milho dentado, devido à presença de matriz proteica menos resistente, permite o acesso da microbiota ao amido e, consequentemente, gera taxas fracionais consideráveis. Faria et al. (2008) mencionam que a correlação entre produção cumulativa de gases e degradação dos carboidratos totais é elevada, entretanto, algumas diferenças em

relação à magnitude dessa correlação podem ser observadas em função da técnica adotada.

Em avaliação dos resultados obtidos pela técnica de produção de gases descrita por Menke et al. (1979), Blümmel & Ørskov (1993) sugeriram que as taxas fracionais de produção de gases ( $\mu$ ) e a taxa de degradação da matéria seca proporcionaram coeficientes de correlação com consumo superiores aos obtidos em experimentos de digestibilidade aparente. Dessa forma, infere-se que os parâmetros de France et al. (1993), principalmente  $\mu$ , obtidos neste estudo indicam que a polpa cítrica associada à cana-de-açúcar proporcionaria maior consumo.

As dietas compostas por silagem de sorgo + silagem de resíduo de milho verde, associadas ao milho duro ou dentado,



quando avaliadas pela técnica semiautomática *in vitro*, apresentaram os melhores indicativos de produção cumulativa de gases e evidenciaram o potencial de utilização dessas fontes de carboidratos em dietas de ruminantes.

Os parâmetros de France sugeriram que os tratamentos com inclusão de polpa cítrica e cana-de-açúcar associada ao milho dentado apresentaram elevado potencial de produção de gases e reduzido tempo de colonização.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis (red.)**. Washington, DC, 2000. 1015p. [ [Links](#) ].

BARCELOS, A.F.; PAIVA, P.C.A.; PEREZ, J.R.O.; TEIXEIRA, J.C.; CARDOSO, R.M.; SANTOS, V.B. Avaliação da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) pela técnica de degradabilidade *in vitro* de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.1829-1836, 2001. [ [Links](#) ].

BEUVINK, J.M.W.; SPOELSTRA, S.F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.37, n.5, p.505-509, 1992. [ [Links](#) ].

BLÜMMEL, M.; ORSKOV, E.R. Comparison of “*in vitro*” gas production and nylon degradability of roughage in predicting feed intake in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v.40, n.12, p.109-119, 1993. [ [Links](#) ].

CABRAL, L.; VALADARES FILHO, S.; DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.; SOUZA, A.; VELOSO, R. Avaliação de indicadores na estimação da excreção fecal e da digestibilidade em ruminantes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.1, p.29-34, 2008. [ [Links](#) ].

FARIA, B.N.; REIS, R.B.; MAURÍCIO, R.M.; LANA, A.M.Q.; SOARES, S.R.V.; SATURNINO, H.M.; COELHO, S.G. Efeitos da adição de propilenoglicol ou monensina à silagem de milho sobre a cinética de degradação dos carboidratos e produção cumulativa de gases *in vitro*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.4, p.177-182, 2008. [ [Links](#) ].

FERNANDES, A.M.; QUEIROZ, A.C.; PEREIRA, J.C.; LANA, R.P.; BARBOSA, M.H.P.; FONSECA, D.M.; DETMANN, E.; CABRAL, L.S.; PEREIRA, E.S.; VITTORI, A. Fracionamento e cinética da degradação *in vitro* dos carboidratos constituintes da cana-de-açúcar com diferentes ciclos de produção em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.48-52, 2003. [ [Links](#) ].

FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K. A model to interpret gas accumulation profiles with “*in vitro*” degradation of ruminants feeds. **Journal of Theoretical Biology**, v.163, n.11, p.99-111, 1993. [ [Links](#) ].

MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; MARTINS, R.G.R.; RODRIGUES, J.A.S. The potential nutritive value for ruminants of some tropical feedstuffs as indicated by *in vitro* gas production and chemical analysis. **British Society of Animal Production**, v.6, n.16, p.47-55. 1999a. [ [Links](#) ].

MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; MARTINS, R.G.R.; RODRIGUES, J.A.S. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science Technology**, v.79, n.4, p.321-330, 1999b. [ Links ].

MAURÍCIO, R.M.; L.G.R. PEREIRA; L.C. GONÇALVES; N.M. RODRIGUEZ. Relação entre pressão e volume para implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases na avaliação de forrageiras tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.55, n.2, p.1013-1020, 2003. [ Links ].

MENKE, B.K.H.; RAAB, L.; SALEWSKI, A. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. **Journal of Agriculture Science**, v.93, n.1, p.217-223. 1979. [ Links ].

MOULD, F.L.; SMITH, T.; OWEN, E. The relationship between DOMD and gas release estimated “*in vitro*” using the reading pressure technique system for four maize silages of different maturity. **Proceedings of the British Society of Animal Science**, v.5, n.1, p.150, 1999. [ Links ].

NOGUEIRA, U.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C. Comparação de substratos com diferentes quantidades de carboidratos solúveis utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.4, p. 633-641, 2006. [ Links ].

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7.ed. Washington: National Academy Press, 2001. [ Links ].

PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.4, p.1063-1073, 1993. [ Links ].

SAMPAIO, I.B.M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2.ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2002. 265p. [ Links ].

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2002. 235p. [ Links ].

SAS INSTITUTE. INC. **System for mixed models**. Users guide: statistics. Cary, 1999. [ Links ].

THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; McALLAN, A.B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, v.12, n.48, p.185-197, 1994. [ Links ].

VALENTIN, S.F., WILLIAMS, P.E.V., FORBES, J.M. Comparison of the *in vitro* gas production technique and the nylon bag degradability technique to measure short and long term processes of degradation of maize silage in dairy cows. **Animal Feed Science Technology**, v.78, n.1-2, p.81-99. 1999. [ Links ].

VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B.,  
LEWIS, B.A., Methods for dietary  
fiber, neutral detergent fiber, and non  
starch in relation to animal nutrition.  
**Journal of Dairy Science**, v.74, n.14  
p.3583 – 3596. 1991. [ Links ].

Data de recebimento: 09/03/2009

Data de aprovação: 15/03/2010