



**CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO DAS
SILAGENS E DOS FENOS DE DIFERENTES
FRAÇÕES DA PARTE AÉREA DE
VARIEDADES DE MANDIOCA PELA TÉCNICA
IN VITRO DE PRODUÇÃO DE GASES**

KLÉRIA MARIA SOUZA MARQUES

2012

KLÉRIA MARIA SOUZA MARQUES

**CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO DAS SILAGENS E DOS FENOS DE
DIFERENTES FRAÇÕES DA PARTE AÉREA DE VARIEDADES DE
MANDIOCA PELA TÉCNICA *IN VITRO* DE PRODUÇÃO DE GASES**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual de Montes
Claros como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, área de concentração
Produção Animal, para obtenção do
título de Mestre em Zootecnia.

**Orientador:
Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior**

**UNIMONTES-MG
MINAS GERAIS – BRASIL**

2012

Marques, Kléria Maria Souza

M357c Cinética de fermentação das silagens e dos fenos de diferentes frações da parte aérea de variedades de mandioca pela técnica *in vitro* de produção de gases [manuscrito] / Kléria Maria Souza Marques. – 2012.
70 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2012.

Orientador: Prof. D. Sc. Vicente Ribeiro Rocha Júnior.

1. Ruminante. 2. Silagem. 3. Valor nutritivo. I. Rocha Júnior, Vicente Ribeiro. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 636.08552

KLÉRIA MARIA SOUZA MARQUES

**CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO DAS SILAGENS E DOS
FENOS DE DIFERENTES FRAÇÕES DA PARTE AÉREA
DE VARIEDADES DE MANDIOCA PELA TÉCNICA *IN
VITRO* DE PRODUÇÃO DE GASES**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual de Montes
Claros como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, área de concentração
Produção Animal, para obtenção do
título de Mestre em Zootecnia.

APROVADA em 11 de maio de 2012.

Prof. Dr. Sidnei Tavares dos Reis - UNIMONTES

Prof. Dr. Daniel Ananias de Assis Pires - UNIMONTES

Prof. Dr. Diogo Gonzaga Jayme - UFMG

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior
UNIMONTES
(Orientador)

UNIMONTES
MINAS GERAIS – BRASIL

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que ELE tem me proporcionado.

A minha família, pelo apoio.

A meu orientador, professor Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior, pela orientação.

Ao professor Dr. Daniel Ananias de Assis Pires, pelo exemplo que é, pelas contribuições e pela ajuda imprescindíveis durante a execução do experimento.

Ao professor Dr. Rogério Martins Mauricio, pelos ensinamentos e por ajudar durante a condução do experimento o que foi de grande valia.

Aos professores Dr. Sidnei, Eleuza e João Paulo, pela boa vontade de ajudar e ensinar, e pelo apoio no laboratório de nutrição.

A todos os professores, pelo ensino, amizade e atenção nos momentos de dúvida.

Aos irmãos Geanderson, Malber, César, Laís, Iana Mara, Ana Cássia e Célio.

Ao CNPQ, pela bolsa de estudos concedida.

À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro para a condução do projeto.

Ao zootecnista Geanderson Silva, pela amizade incondicional, apoio e força durante todo esse tempo, amizade que levarei para sempre.

Aos colegas de pós-graduação, pelo bom relacionamento e alegrias passados durante os estudos.

Aos meus pais (**Leny e Vilmar**) e ao meu irmão
Kleber.

DEDICO

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO GERAL.....	v
GENERAL ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Aspectos gerais da Cultura da mandioca.....	3
2.2. Valor nutricional da mandioca.....	4
2.3. Considerações sobre as técnicas de avaliação de forrageiras na nutrição de ruminantes.....	6
2.4. Considerações sobre a digestibilidade <i>in vitro</i> de produção de gases.....	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	11
CAPÍTULO I - AVALIAÇÃO DAS SILAGENS DE DIFERENTES FRAÇÕES DA PARTE AÉREA DE VARIEDADES DE MANDIOCA PELA TÉCNICA <i>IN VITRO</i> SEMIAUTOMÁTICA DE PRODUÇÃO DE GASES.....	17
RESUMO.....	18
ABSTRACT.....	19
INTRODUÇÃO	20
MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4 – CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
CAPÍTULO II - AVALIAÇÃO DOS FENOS DE DIFERENTES FRAÇÕES DA PARTE AÉREA DE VARIEDADES DE MANDIOCA PELA TÉCNICA <i>IN VITRO</i> SEMIAUTOMÁTICA DE PRODUÇÃO DE GASES.....	44

RESUMO.....	45
ABSTRACT.....	46
1 - INTRODUÇÃO	47
2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4 – CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1** - Composição química das silagens de diferentes frações da parte aérea (TS – terço superior, SP – sobra de plantio e PI – planta inteira) de quatro variedades de Mandioca (A – Amarelinha, S – Sabará, O.R. – Olho roxo e P – Periquita) cultivadas no Norte de Minas Gerais, após 56 dias de ensilagem.....22
- TABELA 2** - Fração solúvel (A), fração insolúvel potencial fermentável (B), taxa de degradação (c) da matéria seca das silagens de diferentes frações da parte aérea (terço superior – TS, sobras do plantio – SP e planta inteira – PI) de quatro variedades de mandioca.....35
- TABELA 3** - Degradabilidade efetiva (DE), Degradabilidade potencial do alimento (DP) e fração indegradável (FI) da matéria seca das silagens de diferentes frações da parte aérea (terço superior – TS, sobras do plantio – SP e planta inteira – PI) de quatro variedades de mandioca.....36
- TABELA 4** - Potencial máximo de produção de gases (A) em mL/g de MS, Tempo de colonização (L) em horas de produção de gases (μ) em mL/g de MS/h, em 96 horas de incubação das silagens de diferentes frações da parte aérea (terço superior, sobras de plantio e planta inteira) de quatro variedades de mandioca.....37
- TABELA 5** - Composição química dos fenos de diferentes frações da parte aérea (TS – terço superior, SP – sobra de plantio e PI – planta inteira) de quatro variedades de Mandioca (A – Amarelinha, S – Sabará, O.R. – Olho roxo e P – Periquita) cultivadas no Norte de Minas Gerais, após 56 dias de ensilagem.....56

- TABELA 6** - Fração solúvel (A), fração insolúvel potencial fermentável (B), taxa de degradação (c) da matéria seca dos fenos de diferentes frações da parte aérea (terço superior – TS, sobras do plantio – SP e planta inteira – PI) de quatro variedades de mandioca.....64
- TABELA 7** - Degradabilidade efetiva (DE), Degradabilidade potencial do alimento (DP) e fração indegradável (FI) da matéria seca dos fenos de diferentes frações da parte aérea (terço superior – TS, sobras do plantio – SP e planta inteira – PI) de quatro variedades de mandioca.....67
- TABELA 8** - Potencial máximo de produção de gases (A) em mL/g de MS, Tempo de colonização (L) em horas e Taxa de produção de gases (μ) em mL/g de MS/h em 96 horas de incubação dos fenos de mandioca.....68

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1** – Dados de pressão e volume obtidos durante o ensaio de produção de gases usando como substrato as silagens de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca.....28
- FIGURA 2** – Degradabilidade de Matéria Seca das silagens de diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca.....30
- FIGURA 3** –Taxa de produção de gases por tempo de fermentação (h) das silagens de diferentes frações de quatro variedades de mandioca.....32
- FIGURA 4** - Produções cumulativas de gases (PCG) (em mL/g de MS) x tempo de fermentação das silagens de diferentes frações de quatro variedades de mandioca.....33
- FIGURA 5** – Pressão e volume obtido durante o ensaio de produção de gases usando como substratos os fenos das diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca (psi=libra por polegada ao quadrado).....57
- FIGURA 6** – Desaparecimento da matéria seca dos fenos das diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca nos tempos de 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação.....59
- FIGURA 7** - Produção de gases por tempo de fermentação (h) dos fenos de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca.....61

FIGURA 8 - Produções cumulativas de gases (PCG) (em ml/g de MS) x tempo de fermentação dos fenos de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca.....63

RESUMO GERAL

MARQUES, Kléria Maria Souza. **Cinética de fermentação das silagens e dos fenos de diferentes frações da parte aérea de variedades de mandioca pela técnica *in vitro* de produção de gases**. 2012. 87p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba – MG, Brasil.¹

Objetivou-se com este trabalho estimar a cinética de fermentação da matéria seca utilizando-se a técnica *in vitro* de produção de gases das silagens e dos fenos de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca. O experimento foi conduzido em um delineamento em blocos casualizado, com quatro repetições, arranjado em um esquema fatorial 4x3, sendo quatro variedades de mandioca (Amarelinha, Sabará, Olho roxo e Periquita) e três frações da parte aérea (terço superior, sobra de plantio e planta inteira) e quatro repetições por tratamento. Parte do material foi ensilada em silos experimentais de PVC, sendo abertos após 56 dias de fermentação e parte foi submetido ao processo de secagem para a produção do feno. Amostras das silagens e fenos foram coletadas e submetidas à pré-secagem, moídas e em seguida procedeu-se ensaio de produção de gases *in vitro*. As leituras de pressão dos gases produzidos durante as fermentações foram realizadas as 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 horas após o início das incubações. As leituras de pressão dos gases foram realizadas por transdutor de pressão e, posteriormente ajustadas para o volume de gases. As silagens das variedades Amarelinha e Periquita, ambas no terço superior, foram as que apresentaram menores taxa de fermentação. A produção cumulativa de gases foi superior para as silagens das frações terço superior para todas as variedades nos tempos iniciais de incubação. As silagens não apresentaram efeito significativo ($P>0,05$), em função das variedades, quanto aos parâmetros Fração solúvel (A) e Fração insolúvel potencial fermentável (B). A maior degradabilidade da MS para os fenos também ocorreu nos tempos iniciais de incubação. Os fenos do terço superior para a variedade Amarelinha apresentaram degradabilidades potencial e efetiva da MS superior às demais variedades e frações da parte aérea. O feno da variedade Olho Roxo no seu terço superior é a que possui maior concentração de substratos solúveis, baixo tempo de colonização e maior taxa de produção de gases dando indicativo de melhor valor nutricional.

Palavras-chave: ensilagem, ruminantes, valor nutritivo

¹ Comitê de orientação: Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior - UNIMONTES (orientador)

GENERAL ABSTRACT

MARQUES, Kléria Maria Souza. **Kinetics of fermentation of silages of different fractions of shoots of cassava varieties by *in vitro* technique of gas production.** 2012. 87p. Dissertation (Master in Animal Science) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba – MG, Brazil.²

The objective of this work was to determine kinetics of fermentation of dry matter by means of *in vitro* technique of gas production of silagens and hays of different fractions of shoots of four varieties of cassava. The experiment was conducted in a completely randomized design with four replications, arranged in a 4 x 3 factorial design, being four varieties of cassava (Amarelinha, Sabará, Olho Roxo and Periquita) and three fraction of shoots (superior third, planting surpluses and whole plant). Part of the material was ensiled in mini-silos of PVC, being opened after 56 days of fermentation and another part was submitted to pre-dry to produce hay. Samples of silage and hay were collected and submitted to pre-dried, ground and then proceeded to essay of *in vitro* gas production. The pressure readings of gases produced during fermentations were performed at 0, 2; 4; 6; 8; 10; 12; 15; 18; 21; 24; 30; 36; 48; 72 and 96 hours after the beginning of incubations. Pressure readings of gases were made by means of pressure transducer and subsequently adjusted to volume of gases. The silage of Amarelinha and Periquita varieties, both in the superior third, showed the lowest rate of fermentation. The cumulative gas production was higher for silage of superior third for all of the varieties in the early days of incubation. Silages had no significant effect ($P > 0.05$), depending on the varieties, as for the parameters Soluble fraction (A) and potential fermentable insoluble fraction (B). The highest DM degradability for hay also occurred in the early days of incubation. Hays of superior third for variety Amarelinha showed potential and effective degradability of DM higher than the other varieties and fractions of shoots. The hay of the superior third of the variety Olho Roxo has the highest concentration of soluble substrates, low time of colonization and higher rate of gas production indicating better nutritional value.

Keywords: ensilage, ruminant, nutritional value.

² Guidance Committee: Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – UNIMONTES (Adviser)

1 – INTRODUÇÃO GERAL

Um dos enfoques da pecuária atual é a busca por fontes de alimentos menos onerosos para a formulação de dietas para os animais. O conhecimento da composição química e o valor nutricional desses alimentos são imprescindíveis para saber a sua real aplicabilidade nos sistemas de produção. Nesse sentido, destaca-se a cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), tradicionalmente cultivada em países de clima tropical. Embora muito conhecida, o seu uso na alimentação animal tem sido pouco explorado, o que pode ser atribuído, especialmente, por desconhecimento do seu valor nutricional e potencial no tocante à produção animal (SANTOS *et al.* 2001).

A prática de conservação dos excedentes de volumosos do período chuvoso apresenta-se como solução para amenizar a escassez de alimento no período de seca, como bem destacado no Norte de Minas Gerais. A conservação da parte aérea da mandioca tanto na forma de silagem quanto na forma de feno vem demonstrando grandes vantagens por apresentar boas características quanto ao aproveitamento da forragem e por apresentar adequadas características de fermentação.

A potencialidade dos alimentos a serem utilizados na alimentação de ruminantes deve ser comprovada por meio da determinação do seu valor nutritivo, que mantém relação direta com sua digestibilidade. Tais determinações podem ser obtidas por métodos *in vivo*, *in situ* ou *in vitro* (MAURICIO *et al.*,1999).

Os métodos de avaliação de alimentos para ruminantes têm se desenvolvido consideravelmente nos últimos anos, contribuindo para o aperfeiçoamento de técnicas laboratoriais já existentes, bem como a produção de técnicas mais precisas (MORON *et al.* 2001).

Atualmente, diversas técnicas vêm sendo utilizadas para avaliar aspectos ligados à utilização dos nutrientes pelos ruminantes, sendo os sistemas *in vitro*,

que incluem a técnica de produção de gases, cada vez mais utilizados na análise desses alimentos, em virtude do baixo custo, rápida execução, confiabilidade, possibilidade de avaliação de grande quantidade de alimentos por ensaio e por utilizar poucos animais fistulados (BARCELOS *et al.* 2001).

Assim, objetivou-se, por meio deste, estimar a cinética de fermentação da matéria seca das silagens e dos fenos das diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca utilizando-se a técnica semiautomática de produção de gases.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da Cultura da mandioca

As pesquisas com mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) e seus subprodutos vêm se destacando nos últimos anos, em função da facilidade de seu cultivo, expressiva produção e seu papel na conjuntura socioeconômica do país, além da possibilidade de utilização de seus resíduos culturais (folhas e caule), e de seus subprodutos industriais (casca, farinha de varredura, fécula etc.), com importância marcante na alimentação humana e animal (RANGEL *et al.* 2008).

A sua grande adaptabilidade a diferentes condições climáticas nas regiões tropicais de todo o mundo favorece a expansão dessa cultura nos sistemas de criação de ruminantes, principalmente em regiões semiáridas. Neste contexto, produtividades da ordem de 25 toneladas de raízes por hectare e de 17 toneladas de parte aérea, com 22,8 % de matéria seca, 11,6 % de proteína bruta e 49,6 % de digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, credenciam essa cultura como importante alternativa forrageira para o país (FIGUEIREDO, *et al.* 2006). De acordo com Nunes *et al.* (2008), a mandioca pode contribuir na suplementação de nutrientes na dieta dos ruminantes sob várias formas, dentre elas merece destaque o aproveitamento da parte aérea.

A parte aérea da mandioca (ramas mais folhas) é um alimento volumoso que apresenta bom valor nutritivo para os ruminantes, podendo ser introduzida na dieta nas formas *in natura*, silagem ou feno. Tradicionalmente, para a produção de mandioca, a parte aérea da planta é aproveitada apenas para a produção das manivas empregadas no replantio. Considerando-se que pequena parte é utilizada no replantio da cultura, a outra parte aérea restante pode ser aproveitada para a alimentação animal.

A raiz de mandioca é eminentemente calórica, gerando cerca de 1500 cal/kg⁻¹, a partir dos carboidratos. As raízes apresentam cerca de 60 a 65 % de água, são ricas em energia (30 a 35 % de carboidratos, principalmente amido) e substituem em até 50 % o milho, porém, é pobre em proteínas (1 a 2 %) e contém pequena quantidade da maioria das vitaminas e minerais (MATSURA e FOLEGATI, 2000).

Contudo, a mandioca e seus resíduos podem ser fontes alternativas ao milho ou como volumoso suplementar, na alimentação de bovinos, pois, historicamente, apresentam preços inferiores a este alimento. Além disso, a utilização desses produtos como fonte de energia para os bovinos possibilita destinar maior quantidade de grãos mais nobres para a alimentação humana e de animais monogástricos, que apresentam melhor resposta à utilização deste tipo de alimento.

2.2. Valor nutricional da mandioca

Os valores da composição química da raiz de mandioca e seus resíduos, tanto da produção de farinha como da extração da fécula ou amido, não são homogêneos e padronizados, como para os alimentos clássicos usados na alimentação animal (MARQUES *et al.*, 2000). Além da raiz, a parte aérea da mandioca pode ser usada na alimentação animal, pois seu valor nutritivo e produção por área são consideráveis (MODESTO *et al.*, 2004). Esse material pode ser usado na forma fresca, ensilada ou na forma de feno e sua produção pode representar em torno de 80 % da produção da raiz possibilitando utilizar 20 % desse para o replantio da área (LEONEL, 2001).

A raiz de mandioca é rica em amido e apresenta a seguinte composição química média: 60 a 65 % de umidade; 21 a 33 % de amido; 1,0 a 1,5 % de proteínas; 0,7 a 1,06 % de fibras; e 0,6 a 0,9 % de cinzas. Essa composição pode

variar conforme as condições ambientais, o cultivar utilizado e a idade da planta (BUTOLO, 2002). Já a folha da mandioca é rica em proteína e em vitamina A, contém vitamina C, tiamina e niacina. Os minerais mais encontrados são: ferro, cálcio, manganês e zinco, porém apresenta baixo teor de carboidrato não fibroso (PENTEADO e FLORES, 2001). Na parte aérea, observa-se que a quantidade de proteína é maior que na maioria das forragens tropicais, encontrando-se de 28 a 32 % nas folhas e 11 % nas hastes e nos talos (CARVALHO *et al.*, 2002).

Segundo Lorenzi *et al.* (2002), as manivas de qualidade devem ser provenientes dos terços médio e inferior das plantas nos quais as folhas já caíram e onde, por sua grossura, as reservas nutritivas acumuladas poderão assegurar, com maior probabilidade, os melhores índices de brotação e sobrevivência da nova planta.

Valadares Filho *et al.* (2006) encontraram 25,68 % de MS, 10,74 % de PB, 4,58 % de MM, 3,5 % de EE, 50,57 % de FDN e 43,75 % de FDA na silagem da parte aérea da mandioca, relatam para o feno da parte aérea valores de 8,13 % de PB, 88,75 % de MS, 6,10 % MM, 2,8 % de EE, 53,80 % FDN, 38,47 % FDA.

Para a parte aérea da mandioca, os processos de ensilagem e fenação apresentam a vantagem de minimizar os riscos de intoxicação dos animais por ácido cianídrico, produzido pela hidrólise de glicosídeos cianogênicos presentes em altas concentrações na parte aérea de alguns tipos de mandioca (NUNES *et al.*, 2008).

Os glicosídeos cianogênicos estão presentes nos tecidos da planta, que sob hidrólise ácida no trato digestório ou sob ação de enzimas presentes na polpa (linamarase), produzem o ácido cianídrico (HCN), um produto tóxico que pode levar os animais à morte (MAZZUCO & BERTOL, 2000).

Modesto *et al.* (2009) avaliaram a substituição da silagem de milho pela silagem do terço superior da rama de mandioca nos níveis de 20, 40 e 60 % e

não observaram diferenças no consumo de MS (2,63 % do peso vivo), FDN (0,8 % do PV) e PB (2,35 kg/dia⁻¹) e digestibilidade. Nesse estudo os autores também não observaram diferenças na produção de leite. Dessa forma, a substituição da silagem de milho pela silagem do terço superior da rama de mandioca em até 60 % é uma prática que pode ser adotada conforme a disponibilidade de material na propriedade. Na avaliação da viabilidade econômica da substituição da silagem de milho pela silagem do terço superior da rama de mandioca, nos níveis de 0, 20, 40 e 60 %, Silva *et al.* (2002) observaram que a substituição de 60 % foi a que melhor apresentou retorno econômico, tendo melhor custo benefício.

A utilização da silagem do terço superior da rama de mandioca também foi avaliada em vacas gestantes por Modesto *et al.* (2008). Os mesmos verificaram que a substituição da silagem de milho pela silagem da rama de mandioca, (20, 40 ou 60 %) pode ser feita na alimentação de vacas gestantes, pois não modifica o consumo, os parâmetros ruminais e a digestibilidade da matéria seca.

2.3. Considerações sobre a técnica *in vitro* de produção de gases

Atualmente existem várias técnicas laboratoriais para avaliação de alimentos destinados a ruminantes, utilizadas principalmente para estimar seu valor nutritivo. Dentre essas se destaca a técnica *in vitro* de produção de gases, sendo de grande importância para a nutrição animal.

A avaliação dos parâmetros digestivos dos alimentos pode ser realizada por meio de métodos *in vitro*, os quais são rápidos e apresentam uniformidade físico-química do microambiente de fermentação ao quais os alimentos são submetidos (MALAFAIA, 1997). Dessa forma, apresentam-se como alternativa para a avaliação de parâmetros digestivos as técnicas *in vitro*, as quais, ao

contrário das técnicas gravimétricas, priorizam os produtos da fermentação em detrimento ao substrato residual.

Devido às limitações impostas por essas técnicas, o método que mensura a produção cumulativa dos gases tem sido utilizado com sucesso para estimativa das taxas de digestão das frações solúveis e insolúveis dos carboidratos, com base no princípio de que os gases produzidos são oriundos do metabolismo microbiano, a partir da fermentação do material incubado (MALAFAIA *et al.*, 1998). A técnica consiste na incubação do alimento a ser testado, acrescido de líquido de rúmen e meio tamponado, em frascos hermeticamente fechados, nos quais, ao longo do tempo, são realizadas leituras de pressão e, ou, volume dos gases produzidos no processo fermentativo (GONÇALVES *et al.*, 2001).

Nesse contexto, Schofield e Pell (1995) relatam que a mensuração dos gases oriundos da fermentação microbiana permite a estimação de parâmetros da cinética digestiva ruminal dos carboidratos, tanto fibrosos como não fibrosos, cuja degradação anaeróbia microbiana desses componentes produz, primariamente, dióxido de carbono, metano e ácidos graxos voláteis e estes se concentram no meio de forma diretamente proporcional ao desaparecimento do substrato (SCHOFIELD *et al.*, 1994).

A técnica *in vitro*/gases, comparada às demais, permite estimar em laboratório, além da digestibilidade, a taxa de fermentação das diferentes frações dos alimentos e a síntese microbiana ruminal. No entanto, Valentin *et al.* (1999), comparando as técnicas de degradabilidade *in vitro* e a produção de gases, concluíram que as correlações entre os resultados das duas metodologias não foram suficientemente fortes para prever parâmetros de degradabilidade, provenientes dos parâmetros de produção de gases (THEODOROU *et al.*, 1994)

A produção de gases é diretamente proporcional à fermentação microbiana do alimento e, como pode ser medida a intervalos frequentes,

permite avaliar o modo como ocorre o ataque microbiano na degradação do alimento no rúmen (NEIVA JÚNIOR *et al.*, 2010).

Assim como as demais técnicas de digestibilidade, a produção de gases está sujeita a fatores que determinam variações nos resultados. Dentre estes fatores, a anaerobiose, a temperatura, o pH e um adequado tampão são de suma importância, já que todos eles podem contribuir para a diminuição da população microbiana, e assim influenciar a produção de gases *in vitro* (SILVEIRA, 2006).

De acordo com Senger *et al.* (2007), a técnica de produção de gases *in vitro* mostrou-se como o método mais sensível, por detectar efeitos nos parâmetros de degradabilidade em funções dos níveis de umidade e compactação, e também mais exato, ao produzir valores de digestibilidade mais próximos ao NDT obtido por métodos químicos para avaliar o valor nutritivo de silagens de milho, quando comparada aos métodos *in situ* e convencional *in vitro*.

Assim sendo, as vantagens em utilizar a técnica de produção de gases consistem primeiramente em caracterizar de forma mais adequada às particularidades do alimento, como a contribuição dos carboidratos solúveis, seguida pela rapidez e uniformidade físico-química do meio (MALAFAIA *et al.*, 1998).

2.4. Digestibilidade *in vitro* de produção de gases

A determinação do valor nutricional dos alimentos envolve estudos que avalizam, conjuntamente, o consumo, a digestibilidade e os parâmetros do metabolismo animal. A avaliação da digestibilidade torna-se alvo principal de estudos que buscam determinar as características inerentes ao alimento (DETMANN, 2002).

A digestibilidade dos alimentos apresenta estreita relação com sua composição química. Alimentos que variam pouco na composição apresentam ligeiras variações na digestibilidade. Porém, alimentos tais como forragens frescas ou conservadas, apresentam uma composição menos constante e, sua digestibilidade, é mais variável. A fração fibrosa dos alimentos é a mais afetada sendo importante tanto a quantidade como a composição da fibra (MCDONALD *et al.*, 1993).

As técnicas de produção de gases *in vitro* foram desenvolvidas para prever a fermentação de alimentos para ruminantes. O alimento é incubado com líquido ruminal e meio e os gases produzidos são medidos como indicadores indiretos da cinética de fermentação. Quando o alimento é incubado, este primeiramente é degradado e a fração degradada pode ser fermentada e produzir gases e ácidos da fermentação ou incorporar-se à biomassa microbiana (RYMER *et al.*, 2005). O principal objetivo da técnica de produção de gases *in vitro* é prover informação que é relevante na interpretação de valores nutricionais de alimentos e/ou respostas animais e/ou impactos animais no ambiente (KRISHNAMOORTHY *et al.*, 2005).

Fatores podem comprometer a fermentação *in vitro* como a fonte e preparo do inóculo, composição e preparo do meio, preparo do substrato, afetando assim, a medição de produção de gases e a partir do momento que se obtém a produção de gases dispõe-se de muitos modelos matemáticos para descrevê-lo.

De acordo com Bueno *et al.* (2005), os sistemas de produção de gases *in vitro* proporcionam uma estimativa da digestibilidade da matéria seca (MS), e são um indicador direto dos produtos finais, como a produção de gases, e indireta como ácidos graxos de cadeia curta (AGCC).

Silva *et al.* (2009) avaliaram o perfil de produção de gases e a fermentabilidade das silagens da parte aérea e raízes de mandioca e concluíram

que a inclusão de raízes melhora as características de fermentação ruminal *in vitro* das silagens da parte aérea da mandioca, aumentando a disponibilidade de nutrientes digestíveis e de energia, o que conseqüentemente propicia maior degradação da matéria seca.

Segundo Maurício *et al* (2003) a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases com silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) comparada com dados obtidos em experimento *in vivo*, possibilitou a estimativa dos valores de digestibilidade aparente *in vivo* e forneceu informações adicionais sobre a cinética de fermentação ruminal das silagens avaliadas.

O volume de gases produzidos durante a fermentação de substratos através da técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases permite avaliar a cinética de fermentação de alimentos utilizados na nutrição de ruminantes, enquanto a degradação da matéria seca (DMS) permite avaliar o desaparecimento do substrato provocado pelos microrganismos ruminais (Theodorou *et al.*, 1994).

A cinética da degradação ruminal e o ritmo fracional da produção de gases *in vitro* têm se relacionado, entre outros fatores, com o perfil dos carboidratos e da proteína dos alimentos, bem como o teor de extrato etéreo. Este conhecimento permite sincronizar a degradação de nitrogênio e carboidratos no rúmen, para que se obtenha a máxima eficiência de síntese de proteína microbiana e reduzir as perdas energéticas e nitrogenadas decorrentes da fermentação ruminal, tentando, com isso, predizer com maior exatidão o desempenho dos animais a partir dos ingredientes da dieta (RUSSELL *et al.*, 1992).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARCELOS, A. F. *et al.* Avaliação da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) pela técnica de degradação *in vitro* de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 30, n. 6, p.1829-1836, 2001.

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

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Agros Comunicação, 2002. 420 p.

CARVALHO, M. A. *et al.* Utilização da parte aérea da mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, na alimentação animal. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 7-67, 2002.

CARVALHO, V. D.; KATO, M. S. A. Potencial de utilização da parte aérea da mandioca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.145, p. 23-28, 1987.

COSTA, N. L. **Raiz de mandioca na alimentação de suínos**. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/colunistas/ColunaDetalhe.aspx?CodColuna=234>>. Acesso em: 11 nov. 2010.

DETMANN, E. **Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de bovinos em pastejo: desempenho produtivo, simulação e validação de parâmetros da cinética digestiva**. 2002. 83 fls. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

EUCLIDES, V. P. B. *et al.* Efeito da suplementação com feno da rama de mandioca e grão de sorgo sobre a utilização da palha de arroz por novilhos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 6, p. 631-643, 1979.

FIGUEIREDO, M. P.; SOUZA, L. F.; FERREIRA, J. Q. Cinética da degradação ruminal da matéria seca da haste, da raiz, do feno da parte aérea e da silagem de

raiz de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tratada com uréia. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 11-17, 2006.

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

GIRALDO, L. A. *et al.* Relación entre presión y volumen para el montaje de La técnica *in vitro* de producción de gas em Colombia. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v.18, n.6, 2006.

GONÇALVES, A. L. *et al.* Cinética de Degradação de Alguns Volumosos Usados na Alimentação de Cabras Leiteiras por Intermédio da Técnica de Produção de Gases sob Diferentes Níveis de pH. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 30, n. 6, p.1904-1912, 2001.

KHANG, D. N.; WIKTORSSON, H. Effects of ensiled cassava tops on rumen environment parameters, thyroid gland hormones and liver enzymes of cows fed urea – treated fresh rice straw. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 17, p. 936-941, 2004.

KOAKHUNTHOD, S. *et al.* Effect of cassava hay and high-quality feed block supplementation on milk production in dairy cows. In: International Workshop Current Research and Development on Use of Cassava as Animal Feed. Disponível em: <<http://www.mekarn.org/procKK/Koak.htm>>. Acesso: 01 out. 2010.

KRISHNAMOORTHY, U.; RYMER, C.; ROBINSON, P. H. The *in vitro* gas production technique: limitations and opportunities. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 123-124, n.1, p. 1-7, 2005.

LEONEL, M. O. Farelo, Subproduto da Extração de Fécula de Mandioca. In: CEREDA, M. P. **Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca**. v. 4. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. p.211-216.

LORENZI, J. O.; OTSUBO, A. A.; MONTEIRO, D. A. Aspectos fitotécnicos da mandioca em Mato Grosso do Sul. In: OTSUBO, A. A., MERCADANTE, F. M. (Eds.) **Aspectos do cultivo da mandioca em Mato Grosso do Sul**. 2002. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc.pdf>> Acesso em: 10 out. 2010.

MALAFAIA, P. A. M. **Taxas de digestão das frações protéicas e de carboidratos de alimentos por técnicas “in situ”, “in vitro” e de produção de gases**. 1997. 85 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

MALAFAIA, P. A. M. *et al.* Cinética ruminal de alguns alimentos investigada por técnicas gravimétricas e metabólicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 370-380, maio/abr, 1998.

MARQUES, J. A.; PRADO, I. N.; ZEOULA, L. M.; Avaliação da mandioca e seus resíduos industriais em substituição ao milho no desempenho de novilhas confinadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG v. 29, n.5, p. 1528-1536, 2000.

MAURICIO, R. M.; MOULD, F. L.; DHANOA, M. S.; A semi-automated in vitro gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam, v.79, p. 321-330, 1999.

MAURICIO, R. M.; Potencial da técnica in vitro semi-automática de produção de gases para avaliação de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) (Moench)). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 32, n. 4, p. 1013-1020, 2003.

MAZZUCO, H.; BERTOL, T. M. **Mandioca e seus subprodutos na alimentação de aves e suínos**. Concórdia: Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves, 2000. 27 p. (Circular Técnica, 25).

McDONALD, P.; EDWARDS, R.; GREENHALGH, J. F. D. **Nutrición animal**. 5a. ed. Zaragoza: Acribia, 1993. 571 p.

MEHREZ, A. Z.; ORSKOV, E. R. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 88, p. 645-650, 1977.

MENKE, K. H. *et al.* The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuff from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 93, p. 217-222, May, 1979.

MODESTO, E. C. *et al.* Substituição da silagem de milho pela silagem do terço superior da rama de mandioca na alimentação de vacas leiteiras. Disponível em: <www.nupel.uem.br/publicacoes/sta-maria/sta-maria-09.pdf>. Acesso: 01 out. 2010.

MODESTO, E. C. *et al.* Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em vacas gestantes alimentadas com silagem de rama de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 37, n. 5, 2008.

MODESTO, E. C. Efeito da substituição da silagem de milho pela silagem do terço superior da rama de mandioca na qualidade do leite de vacas da raça Holandesa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO LEITE, 2004, Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo: CBQL, 2004. CD-ROOM.

MODESTO, E. C. *et al.* Caracterização químico - bromatológica da silagem do terço superior da rama de mandioca. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26. n. 1. p. 137-146, 2004.

MORON, I. R. *et al.* Cinética de degradação ruminal da matéria seca de alimentos concentrados e volumosos através das técnicas *in vitro* e *in situ*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p.1185-1194, 2001.

NEIVA JÚNIOR, A. P. *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**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 1024-1030, jul./ago., 2010.

NUNES IRMÃO, J. *et al.*. Composição química do feno da parte aérea da mandioca em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 158-169, jan/mar, 2008.

PENTEADO, M. V. C; FLORES, C. I. O. **Folhas de Mandioca como Fonte de Nutrientes**. São Paulo-Sp: Fundação Cargill, 2001. p. 48-67.

RUSSELL, J. B. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 12, p. 3551-3561, 1992.

RYMER, C. *et al.* *In vitro* cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 123-124, n. 1, p. 9-30, 2005.

SANTOS, G. T. *et al.* Silagens alternativas de resíduos agroindustriais. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2001, Maringá, PR. **Anais...** Maringá: UEM/CCA/DZO, 2001. p. 262 – 285.

SENGER, C. C. D. *et al.* Comparação entre os métodos químico, in situ e in vitro para estimativa do valor nutritivo de silagens de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.3, p. 835–840, mai–jun, 2007.

SCHOFIELD, P. *et al.* Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.72, n.11, p.2980-2991, 1994.

SCHOFIELD, P.; PELL, A. N. Measurement and kinetics analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrates fraction of legumes and grasses. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.73, n.11, p.2980-2991, 1995.

SILVA, C. F. P. G. *et al.* Avaliação De Silagens Da Parte Aérea E Raízes De Mandioca Atráves Da Técnica *In Vitro* Semiautomática De Produção De Gases. In: ZOOTEC, 2009, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Zootecnia, 2009. Disponível em: <

www.abz.org.br/files.php?file=documentos/AVAL_AR_142009159.pdf>.

Acesso em: 10 out. 2010.

SILVA, D. C. *et al.* Efeitos da substituição gradativa, no inverno, da silagem de milho pela silagem do terço superior da rama de mandioca no desempenho produtivo e econômico de vacas de raça holandesa. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XI., 2002, Maringá-PR. **Anais...** Maringá, 2002.

SILVEIRA, M. F. **Comparação De Métodos *In Vivo* E Laboratoriais Para Estimar O Valor Nutritivo De Dietas Para Bovinos De Corte.** 2006. 60 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

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

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crop. **Journal British Grassland Society**, Oxford, v.18, n. 2, p.104-111, 1963.

VALADARES FILHO, S. C. *et al.* **Tabelas Brasileiras de composição de alimentos para bovinos.** 2. ed. Viçosa – MG: UFV, DZO. 2006. 329 p.

VALENTIN, S. F. *et al.* 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 and Technology**, Amsterdam, v.78, p.81-99, 1999.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant.** Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

CAPÍTULO I

**CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO DAS SILAGENS DE DIFERENTES
FRAÇÕES DA PARTE AÉREA DE VARIEDADES DE MANDIOCA PELA
TÉCNICA *IN VITRO* DE PRODUÇÃO DE GASES**

2012

RESUMO

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a cinética de fermentação ruminal das silagens de diferentes frações da parte aérea de variedades de mandioca, pela técnica semiautomática de produção de gases. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, arranjado em um esquema fatorial 4x3, sendo quatro variedades de mandioca (Amarelinha, Sabará, Olho roxo e Periquita) e três frações da parte aérea (terço superior, sobra de plantio e planta inteira). O material foi ensilado em silos experimentais de PVC, sendo abertos após 56 dias de fermentação. Amostras das silagens foram coletadas e submetidas à pré-secagem, moídas e em seguida procedeu-se ensaio de produção de gases *in vitro*. As leituras de pressão dos gases produzidos durante as fermentações foram realizadas às 0; 4; 6; 8; 10; 12; 15; 18; 21; 24; 30; 36; 48; 72 e 96 horas após o início das incubações. As leituras de pressão dos gases foram realizadas por intermédio de transdutor de pressão e, posteriormente ajustadas para o volume de gases. O maior desaparecimento ruminal da MS ocorreu nos tempos entre zero e 24 horas. As maiores produções de gases por hora foram obtidas aproximadamente às 48 horas de fermentação para a variedade Olho Roxo na fração planta inteira. As silagens das diferentes variedades e frações da parte aérea de mandioca apresentaram o mesmo potencial de produção de gases. Entretanto, as silagens da variedade Amarelinha nas frações da parte aérea terço superior e sobras de plantio apresentaram melhores degradabilidades efetiva e potencial.

Palavras-chave: degradabilidade, digestibilidade, forragem, ruminantes.

ABSTRAT

The objective of this work to determine Kinetics of ruminal fermentation of silages of different fractions of the aerial parts of cassava varieties by technical semiautomatic gas production. The experiment was conducted in a completely randomized design with four replications, arranged in a 4x3 factorial design, four varieties of cassava (Amarelinha, Sabará, Olho Roxo e Periquita) and three fraction of shoots (upper, left over planting and whole plant). The material was ensiled in mini-silos of PVC, being opened after 56 days of fermentation. Silage samples were collected and submitted to pre-dried, ground and then proceeded to test gas production in vitro. The pressure readings of the gases produced during fermentations were performed at 2; 4; 6; 8; 10; 12; 15; 18; 21; 24; 30; 36; 48; 72 and 96 hours after the start of incubations. Pressure readings were made of gases through pressure transducer and subsequently adjusted to the volume of gases. The major ruminal DM disappearance occurred in times between zero and 24 hours. The highest yields of gas per hour were obtained at approximately 48 hours of fermentation for variety in Shiner fraction entire plant. The silages of different varieties and fractions of cassava shoots have the same potential for gas production. However, silage variety of Hopscotch fractions in the upper third of shoot and leftover planting have better effective degradability and potential.

Keywords: degradability, digestibility, roughage, ruminant.

INTRODUÇÃO

Um dos enfoques da pecuária atual é a busca por fontes de alimentos menos onerosos para a formulação de dietas para os animais. O conhecimento da composição química e o valor nutricional desses alimentos são imprescindíveis, para saber a sua real aplicabilidade nos sistemas de produção. A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), tradicionalmente cultivada em países de clima tropical, destaca-se em decorrência da facilidade de cultivo, adaptabilidade a diversos tipos de solos, resistência a períodos de estiagem e expressiva produção, além da possibilidade de utilização da sua parte aérea. Entretanto, a utilização da parte aérea da mandioca na alimentação animal ainda tem sido pouco frequente, o que pode ser atribuído, especialmente, por desconhecimento do seu valor nutricional e potencial no tocante à produção animal (FERREIRA *et al.*, 2007; MODESTO, *et al.*, 2004; MOTA *et al.*, 2011; NUNES IRMÃO *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2012).

A potencialidade dos alimentos a serem utilizados na alimentação de ruminantes deve ser comprovada por meio da determinação do seu valor nutritivo, que mantém relação direta com sua digestibilidade. Tais determinações podem ser obtidas por métodos *in vivo*, *in situ* ou *in vitro* (FIGUEIREDO *et al.*, 2006; MAURICIO *et al.*, 1999).

Os sistemas *in vitro*, que incluem a técnica de produção de gases, são cada vez mais empregados na análise dos nutrientes utilizados pelos ruminantes, em virtude do baixo custo, rápida execução, confiabilidade, possibilidade de avaliação de grande quantidade de alimentos por ensaio e por utilizar poucos animais fistulados (BARCELOS *et al.*, 2001; GIRALDO *et al.*, 2006).

Assim, objetivou-se avaliar a cinética de fermentação ruminal por meio da técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases das silagens de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, localizada no município de Janaúba, Norte de Minas Gerais e no Laboratório de Análises de Alimentos do Departamento de Ciências Agrárias da UNIMONTES, campus de Janaúba.

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com esquema fatorial 4×3 , quatro variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz “Amarelinha”, *Manihot esculenta* Crantz “Olho Roxo”, *Manihot esculenta* Crantz “Periquita” e *Manihot esculenta* Crantz “Sabará”) e três frações da parte aérea (planta inteira, terço superior e sobras de plantio) com quatro repetições cada. O plantio foi efetuado usando quatro canteiros (parcelas) com quatro linhas por variedade, seguindo as recomendações técnicas para a cultura e as metodologias tradicionais de cultivo empregadas pelos produtores locais, procedendo-se a coleta do material aos oito meses de idade, no respectivo estágio fenológico indicado para a colheita da raiz.

As plantas de cada canteiro foram separadas em três partes iguais, e isoladamente utilizadas para a produção de forragem com as seguintes frações da parte aérea: forragem composta pela parte aérea total, forragem composta apenas pelo terço superior da parte aérea e forragem composta pela parte aérea restante após a produção de manivas necessárias para novo plantio na mesma área. Essas forragens foram individualmente picadas em tamanho médio de partícula de 2cm e manualmente homogeneizadas

A produção da silagem foi realizada em silos confeccionados com tubos de PVC de 10cm de diâmetro por 50cm de comprimento, tendo 10cm preenchido com areia para determinação da produção de efluentes. À medida que a forragem fresca foi depositada nos silos, foi compactada com êmbolo de madeira, visando à produção de silagens com densidade entre 600kg/m³ a

800kg/m³. Os silos foram imediatamente fechados com tampas de PVC dotados de válvula tipo Bunsen, lacrados com fita adesiva e pesados. Posteriormente, foram armazenados à temperatura ambiente e a abertura foi feita aos 56 dias após a ensilagem. As silagens produzidas foram pesadas, homogeneizadas e pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55°C até peso constante, em seguida o material foi moído em moinho de facas com peneira de malha de 1mm para análises (Tabela 1).

Foram determinados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), cinzas, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina. Com exceção das análises de FDN e FDA, feitas segundo Van Soest *et al.* (1991), as demais análises seguiram as recomendações de Silva & Queiroz (2006).

Tabela 1. Composição química das silagens de diferentes frações da parte aérea (terço superior, sobras de plantio e planta inteira) de quatro variedades de Mandioca

Variedade	Frações	MS	PB	Cinzas	FDN	FDA	Lignina
Amarelinha	TS	25,68	16,30	6,32	59,3	41,63	14,51
	SP	26,04	17,46	6,16	64,36	43,48	14,85
	PI	26,73	14,15	5,19	67,13	42,38	15,19
Sabará	TS	26,15	17,35	6,35	55,87	37,84	11,6
	SP	24,67	16,38	6,27	57,51	41,18	11,31
	PI	25,15	12,23	5,09	65,02	41,55	9,83
Olho Roxo	TS	27,26	17,51	6,49	61,89	42,73	15,40
	SP	27,17	17,18	6,25	61,11	42,80	16,25
	PI	26,86	13,74	5,15	64,05	42,59	13,84
Periquita	TS	20,93	20,05	6,52	56,83	38,89	13,36
	SP	22,69	20,54	6,24	58,79	43,91	15,46
	PI	22,15	14,21	6,27	63,41	44,26	14,99

MS = matéria seca, PB = proteína bruta, FDN = fibra em detergente neutro, FDA, fibra em detergente ácido, TS = terço superior, SP = sobras de plantio, PI = planta inteira.

A estrutura do delineamento em blocos ao acaso mantida a campo, para controlar o efeito de fertilidade do solo, foi preservada para o ensaio de produção cumulativa de gases, com a finalidade de se obter as repetições do experimento.

A técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases descrita foi conduzida de acordo com Maurício *et al.* (1999). A incubação foi feita em frascos de vidro com capacidade para 160mL que previamente ao experimento foram lavados com água destilada e secos em estufa. Posteriormente foram injetados aos frascos dióxido de carbono (CO₂) e adicionados aproximadamente 1 grama das amostras a serem analisadas, pesando-se em balança digital, conforme os tratamentos propostos. Foram utilizados dois frascos por tratamento (réplicas) e frascos controle contendo apenas o meio de cultura e o inóculo. Para cada frasco, foram adicionados manualmente 90mL de meio de cultura conforme Theodorou *et al.* (1994). Os frascos foram vedados com rolhas de borracha (14mm) e para evitar que qualquer tipo de fermentação ocorresse, os frascos foram mantidos a 4°C durante a noite em geladeira comum. No dia seguinte, cinco horas antes da inoculação os frascos foram removidos da geladeira para estufa a 39°C até o momento da inoculação. Para coleta do líquido ruminal (inóculo), foram utilizados dois bovinos machos providos de cânula ruminal permanente. A coleta foi realizada manualmente no saco ventral do rúmen com auxílio de um pano e posteriormente houve a homogeneização dos inóculos provenientes dos dois animais, sendo então, acondicionados em garrafa térmica previamente aquecida (39°C) e imediatamente levada ao laboratório. No laboratório, procedeu-se à filtração do conteúdo em camada dupla de gaze com injeção contínua de CO₂ e mantido em banho-maria, seguida imediatamente da inoculação.

A inoculação foi realizada através da injeção de 10mL do inóculo por frasco através de seringa plástica graduada. Imediatamente após a inoculação, os frascos tiveram a pressão estabilizada através da inserção de agulhas (25mm x 7mm) nas tampas dos frascos. As agulhas foram posteriormente retiradas, os frascos manualmente agitados e colocados em estufa a 39°C e deu-se o início da contagem dos tempos de fermentação.

As leituras de pressão foram tomadas em maior frequência durante o período inicial de fermentação e reduzidas posteriormente (0; 4; 6; 8; 10; 12; 15; 19; 24; 30; 36; 48; 72 e 96h), sendo que após as leituras de 0; 12; 24; 48 e 96 horas dois frascos eram removidos de cada tratamento para a determinação da degradabilidade.

A pressão dos gases foi obtida utilizando-se o equipamento Datalogger Universal Logger AG100, um equipamento de bancada dotado de entrada analógica onde foi conectado o manípulo com uma agulha (0,7mm) fixada em sua ponta para perfurar as rolhas de borrachas sintéticas encaixadas nos frascos. Este equipamento possui um botão de disparo na parte superior do manípulo para ser acionado para que o registro da pressão (psi) seja efetuado.

O volume foi medido por meio de uma seringa graduada (20mL) nos tempos predeterminados (0; 6; 12; 24; 48 e 96 horas) também com uma agulha acoplada (0,6mm). Imediatamente após a inoculação foi realizada a leitura inicial com o objetivo de padronizar a pressão e descartar o volume dos gases em todos os tubos. A partir da inserção da agulha inserida na rolha de borracha sintética, a pressão produzida no interior dos frascos foi verificada no leitor digital. Feita a leitura da pressão, a obtenção do volume de gases foi realizada puxando-se o êmbolo da seringa até que a pressão do transdutor de pressão retornasse ao valor zero.

Para quantificação da produção de gases provenientes do tampão e do líquido do rúmen, foram incubados dois frascos contendo apenas estes componentes. Para cada tempo de leitura, o volume de gás dos frascos com amostra foi subtraído do volume obtido nos frascos sem amostras. Ao serem obtidos os valores de pressão e de volume em cada tempo, estes foram somados aos valores das leituras anteriores, possibilitando assim a construção da curva correspondente à fração solúvel para cada tempo de incubação.

O desaparecimento da matéria seca foi obtido pela relação entre a porcentagem do material inicialmente incubado e o resíduo após os períodos de 0; 12; 24; 48 e 96 horas de fermentação. O resíduo da degradação foi obtido por meio da filtragem do conteúdo de cada frasco em cadinhos de porosidade 1 e posterior secagem em estufa a 100°C por 12 horas.

Os dados de produção cumulativa de gases oriundos da fermentação de cada tratamento foram utilizados no modelo de France *et al.* (1993):

$$Y = A \{1 - \exp [(-b(t - L) - c) \times (t - L)]\}$$

Em que,

Y = produção cumulativa de gases (mL);

A = potencial máximo de produção de gases;

L = tempo de colonização (*lag time*);

b e c = taxas fracionais constantes;

Uma taxa fracional combinada à produção de gases (μ) foi calculada como:

$$\mu = b + c / 2\sqrt{t}$$

Em que,

μ = taxa de produção de gases;

b e c = taxas fracionais constantes;

t = tempo de incubação em horas.

Para ajustar os dados de degradabilidade às 0; 6; 12; 24; 48 e 96h, foram utilizados os modelos matemáticos propostos por Mehrez & Ørskov (1977) e

Ørskov & McDonald (1979), que possibilitaram estimar as degradabilidades potencial (DP) e efetiva (DE):

$$DP = A -> t \leq L$$

$$DP = a + b (1 - e^{-c \times t}) -> t > L,$$

Em que:

DP = degradabilidade do alimento (%) no tempo t (horas);

A = fração prontamente solúvel (%);

a e b = parâmetros do modelo, cuja soma (a+b) corresponde numericamente à degradabilidade potencial do alimento; e

c = taxa de degradação (%/hora).

Calculou-se também a fração solúvel potencialmente fermentescível do alimento (B):

$$B = (a + b) - A \text{ ou } 100 - (A+C),$$

Em que:

C = fração indegradável (calculada como 100-DP).

A degradabilidade efetiva (DE) dos alimentos foi calculada da seguinte forma:

$$DE = (a+b) / [c / (c+kp)],$$

Em que:

kp = taxa de passagem do alimento (%/hora) pelo rúmen e foi considerada como 5%/hora.

As estimativas dos parâmetros descritos no modelo matemático foram realizadas utilizando-se métodos iterativos não lineares. Estes resultados ajustados, por estimativas de quadrados mínimos, foram obtidos a partir do uso do método Gauss – Newton, por meio do procedimento NLIN, com o auxílio do programa SAS (SAS Institute, 1999).

Para obtenção dos modelos estatísticos que medem a relação entre o volume de gases produzido durante a fermentação e a pressão (psi) utilizou-se o estudo de correlação por meio da linha de comando MANOVA do procedimento GLM de SAS. Uma vez detectada a correlação satisfatória (acima de 85%) e significativa entre o volume e a pressão, utilizou-se a opção SELECTION=STEPWISE na linha de comando MODEL do procedimento GLM do SAS, para que a seleção do melhor modelo fosse feita automaticamente entre os modelos testados (linear, quadrático e cúbico), conforme mencionado pelo SAS Institute (1999).

Depois de obtidos os valores do volume acumulado de gases, taxa de degradação “c” e o tempo de colonização, os mesmos foram submetidos à análise de variância por meio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000), além destes, os parâmetros de degradabilidade A; B; c; FI; DP e DE. E quando a análise de variância apresentou significância as médias de tratamentos (variedades e formas de aproveitamento) foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade pelo SISVAR (FERREIRA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de pressão variaram de 0 a 6,0 psi e os de volume entre 0 e 25,0mL para as silagens da parte aérea de mandioca. Os tempos de leitura permitiram a obtenção de valores de pressão abaixo de 7,0 psi, de acordo com as recomendações de Theodorou *et al.* (1994). Segundo esses autores, valores de pressão acima de 7,0 psi causam instabilidade na correlação entre as variáveis e alterações no crescimento microbiano (Figura 1).

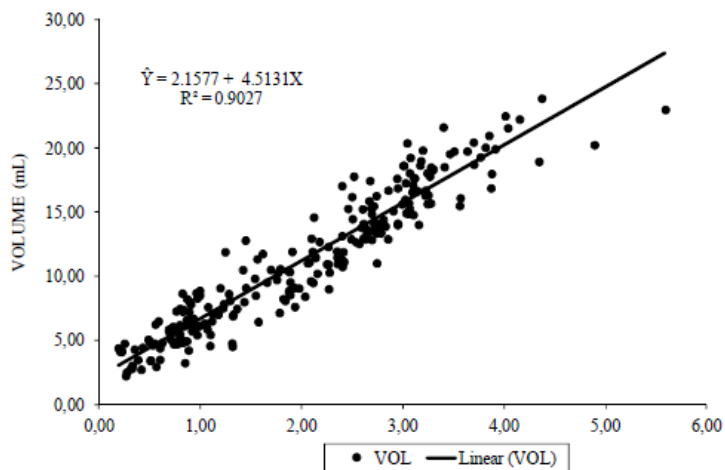


Figura 1. Dados de pressão e volume obtidos durante o ensaio de produção de gases usando como substrato as silagens de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca (psi=libra por polegada ao quadrado)

A equação de regressão predita par este experimento foi $V(\text{ml}) = 2,157X + 4,13$, ($R^2=0,90$), em que V = volume (mL) e P = pressão (psi). A equação estimada neste trabalho apresentou um comportamento linear semelhante ao obtido por Araújo Neto *et al.* (2006) trabalhando com casca de coco, onde o volume predito de 4,96 ml para cada unidade de psi mostrou-se próximo e diferiu da equação obtida por Maurício *et al.* (1999), onde, $V(\text{ml}) = -0,004 + 4,43 P + 0,051 P^2$, ($R^2=0,99$) ou em estudo realizado na Universidade de Reading-Inglaterra, onde também desenvolveram uma equação quadrática entre pressão e volume, a qual foi utilizada para estimar o volume obtido pela seringa na técnica manual de produção de gases (THEODOROU *et al.*, 1994). De acordo com Maurício *et al.* (1999) esta modificação levou a uma redução no erro do operador, maior velocidade de leitura e aumento da capacidade do sistema. Evidenciando a importância da adaptação através de equações para a avaliação dos alimentos em diferentes altitudes.

O maior desaparecimento ruminal da MS ocorreu nos tempos entre zero e 24 horas, apresentando valores de degradação entre 5 e 20% no tempo zero de fermentação (Figura 2), provavelmente, devido à maior presença de compostos solúveis prontamente disponíveis. A partir de 24 horas de incubação observa-se que a degradabilidade da MS das silagens de todas as variedades e das diferentes frações da parte aérea manterem-se constantes. Assim como verificado por Silva *et al.* (2009) que no tempo zero de incubação as silagens apresentaram valores de degradação entre 20 e 35%, para silagens não emurhecidas, ocorrendo uma elevação linear dos valores à medida que se incrementaram a inclusão de raízes, demonstrando alto conteúdo de compostos solúveis prontamente disponíveis. A diferença na degradação final (96 horas) que variou entre 38,5 e 60,7% da MS nas silagens avaliadas neste trabalho pode ter sido influenciada pela proporção de parede celular apresentada nas forrageiras, sendo que na silagem do terço

superior da variedade Amarelinha o teor de FDN foi de 59,30% e na silagem da planta inteira da variedade Periquita foi de 63,41% (Tabela 1).

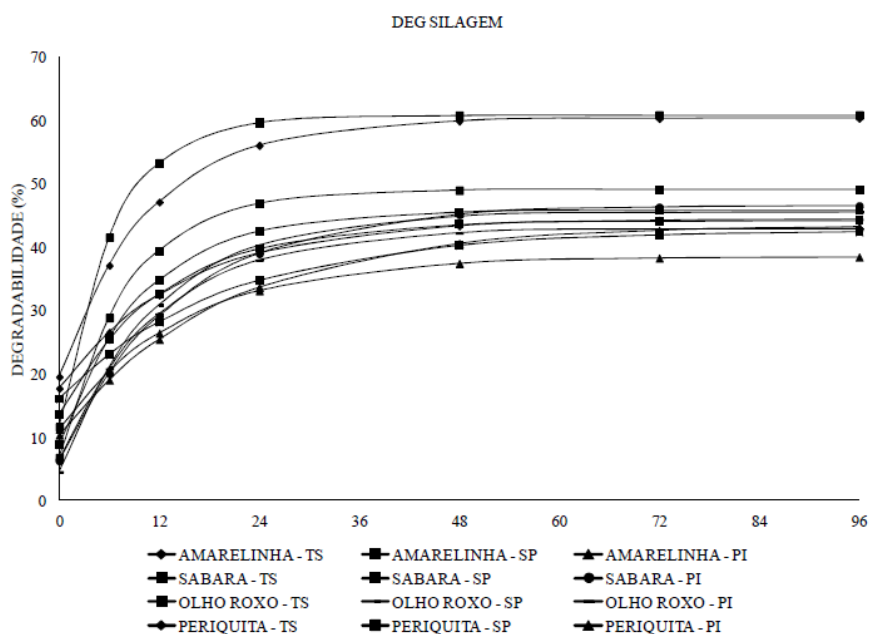


Figura 2. Degradabilidade de matéria seca das silagens de diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca

Silva *et al.* (2009) mostraram uma taxa de degradação superior das silagens ao final das 96 h, que variou entre 64,6 e 88,4 % da MS nas silagens de mandioca não emurchecidas e, 62,6 e 86,4% para as silagens emurchecidas, respectivamente para os níveis 0 e 45% de inclusão de raízes, mostrando que a inclusão de raízes melhora as características de fermentação ruminal *in vitro* das silagens da parte aérea da mandioca, aumentando a disponibilidade de nutrientes digestíveis e de energia, o que conseqüentemente propicia maior degradação da matéria seca.

A silagem do terço superior da variedade Amarelinha apresenta maior degradabilidade no tempo inicial de fermentação. A partir de 6 horas esta fração foi inferior a fração sobras de plantio para a mesma variedade e superior as demais frações e variedades avaliadas (Figura 2). Constatou-se que a elevação do teor de FDN e FDA (Tabela 1) correlacionou-se negativamente com a taxa de degradação. As menores taxas de degradação foram para as variedades Amarelinha e Olho Roxo na fração planta inteira (Tabela 2). Kunkel *et al.* (2006) trabalhando com a correlação da FDN e FDA de leguminosas tropicais com parâmetros de cinética de fermentação ruminal mostraram que o aumento no teor de FDN e a elevação do teor de FDA das leguminosas tiveram correlação negativa com a taxa de degradação.

Observa-se na Figura 3, que as maiores taxas de produções de gases ocorreram no tempo inicial de fermentação, no período entre zero e doze horas, fato provavelmente ligado à fermentação dos carboidratos prontamente disponíveis.

Destaque para a silagem da fração planta inteira da variedade Olho Roxo que apresentou a curva mais elevada.

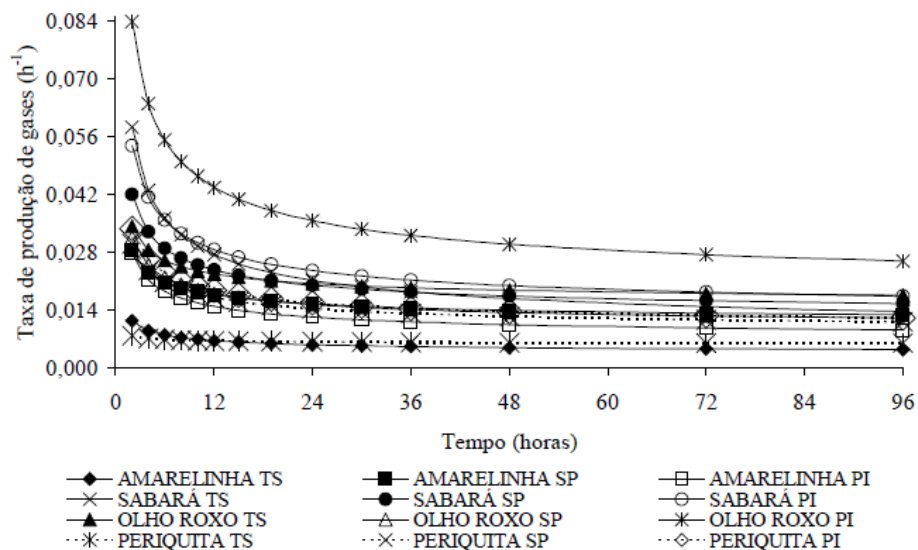


Figura 3. Taxa de produção de gases por tempo de fermentação (h) das silagens de diferentes frações de quatro variedades de mandioca

Para as produções cumulativas de gases entre os períodos de fermentação nota-se aumento com o decorrer dos processos de degradação até 48 horas, porém, as produções cumulativas de gases demonstraram estabilização após este tempo, indicando que até esta hora existiam compostos a serem fermentados, sendo o tempo máximo de incubação (96 horas) suficiente para que o máximo de degradação fosse atingido.

As maiores produções de gases por hora foram obtidas aproximadamente às 48 horas de fermentação (Figura 4).

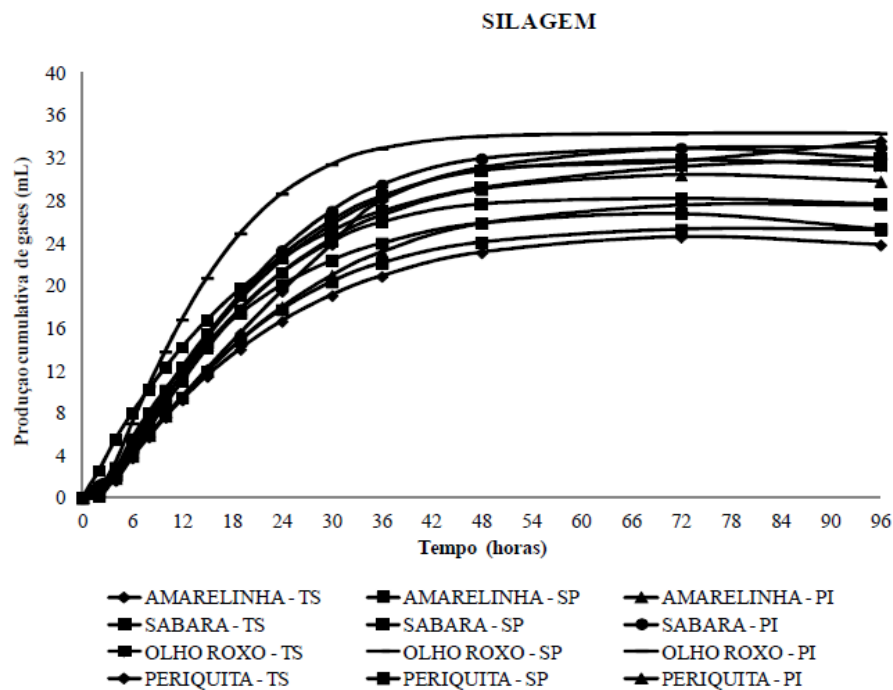


Figura 4. Produções cumulativas de gases (PCG) (em mL/g de MS) x tempo de fermentação das silagens de diferentes frações de quatro variedades de mandioca

Na comparação entre as variedades e frações analisadas, destaque pode ser dado a silagem da variedade Olho Roxo na fração planta inteira que demonstra maior taxa de produção cumulativa de gases, o que pode estar relacionado ao menor teor de PB (Tabela 1). Santos *et al.* (2003) trabalhando com subprodutos proteicos concluíram que o caroço de algodão foi o alimento concentrado que apresentou menor produção de gases em todas as espécies estudadas, seguido dos farelos de algodão e soja, o que pode ser explicado pelo alto conteúdo de proteína desses alimentos. E de acordo com Khazaal *et al.* (1995), a incubação de substratos ricos em proteína resultaria na formação de

bicarbonato de amônio, a partir de CO₂ e amônia, reduzindo, assim, a contribuição de CO₂ para a produção total de gases.

Resultados encontrados por Silva *et al.* (2009) mostraram que as silagens da parte aérea da mandioca emurchecidas ou não acrescidas de raízes apresentaram os menores valores de produção de gases (144,0 e 125,8mL) em relação aos demais substratos contendo raízes, o que pode ser atribuído a menor proporção de carboidratos não fibrosos e elevado teor de PB.

Entretanto, as curvas de produção cumulativa de gases não refletem a mesma ordem demonstrada para a degradação do material, confirmando resultados descritos por Nogueira *et al.* (2006), que ao compararem substratos com diferentes teores de carboidratos solúveis, obtiveram maior degradação para os carboidratos com menor produção de gases e atribuíram essa menor produção de gases ao fato de que a fermentação de carboidratos solúveis proporciona maior produção de propionato e, conseqüentemente, menor produção de gases, pois a formação de propionato envolve a captura do hidrogênio (H₂) e não implica formação de dióxido de carbono (CO₂).

Não houve efeito ($P > 0,05$) de variedade e fração da parte aérea quanto a fração insolúvel potencialmente degradável (B) da MS (Tabela 2), porém, houve efeito ($P < 0,05$) para a fração solúvel (A) e taxa de degradação (c). Para a fração prontamente solúvel (A), houve destaque apenas na silagem da fração terço superior da variedade Periquita, podendo ser explicado por esta apresentar menores teores de FDN, FDA e lignina (Tabela 1). Em contrapartida, as silagens da fração planta inteira na variedade Amarelinha foi superior para a taxa de degradação (c).

Tabela 2. Fração solúvel (A), fração insolúvel potencial fermentável (B), taxa de degradação (c) da matéria seca das silagens de diferentes frações da parte aérea (terço superior, sobras do plantio e planta inteira) de quatro variedades de mandioca

Variedades	A			B			c		
	Frações da parte Aérea								
	TS	SP	PI	TS	SP	PI	TS	SP	PI
Amarelinha	15,52 ^{Aa}	9,30 ^{Aa}	11,30 ^{Aa}	40,18 ^{Aa}	47,36 ^{Aa}	27,06 ^{Aa}	0,06 ^{Aa}	0,09 ^{Aa}	0,14 ^{Ab}
Sabará	13,88 ^{Aa}	10,63 ^{Aa}	6,03 ^{Aa}	28,72 ^{Aa}	34,0 ^{Aa}	40,53 ^{Aa}	0,06 ^{Aa}	0,10 ^{Aa}	0,07 ^{Aa}
Olho Roxo	14,22 ^{Aa}	4,01 ^{Aa}	7,35 ^{Aa}	29,43 ^{Aa}	42,14 ^{Aa}	36,65 ^{Aa}	0,08 ^{Aa}	0,09 ^{Aa}	0,08 ^{Aa}
Periquita	18,38 ^{Ab}	5,45 ^{Aa}	9,62 ^{Aa}	26,0 ^{Aa}	40,75 ^{Aa}	36,84 ^{Aa}	0,06 ^{Aa}	0,12 ^{Aa}	0,06 ^{Aa}
CV (%)	58,08			35,4			48,58		

Letras maiúsculas idênticas significam semelhança estatística ($p>0,05$) em uma mesma coluna; letras minúsculas idênticas representam semelhança estatística em uma mesma linha, Pelo teste de Scott & Knott ao nível de 5% de significância.

TS = terzo superior, SP = sobras de plantio, PI = planta inteira.

As degradabilidades efetivas (DE) calculadas (Tabela 2) mostram que as silagens das frações sobras do plantio e terzo superior da variedade Amarelinha foram superiores a silagem da planta inteira, contabilizando 42,31% e 44,99%, respectivamente, considerando taxa de passagem de 5%/h. Mesmo resultado foi encontrado para a degradabilidade potencial do alimento (DP) com 55,70% para a fração terzo superior e 56,67% para a fração sobras de plantio (Tabela 3). A silagem da planta inteira da variedade Amarelinha apresentou maior fração indegradável (FI) (61,64%), sendo que essa fração apresenta teores de 42,38% de FDA e 15,19% de lignina, responsável pela menor digestibilidade.

O potencial máximo de produção de gases (A) pode ser considerado como a expressão máxima da degradação ruminal de um alimento, sem considerar a limitação de tempo de permanência da digesta no rúmen. Os potenciais máximos de produção de gases variaram de 27,45mL/g de MS a 35,18mL/g de MS, nas silagens avaliadas e não diferiram ($P>0,05$) para variedades e as frações da parte aérea (Tabela 4).

Os trabalhos de avaliação de silagens de mandioca pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases são ainda escassos. A silagem de mandioca, quando comparada com outras forrageiras, como o girassol, com valor de A de 119ml com 100 dias de plantio, relatado por Pereira *et al.* (2005) apresentam produções de gases superiores ao da silagem de mandioca.

Entretanto, estas comparações devem ser evitadas e restritas a grupos de alimentos de características próximas. Pois a relação propionato/acetato, resultante da fermentação de um alimento, pode interferir no volume de gases, podendo haver maior ou menor produção, dependendo das relações entre os ácidos graxos voláteis produzidos.

Tabela 3. Degradabilidade efetiva (DE), degradabilidade potencial (DP) e fração indegradável (FI) da matéria seca das silagens de diferentes frações da parte aérea (terço superior, sobras do plantio e planta inteira) de quatro variedades de mandioca

Variedades	DE			DP			FI		
	Frações da parte Aérea								
	TS	SP	PI	TS	SP	PI	TS	SP	PI
Amarelinha	42,31 ^{Bb}	44,99 ^{Bb}	25,46 ^{Aa}	55,70 ^{Bb}	56,67 ^{Bb}	38,37 ^{Aa}	44,30 ^{Aa}	43,33 ^{Aa}	61,64 ^{Bb}
Sabará	28,80 ^{Aa}	33,28 ^{Aa}	29,80 ^{Aa}	42,60 ^{Aa}	44,62 ^{Aa}	46,57 ^{Aa}	57,40 ^{Aa}	55,38 ^{Aa}	53,44 ^{Aa}
Olho Roxo	32,56 ^{Aa}	30,29 ^{Aa}	30,28 ^{Aa}	43,65 ^{Aa}	46,15 ^{Aa}	44,00 ^{Aa}	56,35 ^{Aa}	53,86 ^{Aa}	56,00 ^{Aa}
Periquita	32,95 ^{Aa}	34,05 ^{Aa}	29,07 ^{Aa}	44,36 ^{Aa}	46,20 ^{Aa}	46,47 ^{Aa}	55,64 ^{Aa}	53,80 ^{Aa}	53,54 ^{Aa}
CV (%)	32,7			24,5			21,11		

Letras maiúsculas idênticas significam semelhança estatística ($p > 0,05$) em uma mesma coluna; letras minúsculas idênticas representam semelhança estatística em uma mesma linha.

TS = terço superior, SP = sobras de plantio, PI = planta inteira.

Tabela 4. Potencial máximo de produção de gases (A) em mL/g de MS, tempo de colonização (L) em horas e taxa de produção de gases (μ) em mL/g de MS/h, em 96 horas de incubação das silagens de diferentes frações da parte aérea (terço superior, sobras do plantio e planta inteira) de quatro variedades de mandioca

Variedades	A			L			μ		
	Frações da parte Aérea								
	TS	SP	PI	TS	SP	PI	TS	SP	PI
Amarelinha	30,0 ^{Aa}	30,78 ^{Aa}	35,2 ^{Aa}	1,58 ^{Aa}	2,35 ^{Aa}	2,54 ^{Aa}	0,03 ^{Aa}	0,03 ^{Aa}	0,03 ^{Aa}
Sabará	33,4 ^{Aa}	32,99 ^{Aa}	33,0 ^{Aa}	1,25 ^{Aa}	1,22 ^{Aa}	2,38 ^{Ab}	0,03 ^{Aa}	0,02 ^{Aa}	0,03 ^{Aa}
Olho Roxo	31,0 ^{Aa}	30,7 ^{Aa}	34,3 ^{Aa}	1,67 ^{Aa}	1,93 ^{Aa}	2,38 ^{Aa}	0,02 ^{Aa}	0,03 ^{Aa}	0,04 ^{Bb}
Periquita	28,9 ^{Aa}	30,3 ^{Aa}	27,45 ^{Aa}	1,69 ^{Aa}	2,14 ^{Aa}	2,35 ^{Aa}	0,03 ^{Aa}	0,04 ^{Bb}	0,02 ^{Aa}
CV (%)	14,55			37,12			22,91		

Letras maiúsculas idênticas significam semelhança estatística ($p > 0,05$) em uma mesma coluna; letras minúsculas idênticas representam semelhança estatística em uma mesma linha.

TS = terço superior, SP = sobras de plantio, PI = planta inteira.

A única diferença encontrada para o tempo de colonização foi para variedade Sabará, sendo que a silagem da planta inteira apresentou maior tempo de colonização em relação às demais frações, o que pode estar relacionado à maior proporção de parede celular da fração planta inteira nesta variedade de mandioca (Tabela 1). Ribas *et al.* (2007) descrevem que o tempo de colonização (L) representa o tempo compreendido entre a incubação até o início da ação microbiana sobre a amostra incubada.

As reduções no tempo de colonização são favorecidas pela presença de substratos prontamente fermentáveis e por características físicas e químicas da parede celular da amostra.

As taxas de produção de gases (μ), um parâmetro que depende do tempo de incubação de cada alimento, variaram de 0,02 a 0,04mL/h para a MS. Na silagem da fração planta inteira, a variedade Olho Roxo apresentou maior taxa de produção de gases em relação às demais variedades. Já nas silagens das sobras do plantio a variedade Periquita superou as outras variedades com 0,04mL/h de taxa de produção de gases.

De acordo com Tomich (2003), partindo do princípio de que os gases produzidos refletem a degradação da amostra testada, a taxa e o potencial máximo de produção de gases são, provavelmente, os principais parâmetros para avaliar a qualidade de forrageiras testadas pela técnica de produção de gases. Sendo assim, a silagem da variedade Periquita na fração sobras de plantio e a Olho Roxo na fração planta inteira seriam consideradas de melhor qualidade, considerando sua taxa de produção de gases superior, mas em contrapartida, o seu potencial de produção de gases e o tempo de colonização não diferiram estatisticamente ($P > 0,05$).

Além disso, de acordo com Pereira *et al.* (2005), forrageiras de boa qualidade apresentam altos valores de degradabilidade potencial e elevadas taxas de degradação. Partindo deste princípio, pode-se concluir que as silagens da variedade Amarelinha sob as frações da parte aérea terço superior e sobras de plantio provavelmente seria uma forragem de melhor qualidade para serem utilizadas na alimentação dos ruminantes.

Quanto ao potencial de produção de gases, as silagens das diferentes variedades e frações da parte aérea de mandioca são similares. Em relação à degradabilidade ruminal, as silagens da variedade Amarelinha, nas frações da parte aérea terço superior e sobras de plantio, apresentam degradabilidades efetiva e potencial mais elevadas.

CONCLUSÃO

A silagem da variedade Olho Roxo a fração planta inteira apresenta maior produção cumulativa de gases. Entretanto, a silagem da variedade Amarelinha sob as frações da parte aérea terço superior e sobras de plantio apresentam menor degradabilidade ruminal.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO NETO, J.C.; VASCONCELOS, V.R.; PIMENTEL, J.C.M. Produção de gases durante a fermentação da casca do coco por meio da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. In: REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006.

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

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos. **Anais...** São Carlos, SP: UFSCar. p. 255-258.

FERREIRA, G.D.G.; OLIVEIRA, R.L.; CARDOSO, E.C.; MAGALHÃES, A.L.R.; BRITO, E.L. Valor nutritivo de co-produtos da mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** [online], v.8, n.4, p.364-374, 2007.

FIGUEIREDO, M.P.; SOUZA, L.F.; FERREIRA, J.Q. Cinética da degradação ruminal da matéria seca da haste, da raiz, do feno da parte aérea e da silagem de raiz de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tratada com ureia. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.43, n.1 p.11-17, 2006.

FRANCE, J.; DHANOS, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; DAVIES, D.R.; ISAC, D. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. **Journal of Theoretical Biology**, v.163, n.1, p.99-111, 1993.

GIRALDO, L.A.; GUTIÉRREZ, L.A.; SÁNCHEZ, J.; BOLÍVAR, P.A. Relación entre presión y volumen para el montaje de La técnica *in vitro* de producción de gas em Colombia. **Livestock Research for Rural Development**,

v.18, n.6, 2006. Disponível em: <<http://www.cipav.org.co/1rrd/1rrd18/6/gira18075.htm/>>. Acesso em: 26 ago. 2010.

KHAZAAL, K.; DENTINHO, M.T.; RIBERRIO, J.M.; OERSKOV, E.R. Prediction of apparent digestibility and voluntary feed intake of hays fed to sheep: Comparison between using fiber component, *in vitro* digestibility or characteristics of gas production or nylon bag degradation. **Animal Science**, v.61, p.527-538, 1995.

KUNKEL, L. J.; KOZLOSKI, G. V.; MEZZOMO, M. P.; ANDRESSA ANA MARTINS, A. A.; TIAGO ORLANDI. T.; ANA CAROLINA FLUCK, A. C. **A correlação da FDN e FDA de leguminosas tropicais com parâmetros de cinética de fermentação ruminal.** 2006. Disponível em: <<http://portal.ufsm.br/jai/anais/eventos.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2012.

MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science Technology**, v.79, p.321-330, 1999.

MEHREZ, A.Z.; ØRSKOV, E.R. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v.88, p.645-650, 1977.

MODESTO, E.C.; SANTOS, G.T.; VILELA, D.; SILVA, D.C.; FAUSTINO, J.O.; JOBIM, C.C.; DETMANN, E.; ZAMBOM, M.A.; MARQUES, J.A. Caracterização químicobromatológica da silagem do terço superior da rama de mandioca. **Acta Scientiarum Animal Science**, v.26, n.1, p.137-146, 2004.

MOTA, A.D.S.; ROCHA JÚNIOR, V.R.; SOUZA, A.S. de; REIS, S.T. dos; TOMICH, T.R.; CALDEIRA, L.A.; MENEZES, G.C. de C.; COSTA, M.D. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1466-1473, 2011.

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.

NUNES IRMÃO, J.; FIGUEIREDO, M.P.; PEREIRA, L.G.R.; FERREIRA, J.Q.; RECH, J.L.; OLIVEIRA, B.M. Composição química do feno da parte aérea da mandioca em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** [online], v.9, n.1, p.158-169, 2008.

ØRSKOV, E.R.; MCDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, p.499-503, 1979.

PEREIRA, L.G.R.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; TOMICH, T.R.; RODRIGUES, J.A.S.; RODRIGUEZ, N.M. Avaliação das silagens de girassol (hibrido m734) obtidas em diferentes épocas de ensilagem pela técnica in vitro semi-automática de produção de gases. **Braslian Journal Veterinary Research Animal Science**, v.42, n.4, p.276-283, 2005.

RIBAS, R.G.; MOYLE, C.Y.; MIYAKI, E.J.L. The assembly of montane biotas: linking Andean tectonics and climatic oscillations to independent regimes of diversification in Pionus parrots. **Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences**; v.274, n.1624, p.2399-2408, 2007.

SANTOS, R.A.; TEIXEIRA, J.C.; PEREZ, J.R.O.; PAIVA, P.C.; MUNIZ, J.A.; ARCURI, P.B. Estimativa da degradabilidade ruminal de alimentos utilizando a técnica de produção de gás em bovinos, ovinos e caprinos. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.3, p.689-695, 2003.

SAS Institute. **Statistical analysis system: user's guide : statistics**. Version 8.0. Cary, 1999.

SILVA, C.F.P.G.; FARIAS, D.H.; FIGUEIREDO, M.P.; BERNARDINO, F.S.; PEDREIRA, M.S. Avaliação de silagens da parte aérea e raízes de mandioca através da técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases. In: ZOOTECA, 2009, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: FZEA/USP/ABZ, 2009.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 165p.

SOUZA, A.S.de; ROCHA JÚNIOR, V.R.; MOTA, A.D.S.; PALMA, M.N.N.; FRANCO, M.O.; DUTRA, E.S.; SANTOS, C.C.R.dos; AGUIAR, A.C.R.; OLIVEIRA, C. R.; ROCHA, W.J.B. Valor nutricional de frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** [online], v.12, n.2, p.441-455, 2011.

SOUZA, A.S.de; ROCHA JÚNIOR, V.R.; MOTA, A.D.S.; ROCHA, W.J.B.; OLIVEIRA, C.R.; AGUIAR, A.C.R.de; SANTOS, C.C.R.dos; MENDES, G.A. Potencial forrageiro e valor nutricional do feno de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal** [online], v.13, n.3, p.604-618, 2012.

THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S. 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.

TOMICH, T.R. **Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capinsudão avaliados em regime de corte**. 2003. 82p. Tese (Doutorado) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Van SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

CAPÍTULO II

**CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO DOS FENOS DE DIFERENTES FRAÇÕES
DA PARTE AÉREA DE VARIEDADES DE MANDIOCA PELA TÉCNICA
IN VITRO DE PRODUÇÃO DE GASES**

2012

RESUMO

Objetivou-se por meio deste estudo estimar a degradabilidade ruminal da matéria seca dos fenos de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca, utilizando-se a técnica semiautomática de produção de gases. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, arranjado em um esquema fatorial 4x3, sendo quatro variedades de mandioca (Amarelinha, Sabará, Olho Roxo e Periquita) e três frações da parte aérea (terço superior, sobra de plantio e planta inteira) para produção de feno. Amostras dos fenos foram coletadas e submetidas à presecagem, moídas e em seguida procedeu-se ensaio de produção de gases *in vitro*. A produção de gases aumentou no decorrer do período de fermentação tendendo a se estabilizar por volta de 48 horas e observou-se um maior desaparecimento da matéria seca entre o tempo zero e 24 horas de fermentação. O feno do terço superior da variedade Amarelinha, por apresentar melhores coeficientes de degradabilidade potencial e efetiva da matéria seca e maior potencial máximo de produção de gases, em relação às demais variedades, pode ser indicado como de melhor valor nutricional.

Palavras chaves: Degradabilidade efetiva. Digestibilidade. Matéria seca. Valor nutritivo.

ABSTRAT

The goal of this study was to estimate the hay's dry matter of ruminal degradability from different aerial parts of four varieties of cassava using a semi-automatic technique of gas production. The experiment was entirely randomized, with four repetitions, and arranged in a 4x3 factorial scheme, being that four different cassava varieties (Amarelinha, Sabará, Olhoroxo e Periquita) and three aerial part fractions (superior third, cultivation left overs, and whole plant) for hay production. Hay samples were harvested, submitted to a pre drying process, grounded and followed by an in-vitro gas production trial. There was an increase in gas production during the fermentation period with a tendency of stabilization around a 48 hours period and a greater decrease in dry matter between zero and 24 hours fermentation period. The hay of Amarelinha's superior third was considered the most nutritional kind due to its better coefficient of degradability potential, effective dry matter, and greater maximal potential of gas production when compared to the other varieties studied.

Keywords: Effective degradability. Digestibility. Dry matter. Nutritional value.

INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos agroindustriais e outros ingredientes de potencial regional, utilizados de forma planejada, normalmente no período crítico do ano, pode melhorar a eficiência dos sistemas de produção pecuária do semiárido (ARAÚJO *et al.*, 2009, CARVALHO JR. *et al.*, 2009; CRUZ *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2009; PIRES *et al.*, 2009).

A parte aérea da mandioca (ramas mais folhas) é um alimento volumoso que apresenta bom valor nutritivo para os ruminantes, podendo ser introduzida na dieta na forma de feno. Além disso, visando a uma forragem de melhor valor nutritivo, tem-se recomendado utilizar apenas o terço superior da parte aérea para a alimentação dos ruminantes, enquanto que, para a produção de manivas de qualidade requer somente o terço médio e inferior das ramas, eliminando a parte herbácea superior da planta. Além disso, a composição nutricional e a produtividade do feno da parte aérea da cultura de mandioca dependem de algumas variáveis como variedade, idade da planta, espaçamento, adubação e condições edafoclimáticas (MODESTO *et al.*, 2004; NUNES IRMÃO *et al.*, 2008).

Trabalhos realizados (CARVALHO *et al.*, 2006; FIGUEIREDO *et al.*, 2006; NUNES IRMÃO *et al.*, 2008) sobre o uso de diferentes frações da parte aérea de variedades de mandioca na forma de feno foram baseados em análises bromatológicas, avaliações agronômicas e estudos com degradabilidade *in situ*. Pesquisas envolvendo a cinética de degradação ruminal pela técnica *in vitro* de produção de gases, têm sido importantes para complementação desses estudos de avaliação da qualidade nutricional. Dessa forma objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a cinética de fermentação ruminal por meio da técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases, dos fenos de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, localizada no município de Janaúba, Norte de Minas Gerais e no Laboratório de Análises de Alimentos do Departamento de Ciências Agrárias da UNIMONTES, campus de Janaúba. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com esquema fatorial 4×3 , com quatro repetições, sendo quatro variedades de mandioca (Amarelinha, Olho Roxo, Periquita e Sabará) e três frações da parte aérea (planta inteira, terço superior e sobras de plantio). O plantio foi efetuado usando quatro canteiros (parcelas) com quatro linhas por variedade, seguindo as recomendações técnicas para a cultura e as metodologias tradicionais de cultivo empregadas pelos produtores locais, procedendo-se a coleta do material, no respectivo estágio fenológico indicado para a colheita da raiz.

As plantas de cada canteiro foram separadas em três partes iguais, e isoladamente utilizadas para a produção de forragem com as seguintes formas de aproveitamento da parte aérea: a) forragem composta pela parte aérea total, b) forragem composta apenas pelo terço superior da parte aérea e c) forragem composta pela parte aérea restante após a produção de manivas necessárias para novo plantio na mesma área. Essas forragens foram individualmente picadas em tamanho médio de partícula de 2 cm e manualmente homogeneizadas

No processo de cura (secagem) para a produção do feno, a forragem fresca foi distribuída em cima de lona plástica em camada de 2 - 3 cm de espessura. Esse material foi mantido ao sol, sendo periodicamente revirado (visando à homogeneização na desidratação), até atingir o ponto de feno de material picado (entre 10% e 15% de umidade). Depois de prontos os fenos, o material foi pesado, homogeneizado e pré-seca em estufa de ventilação forçada a

cerca de 55°C até peso constante, em seguida foi moído em moinho de facas com peneira de malha de 1 mm para análises posteriores.

Foram determinados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), cinzas, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina. Com exceção das análises de FDN e FDA, feitas segundo Van Soest *et al.* (1991), as demais análises seguiram as recomendações descritas por Silva e Queiroz (2002).

A estrutura do delineamento em blocos ao acaso mantida a campo, para controlar o efeito de fertilidade do solo, foi preservada para o ensaio de produção cumulativa de gás, com a finalidade de se obter as repetições do experimento.

A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases descrita foi conduzida de acordo com Maurício *et al.* (1999). A incubação foi feita em frascos de vidro com capacidade para 160 mL que previamente ao experimento foram lavados com água destilada e secos em estufa. Posteriormente foram injetados aos frascos dióxido de carbono (CO₂) e adicionados aproximadamente 1 grama das amostras a serem analisadas, pesando-se em balança digital, conforme os tratamentos propostos. Foram utilizados dois frascos por tratamento (réplicas) e frascos controle contendo apenas o meio de cultura e o inóculo. Para cada frasco, foram adicionados manualmente 90 mL de meio de cultura conforme Theodorou *et al.* (1994). Os frascos foram vedados com rolhas de borracha (14 mm) e para evitar que qualquer tipo de fermentação ocorresse, os frascos foram mantidos a 4 °C durante a noite em geladeira comum. No dia seguinte, cinco horas antes da inoculação os frascos foram removidos da geladeira para estufa a 39 °C até o momento da inoculação.

Para coleta do líquido ruminal (inóculo) foram utilizados dois bovinos machos providos de cânula ruminal permanente. A coleta foi realizada manualmente no saco ventral do rúmen com auxílio de um pano e

posteriormente acondicionado em garrafas térmicas previamente aquecidas (39°C) e imediatamente levadas ao laboratório. No laboratório, procedeu-se à filtragem do conteúdo em camada dupla de gaze com injeção contínua de CO₂ e mantido em banho-maria, seguida imediatamente da inoculação.

A inoculação foi realizada através da injeção de 10 mL do inóculo por frasco através de seringa plástica graduada. Imediatamente após a inoculação, os frascos tiveram a pressão estabilizada através da inserção de agulhas (25 mm x 7 mm) nas tampas dos frascos. As agulhas foram posteriormente retiradas, os frascos manualmente agitados e colocados em estufa a 39°C e deu-se o início da contagem dos tempos de fermentação.

As leituras de pressão foram tomadas em maior frequência durante o período inicial de fermentação e reduzidas posteriormente (2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72, e 96 h), sendo que após as leituras de 6, 12, 24, 48 e 96 horas dois frascos eram removidos de cada tratamento para a determinação da degradabilidade.

A pressão dos gases foi obtida utilizando-se o equipamento Datalogger Universal Logger AG100, um equipamento de bancada dotado de entrada analógica onde foi conectado o manípulo com uma agulha (0,7 mm) fixada em sua ponta para perfurar as rolhas de borrachas sintéticas encaixadas nos frascos. Este equipamento possui um botão de disparo na parte superior do manípulo para ser acionado para que o registro da pressão (psi) seja efetuado. A partir da inserção da agulha na tampa de silicone a pressão produzida no interior dos frascos foi lida no leitor digital e registradas em planilhas para cálculos posteriores do volume de gases.

O desaparecimento da matéria seca foi obtido pela relação entre a porcentagem do material inicialmente incubado e o resíduo após os períodos de 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação. O resíduo da degradação foi obtido por

meio da filtragem do conteúdo de cada frasco em cadinhos de porosidade 1 e posterior secagem em estufa a 100°C por 12 horas.

Os dados de produção cumulativa de gases oriundos da fermentação de cada tratamento foram utilizados no modelo de France *et al.* (1993):

$$Y = A [1 - \exp [(-b(t - L) - c) \times (\sqrt{t - L})]]$$

Em que,

Y = produção cumulativa de gases (mL);

A = potencial máximo de produção de gases;

L = tempo de colonização (*lag time*);

b e c = taxas fracionais constantes;

Uma taxa fracional combinada à produção de gases (μ) foi calculada como:

$$\mu = b + c / 2\sqrt{t}$$

Em que,

μ = taxa de produção de gases;

b e c = taxas fracionais constantes;

t = tempo de incubação em horas.

Para ajustar os dados de degradabilidade às 0, 6, 12, 24, 48 e 96 hs, foram utilizados os modelos matemáticos propostos por Mehrez e Ørskov (1977) e Ørskov e McDonald (1979), que possibilitaram estimar as degradabilidades potencial (DP) e efetiva (DE):

$$DP = A - \frac{A}{L} t \leq L$$

$$DP = a + b (1 - e^{-c t}) \quad t > L,$$

Em que:

DP = degradabilidade do alimento (%) no tempo t (horas);

A = fração prontamente solúvel (%);

a e b = parâmetros do modelo, cuja soma (a+b) corresponde numericamente à degradabilidade potencial do alimento; e

c = taxa de degradação (%/hora).

Calculou-se também a fração solúvel potencialmente fermentescível do alimento (B):

$$B = (a + b) - A \text{ ou } 100 - (A + C),$$

Em que:

C = fração indegradável (calculada como 100-DP).

A degradabilidade efetiva (DE) dos alimentos foi calculada da seguinte forma:

$$DE = \frac{(a+b)}{[c/(c+kp)]},$$

Em que:

kp = taxa de passagem do alimento (%/hora) pelo rúmen e foi considerada como 5%/hora.

As estimativas dos parâmetros descritos no modelo matemático foram realizadas utilizando-se métodos iterativos não lineares. Estes resultados ajustados, por estimativas de quadrados mínimos, foram obtidos a partir do uso

do método Gauss – Newton, por meio do procedimento NLIN, com o auxílio do programa SAS (SAS INSTITUTE, 2000).

Para obtenção dos modelos estatísticos que mede a relação entre o volume de gás produzido durante a fermentação e a pressão (psi) utilizou-se o estudo de correlação por meio da linha de comando MANOVA do procedimento GLM de SAS. Uma vez detectada a correlação satisfatória (acima de 85%) e significativa entre o volume e a pressão, utilizou-se a opção SELECTION=STEPWISE na linha de comando MODEL do procedimento GLM da SAS, para que a seleção do melhor modelo fosse feita automaticamente entre os modelos testados (linear, quadrático e cúbico) (SAS INSTITUTE, 2000).

Depois de obtidos os valores do volume acumulado de gás, taxa de degradação “c” e o tempo de colonização os mesmos foram submetidos à análise de variância por meio do programa SISVAR (FERREIRA, 2011), além destes, os parâmetros de degradabilidade A, B, c, FI, DP e DE. E quando a análise de variância apresentou significância as médias de tratamentos (variedades e frações da parte aérea) foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade pelo SISVAR (FERREIRA, 2011).

A composição química dos fenos das diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química dos fenos de diferentes frações da parte aérea (FA) (TS – terço superior, SP – sobra de plantio e PI – planta inteira) de quatro variedades de mandioca

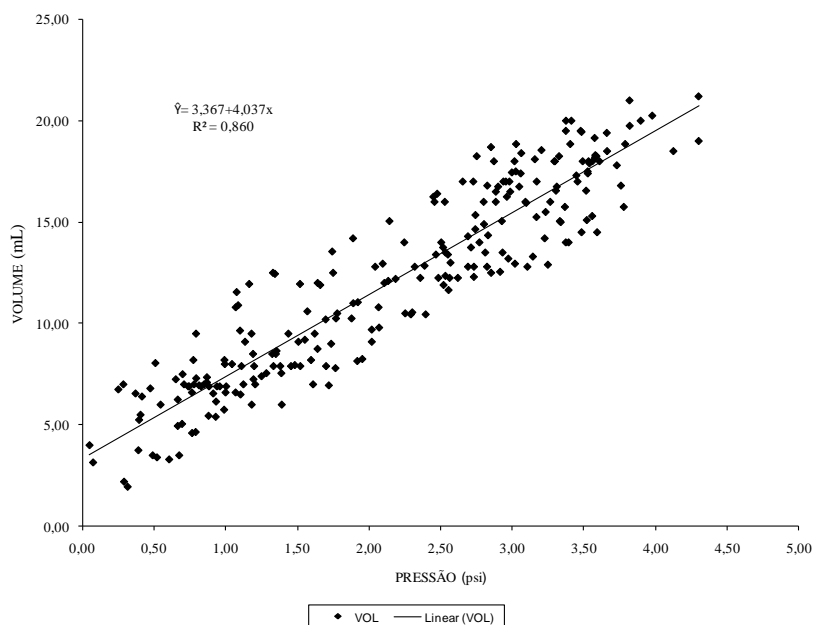
Variedades	Frações	MS	PB	Cinzas	FDN	FDA	Lignina
Amarelinha	TS	92,0	20,06	8,53	72,85	44,91	14,23
	SP	91,4	17,29	8,11	77,62	52,13	17,61
	PI	91,2	13,99	6,67	79,78	55,89	18,54
Sabará	TS	91,8	20,70	8,64	71,76	45,81	16,94
	SP	92,0	18,76	8,42	77,47	56,47	19,17
	PI	90,8	15,15	7,09	82,63	55,68	19,99
Olho Roxo	TS	91,8	20,35	8,65	71,55	43,59	18,56
	SP	93,1	16,04	7,60	77,38	48,28	19,60
	PI	92,3	13,64	6,38	79,95	52,19	19,40
Periquita	TS	93,2	21,51	8,47	73,57	41,33	18,14
	SP	91,8	18,54	7,84	78,96	54,70	19,14
	PI	90,8	15,20	6,48	82,11	55,01	19,33
Média		91,8	17,60	7,74	77,14	50,50	18,38

MS = matéria seca; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para implantação da técnica semi-automática de produção de gases em diferentes laboratórios, faz-se necessário a obtenção de uma equação para predição do volume através da pressão a partir de dados experimentais, como foi demonstrado por Maurício *et al.* (1999). A relação de pressão e volume oriundos da fermentação dos fenos das diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca resultou na obtenção 6.160 dados, que são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Pressão e volume obtido durante o ensaio de produção de gases usando como substratos os fenos das diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca (psi=libra por polegada ao quadrado)

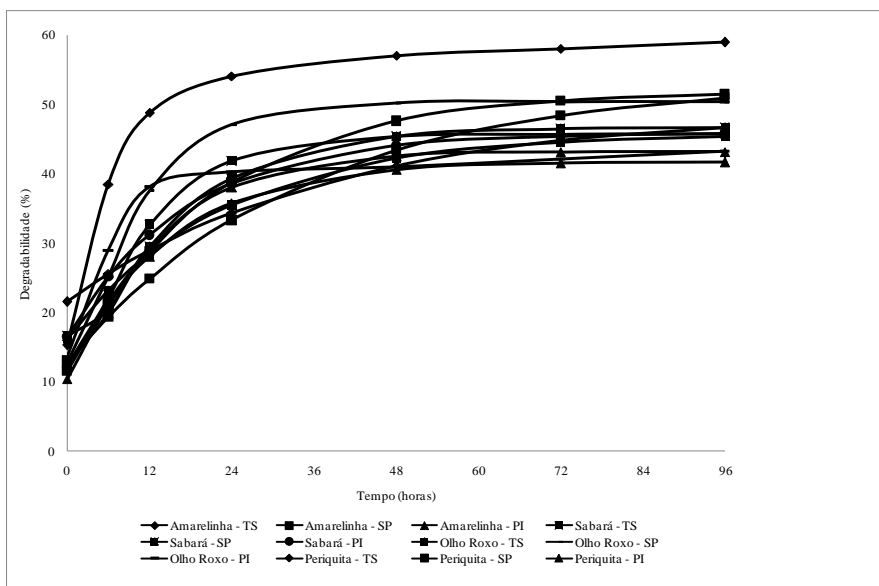


Os dados de pressão variaram de 0 a 5,0 psi e os de volume entre 0 e 22,0 mL para os fenos. Os tempos de leitura permitiram a obtenção de valores de pressão abaixo de 7,0 psi, de acordo com as recomendações de Theodorou *et al.* (1994). Segundo esses autores, valores de pressão acima de 7,0 psi causam instabilidade na correlação entre as variáveis e alterações no crescimento microbiano.

A equação predita para os dados deste trabalho foi: $V_{(ml)} = 3,367X + 4,037$, ($R^2=0,86$) em que V = volume (mL) e P = pressão (psi), onde apresentou um comportamento linear, diferente aos obtidos por Azevedo *et al.* (2008) que foi: $V=0,1178P^2+4,7295P$, ($R^2=0,99$). Com isso, pode-se concluir que a instalação da técnica semi-automática de produção de gases requer a obtenção de equações específicas para cada laboratório.

Na figura 2, encontra-se o desaparecimento da matéria seca (DMS) dos fenos de diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca avaliadas, após 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação.

Figura 2 – Desaparecimento da matéria seca dos fenos das diferentes frações da parte aérea das quatro variedades de mandioca nos tempos de 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação



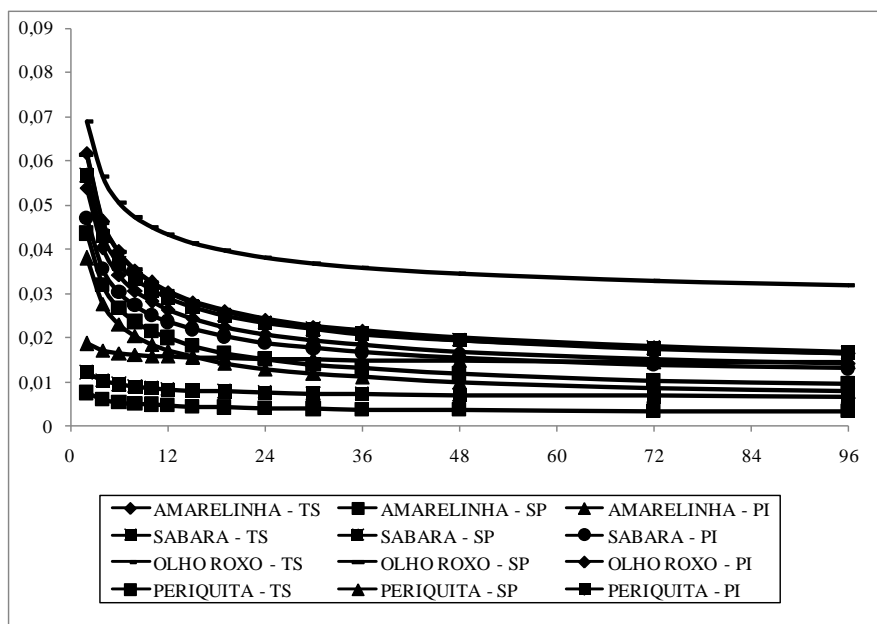
A produção de gases é reflexo da fermentação total do substrato e, conseqüentemente, do desaparecimento da MS. Segundo Bueno *et al.* (2005), os sistemas de produção de gases *in vitro* proporcionam uma estimativa da digestibilidade da matéria seca (MS) e são um indicador direto dos produtos finais produzidos, como a produção de gases, e indireta como ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) os quais são a principal fonte de energia dos ruminantes. Os gases surgem diretamente da degradação microbiana dos alimentos e indiretamente da reação do tampão com os ácidos gerados como resultado da fermentação (VELÁSQUEZ, *et al.* 2010).

Nota-se que a produção de gases aumentou no decorrer do período de fermentação tendendo a se estabilizar por volta de 48 horas e observa-se uma maior taxa de desaparecimento da matéria seca (DMS) entre o tempo zero e 24 horas de fermentação. A diferença na degradação final (96 horas) que variou entre 41,70 e 59,0 % da MS nos fenos pode ter sido influenciada pela quantidade de parede celular apresentada nas diferentes forragens.

Nos tempos iniciais de fermentação, a figura 2 ilustra uma taxa de degradação mais elevada para o feno da variedade Periquita na fração terço superior, e a partir de 6 horas de fermentação a variedade Amarelinha, sob a mesma fração, se destacou das demais variedades, mantendo-se superior até 96 horas. Na figura 2, observa-se que o feno da variedade Periquita na fração planta inteira demonstra os menores valores de degradabilidade, sendo que esta apresenta uma das maiores concentrações de FDN (82,11%), de FDA (55,01%) e de lignina (19,33%) (Tabela 1).

Na figura 3, encontram-se as curvas de produção de gases por tempo de fermentação dos fenos das quatro variedades de mandioca.

Figura 3 - Produção de gases por tempo de fermentação (h) dos fenos de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca.

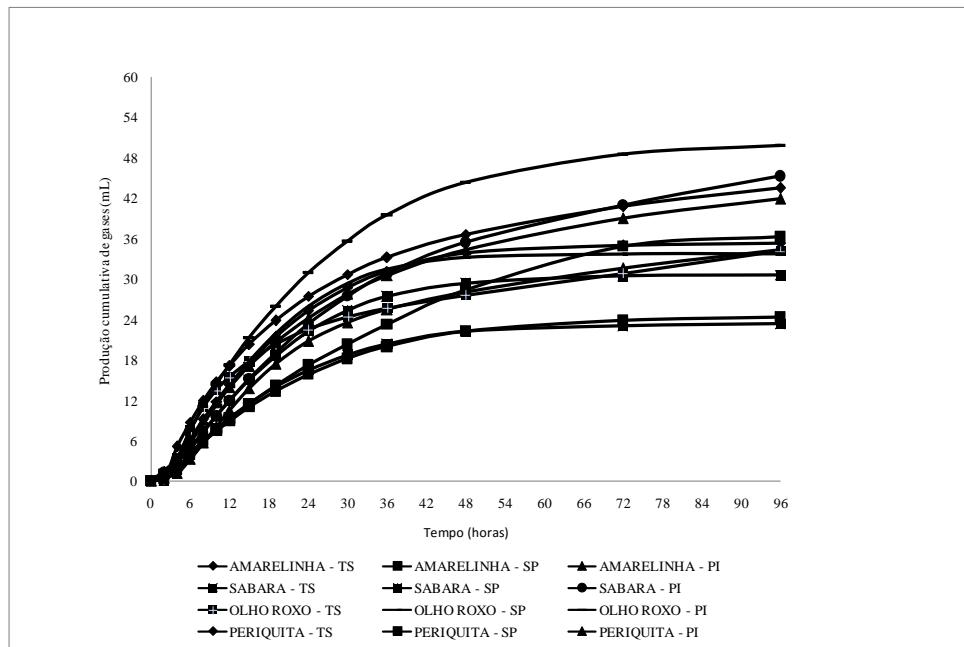


No período entre zero e doze horas de fermentação foram obtidas as maiores produções de gases, fato provavelmente ligado à fermentação dos carboidratos prontamente disponíveis, mostrando que frações facilmente fermentáveis são degradadas nas primeiras horas. Desta forma, pode-se sugerir que a variedade Olho Roxo no seu terço superior é a que, provavelmente, possui maior concentração de substratos solúveis, pois apresentou a curva do gráfico mais elevada, conforme figura 3. Seguida pela mesma variedade na fração sobras de plantio e pela variedade Periquita na fração terço superior. Em contrapartida, o feno da variedade Amarelinha na fração sobras de plantio é o que demonstra menor taxa de produção de gases, mantendo-se praticamente constante durante todo o período de incubação. Na composição química, do feno das sobras de plantio da variedade Amarelinha apresenta teor de FDN de 77,62% e 52,33% de FDA (Tabela 1), valores maiores quando comparados ao

feno da variedade Olho Roxo no seu terço superior, componentes estes que podem interferir na taxa de fermentação.

Na Figura 4 podem ser vistas as curvas de produção cumulativa de gases da MS dos fenos nos diferentes tempos de incubação. Os valores de produção cumulativa de gases (PCG) dos fenos analisados tiveram uma produção máxima de 50 ml ao final das 96 horas de fermentação. Observou-se uma maior produção de gases para o feno da variedade Olho Roxo na fração planta inteira, possivelmente devido a maior concentração de material solúvel.

Figura 4 - Produções cumulativas de gases (PCG) (em ml/g de MS) x tempo de fermentação dos fenos de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca



Observa-se menor produção cumulativa de gases para os fenos das variedades Sabará na fração terço superior e da variedade Periquita na fração

sobras de plantio durante todo o tempo de fermentação. Sabe-se que, dietas que proporcionam altos teores de proteína bruta apresentam baixa produção de gases e para estes a proteína bruta apresenta valores superior, 20,7% e 18,54%, respectivamente, causando, portanto uma redução no crescimento microbiano e conseqüentemente na produção de gases, quando comparado ao valor de proteína da variedade de maior produção, com 13,64%.

Conforme o resultado da análise de variância verificou-se que tanto as variedades quanto as frações da parte aérea dos fenos de mandioca avaliados apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) sobre os parâmetros ruminais para a fração prontamente solúvel (A), fração insolúvel potencial fermentável (B) e taxa de degradação (c) da matéria seca como mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Fração prontamente solúvel (A), fração insolúvel potencial fermentável (B) e taxa de degradação por hora (c) da matéria seca dos fenos de diferentes frações da parte aérea (terço superior – TS, sobras do plantio – SP e planta inteira – PI) de quatro variedades de mandioca

Variedades	A			B			C		
	Frações da parte aérea								
	TS	SP	PI	TS	SP	PI	TS	SP	PI
Amarelinha	11,41 Ba	12,74 Ba	4,68 Aa	52,76 Bb	40,59 Aa	38,54 Aa	0,12 Bb	0,04 Aa	0,08 Ab
Sabará	2,41 Aa	6,55 Aa	16,50 Bb	43,34 Bb	40,21 Ab	29,42 Aa	0,10 Ba	0,07 Aa	0,06 Aa
Olho Roxo	16,20 Bb	0,79 Aa	3,65 Aa	29,66 Aa	49,66 Ab	36,61 Aa	0,04 Aa	0,11 Bb	0,10 Ab
Periquita	21,54 Bb	11,55 Ba	10,36 Ba	27,35 Aa	40,41 Ab	31,41 Aa	0,03 Aa	0,05 Aa	0,07 Aa
CV (%)	55,03			16,85			47,1		

Letras maiúsculas idênticas significam semelhança estatística em uma mesma coluna; letras minúsculas idênticas representam semelhança estatística em uma mesma linha. Pelo teste de Scott & Knott ao nível de 5% de significância. ¹CV – Coeficiente de variação.

Na fração prontamente solúvel (A) observa-se que a variedade Sabará, no feno do terço superior foi inferior as demais variedades. A variedade Amarelinha destacou-se, no feno das sobras de plantio com 12,74% de fração A. Todavia, no feno da planta inteira a variedade Sabará apresentou maior percentual de fração solúvel da MS. Já a variedade Periquita destacou-se nas três frações da parte aérea, com valores de 21,54, 11,55 e 10,36%, para os fenos do terço superior, sobras do plantio e planta inteira, respectivamente. Para variedade Amarelinha não houve diferença entre os fenos das diferentes frações da parte aérea. Nas variedades Olho Roxo e Periquita, o feno do terço superior mostrou maior percentual de fração solúvel, comparado aos fenos das demais frações, enquanto que, na variedade Sabará, o feno da planta inteira apresentou maior valor de fração A.

Para fração potencialmente degradável (fração B) da matéria seca (MS), conforme Tabela 2, observa-se que as variedades Amarelinha e Sabará, no feno do terço superior, destacaram-se. No entanto, nos fenos das frações sobras de plantio e planta inteira não houve diferenças entre variedades.

Quanto às taxas de degradação, as variedades Amarelinha e Sabará, no feno do terço superior apresentaram maiores taxas. A menor taxa de degradação da fração terço superior da variedade Periquita pode ser atribuída às características físicas e estruturais da parede celular que são capazes de dificultar o acesso microbiano a essa fração (VAN SOEST, 1994). Já os fenos das sobras de plantio e planta inteira da variedade Olho Roxo foram superiores ao feno do terço superior, com 0,11% e 0,10%, respectivamente. Além disso, o feno da fração planta inteira também se destacou para a variedade Amarelinha com 0,08% de fração c. Portanto, as diferentes taxas de degradação encontradas nos alimentos analisados podem ter sido influenciadas pelos teores de MS, parede celular e conteúdo de carboidratos solúveis.

A degradabilidade efetiva e potencial da MS tiveram comportamentos semelhantes, apresentando maiores valores para o feno do terço superior da variedade Amarelinha (Tabela 3). Carvalho *et al.* (2006) verificaram degradabilidade potencial da matéria seca de 57,10% para parte aérea da mandioca. Já Figueiredo *et al.* (2006) trabalhando com feno da parte aérea da mandioca encontraram valores médios de 63,9% e 73,9% para degradabilidade efetiva e potencial, respectivamente.

Quanto à fração indegradável (FI), o feno do terço superior da variedade Amarelinha apresentou o menor valor entre as variedades e as partes testadas, isto devido ao menor teor de lignina, que é indigestível. Barros *et al.* (1990) objetivando determinar o valor nutritivo da maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii* Pax. Et. K. Hoffman), planta da mesma família da mandioca, concluíram que o seu feno apresenta baixa digestibilidade (49,4%), provavelmente pela alta concentração de lignina (17,1%).

Tabela 3 - Degradabilidade efetiva (DE), degradabilidade potencial (DP) e fração indegradável (FI) da matéria seca dos fenos de diferentes frações da parte aérea (terço superior – TS, sobras do plantio – SP e planta inteira – PI) de quatro variedades de mandioca

Variedades	DE			DP			FI		
				Frações da parte aérea					
	TS	SP	PI	TS	SP	PI	TS	SP	PI
Amarelinha	55,65	23,56	27,44	64,17	53,33	43,22	35,83	46,68	56,78
	Bb	Aa	Aa	Bb	Aa	Aa	Aa	Ab	Ab
Sabará	30,73	30,05	32,09	45,76	46,76	45,92	54,25	53,25	54,08
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Ba	Aa	Aa
Olho roxo	28,59	34,83	31,85	45,85	50,45	40,25	54,15	49,55	59,75
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Ba	Aa	Aa
Periquita	30,19	28,34	26,84	48,89	51,33	41,75	51,12	48,04	58,26
	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Aa	Ba	Aa	Aa
CV (%)	23,14			16,8			15,16		

Letras maiúsculas idênticas significam semelhança estatística em uma mesma coluna; letras minúsculas idênticas representam semelhança estatística em uma mesma linha. Pelo teste de Scott & Knott ao nível de 5% de significância. ¹CV – Coeficiente de variação.

Neste experimento, observou-se que para o potencial máximo de produção de gases (A) (Tabela 4), as variedades Amarelinha e Periquita, no feno do terço superior, foram superiores às demais variedades. Já nas frações sobras do plantio e planta inteira não houve diferenças entre variedades. Segundo Tomich *et al.* (2003), este parâmetro pode ser influenciado também pela relação propionato/acetato, resultante da fermentação de um alimento, podendo interferir no volume de gases, e resultar em maior ou menor produção de gases.

Tabela 4 - Potencial máximo de produção de gases (A) em mL/g de MS, tempo de colonização (L) em horas e taxa de produção de gases (μ) em mL/g de MS/h em 96 horas de incubação dos fenos de diferentes frações da parte aérea (terço superior – TS, sobras do plantio – SP e planta inteira – PI) de quatro variedades de mandioca

Variedades	A			L			μ		
				Frações da parte aérea					
	TS	SP	PI	TS	SP	PI	TS	SP	PI
Amarelinha	35,69	31,85	32,99	2,32	0,87	2,32	0,04	0,02	0,03
	Ba	Aa	Aa	Ab	Aa	Ab	Aa	Aa	Aa
Sabará	23,82	30,66	34,55	1,69	2,60	2,78	0,02	0,03	0,03
	Aa	Ab	Ab	Aa	Ba	Aa	Aa	Aa	Aa
Olho roxo	27,29	33,78	39,65	1,65	2,18	2,38	0,12	0,04	0,04
	Aa	Ab	Ab	Aa	Ba	Aa	Bb	Aa	Aa
Periquita	32,77	28,13	37,20	1,54	2,66	2,56	0,03	0,05	0,04
	Ba	Aa	Aa	Aa	Ba	Aa	Aa	Aa	Aa
CV (%)	16,91			36,77			85,74		

Letras maiúsculas idênticas significam semelhança estatística em uma mesma coluna; letras minúsculas idênticas representam semelhança estatística em uma mesma linha. Pelo teste de Scott & Knott ao nível de 5% de significância. ¹CV – Coeficiente de variação.

O tempo de colonização (L) oscilou de 0,87 a 2,66 horas (Tabela 4). Este parâmetro representa o tempo entre o início da incubação e a ação microbiana sobre a amostra testada. Nogueira *et al.* (2006) relataram que o tempo de colonização está relacionado com o teor de carboidratos solúveis das forrageiras. Nos fenos das sobras de plantio, as variedades Sabará, Olho Roxo e Periquita

apresentaram maiores tempos de colonização em relação a Amarelinha, enquanto que as frações terço superior e planta inteira não diferiram entre variedades. Um menor tempo de colonização poderia ser justificado pela maior concentração de substratos prontamente fermentáveis para a microbiota ruminal (RIBAS *et al.*, 2007).

As taxas de produção de gases (μ) variaram de 0,02 a 0,12 ml/h para a MS dos fenos (Tabela 4). O feno do terço superior da variedade Olho Roxo foi superior aos fenos das demais variedades ($p < 0,05$), o que poderia indicá-la como de melhor valor nutricional.

De acordo com Tomich *et al.* (2003), partindo do princípio que o gás produzido na fermentação reflete a degradação da amostra testada, a taxa e o potencial máximo de produção de gases são, provavelmente, as principais características para avaliar a qualidade de forrageiras pelas técnicas de produção de gases. Entretanto, segundo Pereira *et al.* (2005), forrageiras de melhor qualidade apresentam valores mais altos de degradabilidade potencial e elevadas taxas de degradação.

Sendo assim, o feno do terço superior da variedade Amarelinha, por apresentar melhores coeficientes de degradabilidade potencial e efetiva da matéria seca e maior potencial máximo de produção de gases, em relação às demais variedades, pode ser indicado como de melhor valor nutricional.

CONCLUSÕES

O feno terço superior da variedade Amarelinha apresenta maior degradabilidade ruminal da matéria seca e maior potencial máximo de produção de gases.

REFERENCIAS

ARAÚJO, M.J. *et al.* Consumo e digestibilidade dos nutrientes em cabras Moxotó recebendo dietas com diferentes níveis de maniçoba. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.6, p.1088-1095, 2009.

AZEVEDO, M. M. R. *et al.* Estimativa do Volume de Gases por Meio de Equação de Regressão para Implantação da Técnica *In Vitro* Semi-automática de Produção de Gases. **Revista Ciência e Produção Animal**. V. 10, n. 1, p 15-20, 2008.

BARROS, N. N.; SALVIANO, L. M. C.; KAWAS, J. R. Valor nutritivo de maniçoba para caprinos e ovinos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasília**, v. 25, n. 3, p. 387-392, 1990.

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

CARVALHO, G.G.P. *et al.* Degradabilidade ruminal do feno de alguns alimentos volumosos para ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 4, p. 575-580, 2006.

CARVALHO JÚNIOR, J.N. *et al.* Desempenho de ovinos mantidos com dietas com capim-elefante ensilado com diferentes aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.6, p.994 – 1000, 2009.

CRUZ, F. G.G.; FILHO, M.P.; CHAVES, F.A. de L.; Efeito da substituição do milho pela farinha da apara de mandioca em rações para poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.6, p.2303 – 2308, 2006.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEIREDO, M. P.; SOUZA, L.F.; FERREIRA, J.Q. Cinética da degradação ruminal da matéria seca da haste, da raiz, do feno da parte aérea e da silagem de raiz de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tratada com uréia. **Brazilian Journal of Veterinary Research Animal Science**, v.43, n.1 p.11-17, 2006.

FRANCE, J. *et al.* A model to interpret gas accumulation profiles associated with in vitro degradation of ruminant feeds. **Journal of Theoretical Biology**, v. 163, n. 1, p. 99-111, 1993.

MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S.; A semi-automated in vitro gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science Technology**, v.79, p.321-330, 1999.

MEHREZ, A.Z.; ORSKOV, E.R. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v.88, p.645-650, 1977.

MODESTO, E.C. *et al.* Caracterização químicobromatológica da silagem do terço superior da rama de mandioca. **Acta Scientiarum Animal Science**, v.26, n.1, p.137-146, 2004.

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.

NUNES IRMÃO, J. *et al.* Composição química do feno da parte aérea da mandioca em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, n.1, p.158-169, 2008.

OLIVEIRA, J.B. *et al.* Capim-elefante ensilado com casca de café, farelo de cacau ou farelo de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p. 34–39, 2009.

ØRSKOV, E. R.; MCDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen 31 from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of 32 Agricultural Science**, v.92, p.499-503, 1979.

PEREIRA, L. G. R. *et al.* Avaliação das silagens de girassol (híbrido m734) obtidas em diferentes épocas de ensilagem pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. **Brazilian Journal of Veterinary Research Animal Science**, v.42, n.4, São Paulo, 2005.

RIBAS, M. N.; GONÇALVES, L. C.; MAURÍCIO, R. M. Degradabilidade e cinética de fermentação ruminal das silagens de quatro híbridos de milho, avaliadas pela técnica *in vitro* semi automática de produção de gases. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 2, p. 223-233, 2007.

SAS INSTITUTE, 2000 STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. SAS. **User's Guide**: statistics. Version 8.0. 1 Cary: 1999.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 165p.

THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; 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.

TOMICH, T.R. *et al.* Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal de híbridos de sorgo com capim-sudão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, n. 6, p. 747-755, 2003.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

VAN SOEST, P.J. 1994. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University Press. 476p.

VELÁSQUEZ, P. A. T. *et al.* Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade *in vitro* de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.6, p.1206-1213, 2010.