

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Bruna Cardoso Braga

**PARÂMETROS DA FERMENTAÇÃO *IN VITRO* DE ALGUNS ALIMENTOS
AMILÁCEOS E FIBROSOS ORIGINÁRIOS DA AGROINDÚSTRIA**

Diamantina

2020

Bruna Cardoso Braga

**PARÂMETROS DA FERMENTAÇÃO *IN VITRO* DE ALGUNS ALIMENTOS
AMILÁCEOS E FIBROSOS ORIGINÁRIOS DA AGROINDÚSTRIA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Fernando de Paula Leonel

Coorientador: Severino Delmar Junqueira Villela

Diamantina

2020

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B813p

Braga, Bruna Cardoso

Parâmetros da fermentação *in vitro* de alguns alimentos amiláceos e fibrosos originários da agroindústria / Bruna Cardoso Braga, 2020.
54 p.: il.

Orientador: Fernando de Paula Leonel

Dissertação (Mestrado– Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

1. Amido de batata. 2. Amido de mandioca. 3. Briquetagem. 4. Palhada de braquiaria. 5. Processamento de palhada. 6. Produção de gás *in vitro*. I. Leonel, Fernando de Paula. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 636.420852

BRUNÁ CARDOSO BRAGA

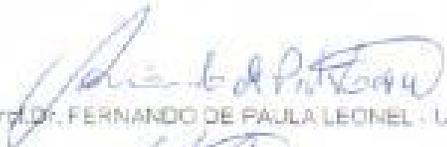
**PARÂMETROS DA FERMENTAÇÃO IN VITRO DE ALGUNS ALIMENTOS
AMILÁCEOS E FIBROSOS ORIGINÁRIOS DA AGROINDÚSTRIA**

Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM ZOOTECNIA, nível
de MESTRADO como parte dos
requisitos para obtenção do título de
MESTRA EM ZOOTECNIA

Orientador (a): Prof. Dr. Fernando De
Paula Leonel

Co-orientador: Prof. Dr. Severino
Delmar Junqueira Villela

Data de aprovação : 28/02/2020


Prof. Dr. FERNANDO DE PAULA LEONEL - UFVJM


Prof. Dr. SEVERINO DELMAR JUNQUEIRA VILLELA - UFVJM


Prof. Dr. RICARDO AUGUSTO MENDONÇA VIEIRA - UENF



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
DIAMANTINA – MINAS GERAIS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



ATESTADO DE DEFESA POR VIDEOCONFERÊNCIA

Atesto para os devidos fins que no dia 28 de fevereiro de 2020, às 9h, nas dependências da UFVJM em Diamantina, foi realizada a defesa de dissertação/tese da discente **Bruna Cardoso Braga** com o trabalho intitulado **"PARÂMETROS DA FERMENTAÇÃO IN VITRO DE ALGUNS ALIMENTOS AMILÁCEOS E FIBROSOS ORIGINÁRIOS DA AGROINDÚSTRIA"**, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia.

Na qualidade de presidente da banca, atesto que o Prof. Dr. Ricardo Augusto Mendonça Vieira (docente do Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF), participou através de videoconferência.

Em virtude da participação remota do membro da banca acima indicado, eu, **Fernando de Paula Leonel**, enquanto servidor público, no gozo de fé pública, assino no lugar desse na Ata de Defesa e na Folha de Aprovação da referida defesa.

Por ser verdade, dou fé e assino o presente atestado.

Diamantina, 28 de fevereiro de 2020.

Fernando de Paula Leonel
Presidente da Banca

À Deus, pela saúde e pela força concedida para realização deste trabalho;
À minha mãe, Alessandra, pelo incentivo, amor e por ser um exemplo em minha vida;
Ao meu irmão, Filipe, pelo carinho, amor e companheirismo;
Aos meus amigos e família, por me apoiar em todo o caminho e não me deixar fraquejar.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me conceder a graça de realizar este mestrado.

À minha família por estar sempre ao meu lado me apoiando e incentivando;

À Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), pela oportunidade de realização do curso, pela estrutura e apoio.

Ao professor de Fernando de Paula Leonel, pela orientação, apoio, confiança e sabedoria dedicados à realização deste trabalho.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) e ao Professor Ricardo Augusto Mendonça Vieira, pela oportunidade de fazer o experimento e as análises laboratoriais no Laboratório de Zootecnia (LZO).

Aos alunos de pós-graduação e graduação da UENF, Laila, Jhone, Marcos, Isabela, Débora, Matheus, Davi, Pablo, por me auxiliar no experimento e nas análises laboratoriais, pelo apoio e colaboração..

Aos membros da banca Severino Delmar Junqueira Vilela e Ricardo Augusto Mendonça Vieira, pelos ensinamentos e atenção dispensada em todos os momentos.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O aproveitamento de resíduos da agricultura deve ser considerado entre as alternativas para aumentar a produção animal. Uma alternativa ecologicamente correta para o destino destes resíduos é alimentação de ruminantes. Nesse cenário, destaca-se que o produção de 2,8 milhões de toneladas de palhada por ano da colheita de sementes de forrageiras tropicais. Para resolver o problema da baixa qualidade e densidade da palhada, está sendo desenvolvido um tratamento denominado briquetagem. A palhada de braquiária é moída e posteriormente, passa por este processo que consiste na evolução contínua do material em tubos metálicos sob pressão, o que promove aumento da temperatura no material. Este tratamento aumenta consideravelmente a densidade do material e, em teoria, pode promover alguma desestabilização da matriz lignocelulósica desta forragem. O uso de subprodutos para substituir os concentrados energéticos tradicionais nas dietas vêm aumentando com o objetivo de diminuir os custos de produção. Subprodutos amiláceos da produção de mandioca e batata são fontes energéticas alternativas com potencial de utilização na dieta de ruminantes devido seu alto teor de amido. Buscou-se com esse trabalho comparar a cinética de degradação de alguns alimentos fibrosos e amiláceos, residuais da atividade agroindustrial. Para o estudo da cinética de degradação de alimentos foi utilizada a técnica *in vitro* de produção cumulativa de gases da fermentação. Os alimentos estudados foram feno de palhada de braquiária na forma natural (FPB) e feno de palhada de braquiária processado (FPBP); subprodutos amiláceo do processamento de batata (SPB) e o amido de mandioca (AM) comercial (polvilho ou fécula). O FPB e o AM compuseram uma dieta (DFPB-AM) e o FPBP e SPB a outra dieta (DFPBP-SPB). No ajuste dos perfis de produção acumulada de gases, foi utilizada a função do modelo bicompartimental composto pelos modelos monomolecular e GNG1. Os incrementos no valor de N até 3 proporcionou ajuste mais verossímil do modelo (Monomolecular-G3G1) aos dados de produção acumulada de gases, tanto para as dietas quanto para os alimentos. Os volumes de gás acumulado produzidos foram de 39,82 (SPB); 37,74 (AM); 29,17 (DFPBP-SPB); 27,35 (DFPB-AM); 24,51 (FPBP) e 23,04 (FPB) mL/0,1g MS. A DFPB-AM apresenta uma maior taxa de degradação da fração rapidamente degradável (k_1), assim como os alimentos que a compõe, demonstrando que a fração rapidamente degradável destes alimentos (FPB e AM) é maior quando comparado ao demais alimentos. Já a taxa de degradação da fração lentamente degradável (\hat{k}) é maior na DFPBP-SPB, provavelmente devido ao FPBP que apresentou maior taxa de degradação dessa fração do que a FPB. O processamento do feno de palhada de braquiária foi eficiente em aumentar a persistência da fermentação *in vitro* desse

material de forma isolada ou em associação com fontes amiláceas, seja esse amido proveniente da lavagem da batata ou amido de mandioca.

Palavras chave: Amido de batata. Amido de mandioca. Briquetagem. Palhada de braquiaria. Processamento de palhada. Produção de gás in vitro.

ABSTRACT

The use of agricultural residues must be considered among the alternatives to increase animal production. An ecologically correct alternative for the destination of this waste is feeding ruminants. In this scenario, it stands out that the production of 2.8 million tons of straw per year of the harvest of tropical forage seeds. To solve the problem of low straw quality and density, a treatment called briquetting is being developed. The bakery straw is ground and then goes through this process that consists of the continuous evolution of the material in metal tubes under pressure, which promotes food temperature in the material. This treatment considerably increases the density of the material and, in theory, may promote some destabilization of the lignocellulosic matrix of this forage. The use of by-products to replace traditional energy concentrates in diets has been increasing with the aim of reducing production costs. Starchy by-products from cassava and potato production are alternative energy sources with potential use in the ruminant diet due to their high starch content. This work sought to compare the degradation kinetics of some fibrous and starchy foods, residuals of agroindustrial activity. In order to study the kinetics of food degradation, the *in vitro* technique of cumulative production of fermentation gases was used. The studied foodstuffs were brachiaria straw hay in the natural form (FPB) and processed straw from the barber shop (FPBP); starchy by-products from potato processing (SPB) and commercial cassava starch (AM) (starch or starch). The FPB and AM comprised one diet (DFPB-AM) and the FPBP and SPB the other diet (DFPBP-SPB). In adjusting the profiles of accumulated gas production, the function of the bicompartamental model composed of the monomolecular and GNG1 models was used. The increments in the value of N up to 3 provided a more credible adjustment of the model (Monomolecular-G3G1) to the accumulated gas production data, both for diets and for food. The accumulated gas volumes produced were 39.82 (SPB); 37.74 (AM); 29.17 (DFPBP-SPB); 27.35 (DFPB-AM); 24.51 (FPBP) and 23.04 (FPB) mL / 0.1 g MS. DFPB-AM has a higher rate of degradation of the rapidly degradable fraction (k_1), as well as the foods that compose it, demonstrating that the rapidly degradable fraction of these foods (FPB and AM) is higher when compared to other foods. The rate of degradation of the slowly degradable fraction (\hat{k}) is higher in the DFPBP-SPB, probably due to the FPBP which showed a higher rate of degradation of this fraction than the FPB. The processing of straw from hay from strawberries was efficient in increasing the persistence of *in vitro* fermentation of this material in isolation or in association with starchy sources, whether this starch comes from washing the potato or cassava starch.

Keywords: Potato starch. Cassava starch. Briquetting. Brachiaria straw. Straw processing. In vitro gas production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Palhada residual da colheita de sementes processada por meio da briquetagem...	24
Figura 2 – Curvas sigmóide do acumulo do volume de gás produzido.....	43
Figura 3 – Produção de gás durante as 96 horas de incubação dos alimentos fibrosos (A), amiláceos (B) e das dietas (C).....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição das dietas experimentais (g/Kg MS ⁻¹).....	38
Tabela 2 – Composição bromatológica dos ingredientes e das dietas (g/Kg MS ⁻¹).....	39
Tabela 3 – Escolha dos melhores modelos, efeito aleatório e variância para descrição da produção cumulativa de gás das duas dietas.....	42
Tabela 4 – Parâmetros estimados, através do modelo monomolecular-G3G1, dos melhores modelos para as dietas e os alimentos de sua composição.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 PALHADA DE BRAQUIARIA RESIDUAL DA COLHEITA DE SEMENTES.....	19
<i>2.1.1 Produção de sementes de forrageiras tropicais.....</i>	<i>19</i>
<i>2.1.2 Palhada residual da colheita de sementes</i>	<i>20</i>
<i>2.1.3 A palhada na nutrição de ruminantes.....</i>	<i>22</i>
<i>2.1.4 Tratamento da palhada residual: Processo de briquetagem.....</i>	<i>23</i>
2.2 RESÍDUOS AMILÁCEOS DA AGROINDÚSTRIA.....	24
<i>2.2.1 Particularidades sobre o amido de tubérculos.....</i>	<i>25</i>
<i>2.2.2 Produção de Mandioca e seus Subprodutos.....</i>	<i>27</i>
<i>2.2.3 Produção de Batatas e seus Subprodutos.....</i>	<i>30</i>
<i>2.2.4 Utilização de subprodutos amiláceos da mandioca e batata na nutrição de ruminantes</i>	<i>31</i>
2.3 TÉCNICA IN VITRO DE PRODUÇÃO CUMULATIVA DE GASES.....	34
<i>2.3.1 Técnicas utilizadas para prever a degradabilidade dos alimentos.....</i>	<i>34</i>
<i>2.3.2 Técnica in vitro de produção cumulativa de gases</i>	<i>35</i>
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ESTIMAÇÃO DO VALOR NUTRICIONAL	
38	
3.2 PRODUÇÃO CUMULATIVA DOS GASES.....	39
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
4 RESULTADOS	42
5 DISCUSSÃO	46
6 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A alimentação dos animais é o principal fator que influencia diretamente a sustentabilidade na bovinocultura, tanto de corte como a leiteira. O manejo alimentar adequado, associado ao uso de sistemas intensivos e alternativos de produção e a utilização alimentos de bom valor nutricional e de baixo custo, está entre as estratégias nutricionais para aumentar a produção animal, principalmente na época seca do ano, e tornar a economia eficiente. Os ruminantes, através de sua microbiota, têm a capacidade de transformar resíduos vegetais em nutrientes no rúmen. Sendo assim, o aproveitamento de resíduos da agricultura deve ser considerado entre os alimentos de baixo custo com potencial de serem utilizados na alimentação de ruminantes.

A maior dificuldade na produção de ruminantes está no período de estiagem em função da estacionalidade das forrageiras, acarretando em alterações que, de forma geral, não atendem a quantidade alimentar e a qualidade nutricional requerida pelo animal. Por outro lado, deve-se considerar a geração de grandes quantidades de resíduo nas atividades agropecuária e agroindustrial. Nesse cenário, destaca-se que a produção de 2,8 milhões de toneladas de palhada por ano (composta por restos de folhas, talos e inflorescências) da colheita de sementes de forrageiras tropicais (CATUCHI et al., 2017).

A permanência deste resíduo no campo após a colheita das sementes, passa a ser um transtorno para os produtores, pois vai causar vários problemas para a produção do ano seguinte, como impedir o rebrote das plantas que permanecerem sob este material. Assim, é grande o interesse dos produtores em encontrar rapidamente alternativas econômicas de uso ou de descarte da palhada. Uma alternativa ecologicamente correta para o destino desta palhada, é alimentação de ruminantes, sendo o resíduo fornecido na forma de feno. Porém, seu uso é limitado por sua baixa qualidade nutricional.

A baixa densidade da palhada, também, configura-se num problema de logística de transporte e de armazenamento do material. Contudo, um processo industrial denominado briquetagem, que consiste em tratamento com temperatura e pressão, após a moagem previa da palhada, está sendo desenvolvido para solucionar estes problemas. Este tratamento, através de temperatura e pressão, aumenta consideravelmente a densidade do material e o transforma em um material prensado que, por sua vez, diminui consideravelmente o espaço utilizado para o transporte e o armazenamento. Além disso, este processo pode promover alguma

desestabilização da matriz lignocelulósica do material que, em teoria, poderia aumentar a cinética de trânsito e degradação ruminal da fibra.

Como os carboidratos são a principal fonte de energia para os microrganismos ruminais e, conseqüentemente, para o animal, alternativas para a redução dos custos de concentrados energéticos tradicionais, têm sido alvo de estudos para conferir maior competitividade e sustentabilidade ao setor pecuário. Subprodutos amiláceos da produção de mandioca e batata podem constituir importantes alternativas para a alimentação de ruminantes, especialmente em substituição parcial ou totalmente o milho, ingrediente bastante oneroso nas dietas. Porém ainda são escassos os estudos de caracterização desses subprodutos como alimentos para animais ruminantes.

Para caracterização e credenciação de qualquer alimento, subproduto ou não, para alimentação de ruminantes, deve-se estudar a composição química, cinéticas de fermentação e de degradabilidade. O conhecimento dessas variáveis dos alimentos é fundamental para a formulação de dietas balanceadas, que possibilite aos animais expressarem o máximo do seu potencial produtivo. Todavia, tanto para a palhada de colheita de sementes processada, quanto para o resíduo amiláceo, oriundo do processamento de batata, não existem estudos relacionados à cinética de fermentação ruminal.

Dentre as formas de se avaliar a degradabilidade e cinética de fermentação ruminal, o método de produção de gás *in vitro*, descrito por Theodorou et al. (1994), vem sendo utilizado por apresentar resultados satisfatórios, por ser uma técnica de baixo custo e obter resultados mais rápidos quando comparado ao método *in vivo*. A técnica de produção de gás fornece uma expectativa do potencial de degradação da matéria seca dos alimentos. E ainda, utilizando-se a modelagem matemática, a partir dos resultados obtidos, pode se ter uma boa estimativa dos processos cinéticos da degradação.

Buscou-se com esse trabalho caracterizar a cinética de degradação de alguns alimentos fibrosos e amiláceos, residuais da atividade agroindustrial, através da técnica de produção cumulativa de gás *in vitro*. Os resíduos estudados foram o feno de palhada de braquiaria, resíduo da colheita de semente na forma natural e processada e subprodutos amiláceos do processamento de mandioca e batata.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PALHADA DE BRAQUIARIA RESIDUAL DA COLHEITA DE SEMENTES

2.1.1 *Produção de sementes de forrageiras tropicais*

Em muitos países, em especial no Brasil, as pastagens cultivadas são a base da alimentação dos rebanhos produtores de carne e de leite. No Brasil, existem aproximadamente 172 milhões de hectares de pastagens cultivadas (TIMBÓ et al., 2014). A rapidez e a amplitude da expansão de áreas cultivadas com pastagens tropicais estão associadas à disponibilidade de sementes, que, por essa razão, constitui fator estratégico e condicionante da produção de carne e de leite.

A grande popularidade do capim-braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), do capim-braquiária (*B. decumbens* cv. Basilisk), do capim- tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) e de muitos outros capins, em grande parte, pode ser atribuída à ampla disponibilidade de sementes de boa qualidade. Cerca de 90% dos campos são destinados à produção de sementes de três espécies e suas respectivas cultivares (*Brachiaria brizantha* cvs. Marandu e Xaraés, *B. decumbens* cv. Basilisk, e *Panicum maximum* cvs. Tanzânia, Mombaça e Massai). Estima-se que 60% da produção de sementes de gramíneas forrageiras do Brasil seja de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf., possivelmente devido a sua excelente adaptação edafoclimática e fácil estabelecimento (BELING, 2016).

A existência de condições edafoclimáticas favoráveis à produção de sementes, a presença de empresariado dinâmico e a disponibilidade de cultivares adaptadas a ampla gama de condições ambientais fizeram do Brasil o maior produtor, consumidor e exportador de sementes de plantas forrageiras tropicais no mundo. O valor total desse mercado, que envolve aproximadamente de 324.223 toneladas por ano, ultrapassa 250 milhões de dólares, dos quais cerca de 10% é representado pelo mercado de exportação para mais de 20 países (ABRASEN, 2018). Segundo Batello et al. (2017), a demanda por sementes de gramíneas forrageiras tropicais aumentará nos próximos anos devido à exportação para a África, Austrália e América Latina, principalmente para uso em sistemas integrados de restauração de pastagens e pecuária.

As sementes de pastagens tropicais no Brasil deixaram de ser subproduto de áreas

de pastagens temporariamente vedadas a animais e hoje resultam de sistemas agrícolas especializados, que incluem tratos culturais e equipamentos específicos, nos quais a semente é o produto principal. As plantas forrageiras tropicais foram selecionadas, primordialmente, para a produção de folhas sob pastejo. Florescimento intenso e concentrado, que facilitaria a obtenção de alta produtividade de sementes, comprometeria a produção e a qualidade da forragem, uma vez que, os talos florais são mais lignificados e menos digestíveis do que as lâminas foliares, portanto menos nutritivos para ruminantes, e sua produção implicaria a interrupção, mesmo que temporária, da produção de folhas (SOUZA & SILVEIRA, 2003).

Por essas razões, o "índice de colheita", definido como a quantidade de matéria seca de sementes em relação à quantidade total de matéria seca produzida pela parte aérea da planta, é muito baixo entre as forrageiras tropicais. Enquanto, algumas cultivares modernas de arroz, por exemplo, apresentam índices de colheita de 0,5, nas forrageiras tropicais, esse índice varia entre meros 0,005 e 0,1 (HACKER, 1999). Essa característica tem reflexos técnicos e econômicos importantes na produção comercial desse tipo de semente.

O "método da varredura" é o mais popular método de colheita de sementes de capins tropicais no Brasil. Essas sementes, geralmente, apresentam melhor qualidade fisiológica e maior longevidade, quando comparadas a sementes colhidas, por exemplo, com colhedoras automotrizas; por essas razões, são preferidas pelos pecuaristas. Este método consiste em resgatar as sementes caídas das inflorescências e acumuladas na superfície do solo. Trata-se de um método de grande eficiência de colheita pelo fato de possibilitar a recuperação da maior parte das sementes produzidas (> 90%) (SOUZA, 2001).

2.1.2 Palhada residual da colheita de sementes

Uma consequência importante da popularização do método de colheita de sementes de capim por varredura foi o aumento considerável, nas regiões produtoras, de "palhada residual", isto é, dos resíduos vegetais que sobram da colheita de sementes (restos de folhas, talos e inflorescências). A quantidade é grande, considerando-se que os campos de produção de sementes de gramíneas forrageiras tropicais ocupam área equivalente a 140.000 ha por ano, nos quais se acumulam, em média, 20 toneladas de palhada. Assim, estima-se que, anualmente, 2,8 milhões de toneladas desse material lignocelulósico sejam descartadas no Brasil (CATUCHI et al., 2017).

O "método da varredura" requer corte rente ao solo e remoção das plantas após

finalização do longo ciclo reprodutivo e da queda das sementes das inflorescência, de forma a expor para a colheita as sementes acumuladas sobre a superfície do solo. As plantas cortadas são enleiradas com ancinho tracionado por trator. O período de colheita se estende por aproximadamente 100 dias na época seca do ano (final de maio a setembro) e, no seu final, a palhada apresenta-se enleirada nos campos de produção (SOUZA & SILVEIRA, 2003).

A permanência da palhada nos campos de produção de sementes resulta em vários problemas: 1) as sementes acumuladas sobre a superfície do solo ficam cobertas pelas leiras e só podem ser colhidas se forem expostas, portanto é preciso movimentar as leiras para os lados, ou seja, uma operação adicional, que demanda tempo e representa custos; 2) o rebrote será inibido nas plantas que permanecerem sob as leiras; 3) resíduos resultantes de decomposição parcial da palhada acumulados sobre a superfície do solo, aumentam a quantidade de impurezas a ser processada pelo equipamento de colheita por varredura (CATUCHI et al., 2017).

Por conseguinte, se este resíduo de palhada não for retirado de alguma forma, a realização de mais de uma safra no mesmo campo de produção é inviável. Sua remoção no final da colheita, a cada ano, pode possibilitar a produção de sementes por um ou mais anos adicionais no mesmo campo. Essa possibilidade tem grande impacto sobre o valor do produto final, uma vez que os custos de produção de sementes são menores em áreas que possibilitam colheitas consecutivas (SOUZA, 2001).

Os problemas relatados justificam a necessidade de remoção da palhada após a conclusão da colheita. Faltam, no entanto, alternativas práticas e econômicas para isso. Para que possam colher mais de uma safra no mesmo campo de produção, muitos produtores têm recorrido à queima da palhada. Esse procedimento contribui para a poluição atmosférica e, às vezes, resulta em queimadas acidentais de áreas adjacentes, pois nem sempre é feito de acordo com a legislação ambiental (SOUZA & CARDOSO, 2003).

Sendo assim, é grande o interesse dos produtores em encontrar rapidamente alternativas econômicas de uso ou de descarte da palhada. Porém, é importante ressaltar que, mais do que um problema, a palhada pode representar oportunidade de obtenção de renda, ou seja, a palhada pode deixar de ser um problema e, se tornar uma grande oportunidade. O uso desse material na alimentação animal é uma forma aparentemente óbvia de utilização, porém, devido sua baixa qualidade nutricional, tem ocorrido de forma apenas esporádica (SOUZA & CARDOSO, 2003).

2.1.3 A palhada na nutrição de ruminantes

Os ruminantes ocupam posição de destaque como fornecedores de alimentos de ótimo valor nutritivo para alimentação humana, tais como a carne e o leite, além de fornecerem lã e couro, entre outros produtos. Apesar da sua grande importância econômica para o Brasil, a produtividade do setor pecuário varia ao longo do ano, em decorrência do problema de estacionalidade das pastagens, pois há redução na oferta de forragem na época da seca. Uma alternativa para evitar flutuações no abastecimento de carne e de leite ao longo do ano é a utilização de alimentos de baixo custo para os ruminantes na época da seca.

As palhadas têm potencial para serem utilizadas como volumoso na época da escassez de forragens. A principal limitação para o uso de palhada, é seu baixo valor nutritivo. Portanto, quando são fornecidas como único alimento aos ruminantes, não permitem que o animal atinja consumo suficiente de matéria seca, proteína e energia digestível para sua manutenção (OLIVEIRA, 2011). Portanto, atenção especial é necessária no balanceamento das dietas que envolvem palhadas, devido ao elevado teor de parede celular, além de baixos teores de proteína bruta e minerais.

A proteína bruta total presente nos alimentos fibrosos de baixa qualidade, além de estar em quantidade abaixo do mínimo para a fermentação adequada dos componentes da dieta, é de baixo aproveitamento pelos microrganismos do rúmen. As palhadas apresentam também baixos teores de fósforo e de enxofre, dois nutrientes imprescindíveis à fermentação microbiana rúmen. Também são baixos os teores de sódio e dos microelementos cobre e zinco (CRUZ, 1992). Portanto, é imprescindível suplementar esses nutrientes, para que os animais apresentem desempenho adequado.

É importante lembrar que a maioria das espécies de bactérias digestoras de celulose são dependentes da presença de amônia no rúmen para seu desenvolvimento. A amônia é o composto principal para a síntese de proteína microbiana no rúmen e, como suplemento alimentar, pode ser originária tanto de fontes de proteína quanto de fontes de nitrogênio não proteico, como a ureia. Kellaway & Leibholz (1983) realizaram trabalhos na Austrália relativos aos efeitos dos suplementos nitrogenados sobre o consumo e a utilização de forragens de baixa qualidade, e mostraram que, a necessidade de nitrogênio degradável no rúmen para síntese de proteína microbiana pode ser totalmente suprida com fontes de nitrogênio não proteico, como a ureia. Portanto, a utilização de compostos nitrogenados não proteicos, tal como a ureia, representa uma alternativa para atender parte das exigências de proteína dos bovinos, a custo reduzido (RODRIGUES, 2002).

Experimentos realizados em diversos lugares nos Estados Unidos, mostrou média de aumento de 22% no consumo de forragens amonizadas (BERGER et al., 1994). Segundo Kunkle (1989), aumento de 10,7% na digestibilidade e aumento de 22% no consumo resulta em aproximadamente 50% de aumento calculado em ingestão de energia digestível. Em nove experimentos conduzidos com bovinos em crescimento, verificou-se que os animais que receberam forragens tratadas com amônia ganharam 163 gramas/dia a mais do que aqueles animais que receberam palha não tratada. Em oito ensaios com vacas gestantes, os fenos e as palhas tratados proporcionaram acréscimo de ganho diário de 313 gramas em relação àquele de animais que receberam forragens não tratadas (KUNKLE, 1989).

Existe estreita dependência entre o uso da ureia pelos microrganismos do rúmen e o conteúdo de energia digestível da dieta, até porque os carboidratos são a principal fonte de energia para a síntese de proteína microbiana. Assim, a eficiência da utilização de ureia será maior em dietas com baixo nível de nitrogênio e que contenham altos níveis de energia, minerais e outros componentes necessários ao crescimento microbiano (RODRIGUES, 2003).

2.1.4 Tratamento da palhada residual: Processo de briquetagem

O tratamento da palhada residual da produção de sementes de capim pode ser feito com dois objetivos: aumentar a digestibilidade e o consumo de matéria seca dessa palhada pelos animais por meio da deslignificação, ou seja, o desdobramento da lignocelulose. Diversos tratamentos físicos e químicos para vários tipos de palhadas têm sido propostos na Europa, nos Estados Unidos, na China e também no Brasil. Os principais tratamentos físicos são a moagem e o tratamento com vapor sob pressão. A moagem é feita em moinhos de martelos ou de bolas e seu efeito é simplesmente o de aumentar o consumo, sem aumento da digestibilidade do material moído (SOUZA, 2001). O transporte das palhadas até o local de tratamento ou de armazenamento é outro fator que aumenta o custo, em decorrência da baixa densidade do material (SOUZA & CARDOSO, 2003).

A briquetagem consiste num processamento industrial para o tratamento da palhada residual da colheita de sementes por meio de temperatura e pressão, após moagem prévia do material. Esse processo de briquetagem consiste na evolução contínua do material moído em tubos metálicos sob pressão, o que promove aumento da temperatura no material. Todavia a temperatura não alcança valores próximos àquele do ponto ignição espontânea durante o processo.

O processo foi realizado inicialmente para utilização da palhada residual como combustível para caldeiras. O aumento considerável da densidade deste resíduo o transforma em um material prensado denominado de “briquetes”, e conhecido comercialmente como briqfeno (Figura 1). Após o processamento, o custo com transporte e armazenamento é menor por diminuir o espaço utilizado em comparação com o resíduo na forma natural, que possui baixa densidade.



Figura 1 - Palhada residual da colheita de sementes processada por meio da briquetagem.

Considerando que o material tenha potencial para utilização na alimentação de ruminantes, esse processo, em tese, pode promover alguma desestabilização da matriz lignocelulósica do material. Isso em função da elevação da pressão e temperatura durante o processo industrial. Essa possível desestabilização poderia aumentar a cinética de trânsito e degradação ruminal da fibra, o que configura uma hipótese a ser estudada nesse trabalho. É importante esclarecer que ainda não se tem nenhum estudo utilizando esse material como alimento para ruminantes, portanto, não existe nenhum dado sobre a composição bromatológica e degradabilidade desse material.

2.2 RESÍDUOS AMILÁCEOS DA AGROINDÚSTRIA

A utilização de subprodutos na alimentação dos animais pode eliminar um problema de poluição substancial para a indústria e proporcionar um alimento que possa ser benéfico à produção de ruminantes (PEN et al., 2006), sendo que, se não for utilizado, apresenta um grande custo de tratamento dos resíduos (NKOSI & MEESKE, 2010).

Subprodutos da produção de mandioca e batata constituem uma importante alternativa para a alimentação de ruminantes. Eles apresentam potencial para substituir parcial ou totalmente o milho nas rações sem que isso implique no comprometimento do desempenho animal devido ao alto teor de amido presente nestes subprodutos. Porém, fatores como o custo de aquisição, transporte, armazenamento, manipulação e fornecimento devem ser levados em consideração quando se contempla o uso, não só destes, mas como de todo subproduto utilizado em uma ração.

2.2.1 Particularidades sobre o amido de tubérculos

O amido é composto de átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio em uma relação 6:10:5 ($C_6H_{10}O_5$)_n, sendo um polímero de moléculas de glicose, ligadas por meio de ligações glicosídicas. Apresenta em sua composição dois tipos principais de moléculas, amilose e amilopectina podendo (SWINKELS, 1985).

A amilose é um polímero linear de D-glicose unidas por meio de ligações α 1-4, existindo na forma de hélice. A proporção de amilose no amido varia de 0 a 80% dependendo da espécie e das variações genéticas dentro da espécie. O milho, sorgo, trigo e os demais cereais contêm na composição da molécula de amido uma maior quantidade de amilose (cerca de 28%) em relação ao amido de raízes e tubérculos (mandioca, batata). As moléculas de amilose da mandioca e batata apresentam um peso molecular substancialmente mais elevado que o milho e o trigo, sendo que enquanto as moléculas de amilose da batata apresentam de 1000 a 6000 unidades de glicose, a amilose do milho apresenta de 200 a 1200 moléculas de glicose (ROONEY & PFLUGFELDER, 1986).

A amilopectina é um polímero ramificado, com maior peso molecular e geralmente mais abundante na composição das moléculas de amido em relação a amilose. Sua composição consiste em cadeias lineares de glicose com 10 a 60 unidades ligadas por ligações glicosídicas α 1-4, apresentando ramificações por meio de ligações α 1-6 em média a cada 20 ou 25 unidades de glicose. A amilopectina compõe de 70 a 80% do amido dos cereais e até 85% do amido em raízes (ROONEY & PFLUGFELDER, 1986).

As moléculas de amilose e amilopectina do amido são mantidas juntas pela formação de pontes de hidrogênio entre os grupamentos hidroxila das unidades de glicose, apresentando assim insolubilidade em água fria. Apesar das pontes de hidrogênio serem fracas, existe uma quantidade enorme de pontes em uma molécula de amido, acarretando esta insolubilidade. Contudo, os grânulos de amido apresentam a capacidade de se dilatar de forma

reversível (10 a 15% de aumento no diâmetro) na água fria, retornando ao estado original após a secagem. O grânulo de amido de raízes e tubérculos apresenta uma maior capacidade de expansão na água que o amido dos cereais (RANGEL et al., 2008).

A estrutura dos grânulos de amido apresenta duas áreas distintas. A primeira apresenta uma estrutura organizada, sendo denominada região cristalina; enquanto a segunda, conhecida como região amorfa é relativamente desorganizada. A região cristalina ou micelar é primeiramente composta de amilopectina, sendo esta a principal responsável pela organização desta área. A área cristalina apresenta uma maior resistência à entrada de água e conseqüentemente a atividade enzimática. A região amorfa é rica em amilose e menos densa que a área cristalina (SWINKELS, 1985).

Devido a menor densidade, a água se move livremente através desta região e a atividade hidrolítica das amilases em geral se inicia nesta área. Desta forma, aparentemente uma maior proporção de amilose na molécula de amido proporcionaria uma melhor atividade hidrolítica. Contudo o que ocorre na realidade é uma diminuição na hidrólise do amido e conseqüentemente da digestibilidade de fontes de amido com maior teor de amilose, devido a maior formação de pontes de hidrogênio (ROONEY & PFLUGFELDER, 1986).

A maior capacidade de expansão do amido dos tubérculos em relação ao amido dos cereais, em especial ao do milho, pode estar relacionada a menor quantidade de amilose, ao fato da amilose estar presente apenas na região amorfa (formando menos pontes de hidrogênio com a amilopectina) e a menor formação de complexos lipídio-amilose. Esta característica do amido dos tubérculos explica sua maior digestibilidade quando comparada com o amido do milho e sorgo (RANGEL et al., 2008).

Os grânulos de amido se distribuem de forma diferente nos diversos grãos, variando com o cereal e com as diversas variedades. De forma geral, o grão é composto por três camadas distintas: pericarpo, endosperma e endosperma farináceo. O pericarpo corresponde à superfície protetora que envolve o grão, servindo como uma barreira, impedindo inclusive a atividade de enzimas hidrolíticas, caso a mesma não seja rompida pela mastigação ou por processamentos, sendo seu teor de amido muito pequeno (RANGEL et al., 2008).

O endosperma corresponde a uma estrutura de reserva contendo a maior parte do amido, sendo dividido em diversas camadas. O endosperma periférico e o córneo contêm grânulos de amido envoltos por uma matriz, composta principalmente por proteína e carboidratos não-amiláceos, relativamente impermeáveis à água e à atividade enzimática. Finalmente, o endosperma farináceo é aquele que se encontra mais próximo ao embrião,

sendo constituído praticamente de grânulos de amido, encontrados em grande densidade, sendo altamente susceptível a atividade enzimática (KOTARSKI et al., 1992).

O conhecimento dos valores de degradabilidade efetiva do amido, obtido através da técnica de degradabilidade *in situ* é de grande importância devido à necessidade de se determinar as relações de sincronização no rúmen entre as fontes energéticas ricas em amido e as fontes proteicas, de forma a maximizar a eficiência microbiana. O amido da mandioca apresenta maior degradabilidade efetiva em relação ao do milho e do sorgo, devido à inexistência de pericarpo, endosperma córneo e periférico, matriz protéica e possivelmente devido a uma menor proporção de amilose e lipídios nos grânulos de amido, diminuindo a quantidade de pontes de hidrogênio na molécula de amido e aumentando a capacidade de expansão do amido da mandioca em meio aquoso (ZEOULA & CALDAS NETO, 2001).

2.2.2 Produção de Mandioca e seus Subprodutos

As pesquisas com mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) e seus subprodutos, se destaca em função da facilidade de seu cultivo, expressiva produção e seu papel na conjuntura sócioeconômica do país. Além disso, existe a 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 (MATIAS, 2008).

A produção mundial de mandioca é de mais de 180 milhões de toneladas anuais. Está entre os dez produtos alimentares da humanidade em volume de produção. Cerca de 65% da produção mundial da cultura fica localizada na Nigéria, Brasil, Tailândia, Congo, Indonésia e Gana (MAPA, 2005). Conhecida pela rusticidade e pelo papel social que desempenha junto às populações de baixa renda, a cultura da mandioca tem grande adaptabilidade aos diferentes ecossistemas, possibilitando seu cultivo em praticamente todo o território nacional. Segundo estimativas do IBGE, a safra nacional de mandioca em 2018/2019 foi 19,5 milhões de toneladas de raiz, destacando-se as contribuições da regiões Nordeste e Norte com 35,9% e 25,2%, respectivamente, da produção nacional. Nas demais regiões, essa participação foi de 23,1% no Sul, 9,7% no Sudeste e 6% no Centro Oeste (IBGE, 2020).

A cultura da mandioca no Brasil se localiza em todas as regiões fisiográficas, exceto nas áreas mais frias do país. É uma planta rústica e com capacidade de adaptação às condições mais variadas de clima e solos, sendo que o clima mais adequado é o quente úmido.

A temperatura ideal varia de 18°C e 35°C. Suporta altitudes desde o nível do mar até cerca de 2.000m, com precipitações anuais bem distribuídas oscilando de 1.000mm a 1.500mm (MATIAS, 2008).

Normalmente a colheita das raízes é efetuada próximo aos 18 meses pós-plantio. Contudo, dependendo da variedade e das condições de alimentação, essas são inadequadas para o consumo animal, imediatamente após a colheita, devido ao fato de que algumas variedades (bravas) possuem elevados teores de ácido cianídrico (HCN). Este problema quando existente pode ser eliminado através da picagem ou trituração das raízes e posterior secagem ao sol, transformando-se em raspas, as quais podem ser devidamente armazenadas sem problemas. No caso de variedades mansas (baixos teores de HCN), estas devem ser lavadas e picadas ou quebradas, e fornecidas imediatamente aos animais, pois em ambientes tropicais o amido pode sofrer hidrólise, facilitando uma fermentação alcoólica, o que pode inviabilizar o uso desse material rapidamente (PEREIRA, 1987).

A parte aérea da planta da mandioca, também pode ser utilizada na alimentação de ruminantes, sendo nesse caso comum a prática de dois cortes entre o plantio e a colheita. Para a confecção de feno de elevado teor protéico, Carvalho & Kato (1987) recomendam dar preferência ao terço superior da planta, fazendo-se os cortes 12 e 16 meses após o plantio, ou seja, no período de maior enfolhamento. Outras formas de utilização da parte aérea podem ser: fresca, seca ao sol, ensilada, ou ainda na forma de farelo ou peletizada (CARVALHO, 1984).

O processamento industrial da mandioca está relacionado à fabricação de farinha e à extração de fécula (amido). Na alimentação animal a mandioca pode ser fornecida sob as mais variadas formas: raízes frescas, raspas, restos culturais (hastes e folhas) e subprodutos sólidos de sua industrialização (cascas, entrecascas, descarte e farelos). Apesar de não existirem dados absolutos a respeito da quantidade total de resíduos produzidos a partir da industrialização farinheira, sabe-se que cerca de 10% da mandioca total utilizada na fabricação de farinha é eliminada na forma de casca e cerca de 3 a 5%, na forma de farinha de varredura (CALDAS NETO et al., 2000a).

As raspas são obtidas por meio da picagem e desidratação da raiz ao sol ou em estufa, e quando desintegradas transformam-se em farelo de raspa de mandioca (PEREIRA, 1987). O farelo ou bagaço é o resíduo composto pelo material fibroso da raiz, possuindo também certa quantidade de amido residual. É proveniente do processamento da extração da fécula, obtido após a segunda peneiragem. Como para a obtenção da fécula é utilizado um

grande volume de água, esse resíduo chega a apresentar cerca de 75% de umidade (CAMPOS NETO & BEM, 1995).

O farelo de farinha de mesa ou crueira, é o resíduo da produção de farinha de mesa, que após a peneiragem, os pedaços da casca e raiz que escaparam à ralação formam um resíduo grosseiro (PEREIRA, 1987). O farelo de raspas é obtido após a moagem e peneiragem das raspas para obtenção da farinha de raspas. O farelo de varredura e do lavador é obtido a partir da industrialização para obtenção do amido, da farinha de mesa e da farinha de raspas, sendo constituído de todo material perdido no chão recolhido e juntado ao resíduo do lavador, sendo posteriormente seco e moído. A casca corresponde à periderme e varia entre 2 e 5% do peso total das raízes. É um resíduo proveniente principalmente de fecularia, geralmente constituído da mistura de casca e entrecasca (CAMPOS NETO & BEM, 1995).

O descarte é um subproduto proveniente da seleção das raízes antes de serem submetidas ao ralador. Possui composição semelhante à raiz de mandioca, porém apresenta teor de fibra mais elevado, devido à presença do pedúnculo (CAMPOS NETO & BEM, 1995). A composição nutricional das raspas e dos resíduos variam sensivelmente com a variedade de mandioca, com a idade da planta e com a época do ano, e ainda com o processo de fabricação dos produtos derivados da mandioca (PEREIRA, 1987).

Fregadolli et al. (2001) avaliaram o efeito de rações contendo 50% de silagem de milho e 50% de concentrado, resultante da combinação de fontes de amido de alta (casca de mandioca) e baixa (milho) degradabilidade ruminal, com fontes de nitrogênio (N) de alta (levedura) e baixa (farelo de algodão e farinha de carne e ossos) degradabilidade ruminal sobre o pH, amônia e eficiência microbiana. As rações compostas por fontes de amido e nitrogênio de diferentes degradabilidades ruminais não influenciaram o pH e a concentração de amônia no líquido ruminal. A composição química das bactérias ruminais isoladas não foi influenciada pelas fontes de amido e nitrogênio. A eficiência de síntese microbiana não diferiu entre as fontes de amido e nitrogênio avaliadas. No entanto, CALDAS NETO et al. (2000) observaram menor concentração de amônia ruminal, menor digestibilidade ruminal da PB e maior eficiência microbiana para as rações com farinha de varredura, em substituição total ao milho, indicando uma melhor sincronização na disponibilidade de energia e nitrogênio no rúmen.

2.2.3 Produção de Batatas e seus Subprodutos

Atualmente a batata (*Solanum tuberosum L.*) é produzida em 140 países. Segundo o IBGE, a estimativa de produção de batata-inglesa no Brasil para 2020 é de 6.898.463 toneladas. Minas Gerais é o maior produtor nacional de batata-inglesa, com 31,6% da produção total, seguido por Paraná, com 19,6%, São Paulo, com 17,8% e Rio Grande do Sul, com 10,0%. Esses estados respondem juntos por 79,0% da produção nacional. Hoje são descartados de 10 a 15% da produção total, correspondendo a mais 378 mil toneladas. Sendo 5% dos descartes devido aos danos provocados por insetos, doenças ou graves perdas mecânicas.

O beneficiamento e as indústrias processadoras de batata inglesa (*Solanum tuberosum L.*) produzem uma grande quantidade de subprodutos que necessitam ser descartados. Esses resíduos podem ser utilizados na alimentação de ruminantes por apresentarem altos teores de amido e por minimizar os custos de produção. Além disso, a possibilidade de uso dos tubérculos impróprios para o consumo humano elimina um problema econômico e ambiental (SILVA et al., 2013).

O resíduo agrícola da batata, a batata diversa, possui cerca de 57% de amido na MS e é uma alternativa viável quando se pensa em minimizar os gastos com a alimentação por meio da utilização de resíduos agroindustriais ou alimentos alternativos viáveis economicamente e nutricionalmente. Segundo a Associação Brasileira da Batata (ABBA, 2004), o volume anual que é desperdiçado desse resíduo, em todo Brasil, chega a 100 mil toneladas.

Na indústria, aproximadamente 35% da batata produzida são descartadas. Durante este processo há vários tipos de perda, havendo várias formas de processamento para uso na nutrição animal: farelo de batata, batata úmida e torta de filtro de batata. No Brasil a maior fonte disponível constitui-se dos descartes no campo, no processo de lavagem e seleção, ou quando o preço inviabiliza a comercialização (BALSALOBRE, 1995).

Segundo Boyles (2012), todos os subprodutos da batata inglesa constituem-se em excelente fonte de energia para ruminantes. Numa base de 100% de matéria seca (MS), teriam 81-82% de nutrientes digestíveis totais (NDT) e proteína entre 4 e 17,5%. A maioria dos subprodutos de batata tem pouca gordura, mas resíduos de batatas fritas podem conter até 30% de gordura na MS. As batatas são praticamente desprovidas de fibra.

Batata diversa é o nome atribuído ao tubérculo impróprio para o consumo humano, por não alcançar padrões de comercialização tanto em tamanho quanto em

qualidade. Além da qualidade nutricional, a batata diversa tem baixo custo, por ser considerada como resíduo agrícola. A batata diversa *in natura* pode ser usada para vacas em lactação e bovinos de corte com a finalidade de se elevar a produção de leite e carne. As maneiras para se fornecerem batatas *in natura* aos animais são: espalhá-las no chão (BOYLES, 2012); ensilá-las em camadas, em um silo horizontal, com feno (SNOWDON, 2012); ou como propôs Rezende (2005) picá-las ou triturá-las antes de ser fornecida para reduzir a incidência de asfíxia.

A batata *in natura* apresenta alto percentual de deterioração em ambientes quentes, tornando difícil a manutenção das suas qualidades organolépticas por períodos superiores a uma semana, o que dificulta o seu armazenamento e permite classificá-la como perecível. Além disso, devido ao alto conteúdo de água existem limites econômicos sobre a distância que a batata pode ser transportada (SILVA et al., 2013). Rezende (2005) sugeriu que a melhor maneira de utilizar na alimentação animal deveria ser alguma forma de conservação, que pode ser a desidratação para fazer o farelo, podendo assim ser armazenado por maior tempo, ou mesmo a ensilagem com algum material que cause elevação do teor de MS.

2.2.4 Utilização de subprodutos amiláceos da mandioca e batata na nutrição de ruminantes

Com o objetivo de avaliar a substituição do milho pela farinha de varredura (0, 25, 50, 75 e 100% na base da matéria seca (MS)), Jorge et al. (2002a) trabalharam com bezerros holandeses e verificaram redução do consumo de MS, proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN), entretanto, não houve redução no consumo de amido. O ganho de peso foi reduzido com a inclusão de farinha de varredura, contudo, a conversão alimentar não foi alterada. Os níveis substituição não influenciaram os níveis de hematócrito, uréia e glicose sanguíneos. Os autores concluíram que a farinha de varredura pode ser utilizada em substituição total ao milho na alimentação de bezerros holandeses do desaleitamento até 180 dias de idade, com ganhos de pesos satisfatórios.

Alguns trabalhos têm relatado menor consumo por animais quando se utiliza a farinha de varredura (TEEGER & ZIMMERMAN, 1977; PEIXOTO & WARNER, 1993). Os autores atribuíram esta redução ao fato da ração ser pulverulenta, apresentar baixa palatabilidade e ser seca (somente 0,6% de extrato etéreo). A utilização de rações completas pode minimizar este problema e evitar a redução no consumo.

Pen et al. (2006) determinaram o efeito da inclusão crescente (0, 19 e 27%) de silagem de derivados de batata sobre a fermentação ruminal, produção de metano e utilização

de nitrogênio. Determinaram também a taxa de substituição ótima de silagem à base de subprodutos de batata (SPB) nos concentrados em dietas de engorda de novilhos da raça Holandês. A silagem continha 41% de MS, 14,4% de PB e 23,1% de FDA na MS. A inclusão aumentou o consumo, a digestibilidade da FDA e não afetou as características fermentação ruminal. Os dados sugerem que a substituição de silagem à base de SPB para os concentrados até 27% da MS da dieta não aumentou significativamente a produção de metano e melhorou a retenção de nitrogênio.

Rezende (2005) estimou a degradabilidade *in situ* das silagens de capim napier (*Pennisetum purpureum*) produzidas com diferentes níveis do farelo de batata diversa (0%, 5%, 10%, 15% e 20%). A batata *in natura* foi fatiada, seca ao sol até atingir teor de umidade entre 10 e 15%. No ensaio de degradabilidade ruminal *in situ* utilizaram-se três vacas Jersey adaptadas por 15 dias a dieta basal contendo capim (60% da MS) e concentrado (30% de farelo de batata, 37% de milho, 27% de farelo de soja, 2% de ureia, 4% de suplemento mineral). O estudo mostrou que as adições de 15% e 20% de farelo de batata diversa à silagem de capim proporcionaram melhores resultados, caracterizando uma boa silagem, com maiores valores de degradabilidade ruminal *in situ* da MS, PB e FDN.

Radunz et al. (2003) avaliaram os efeitos da inclusão (0, 10, 20, 30 e 40%) de resíduos de batata em dietas de confinamento no desempenho e na qualidade da carne de bovinos de corte em fase acabamento. A dieta continha 45% de milho, 45% de alfafa, 5% de melaço desaçucarado e 5% de suplemento (mineral, vitaminas e ureia) na MS. Os resíduos utilizados foram obtidos da indústria de produtos congelados de batata (13% MS, 10,1 de PB%, 53,1% de amido e 37,5% de FDN na MS) e continha pedaços de batata e outros materiais solúveis produzidos durante o processamento. A ingestão de matéria seca e os ganhos de peso diários foram menores com o aumento da inclusão do resíduo de batata. Os autores concluíram que a adição de 10% de resíduos de batata na dieta teve pouco efeito sobre o consumo, espessura de gordura e acabamento de bovinos de corte.

Os resultados da substituição do milho pela casca, farinha de varredura ou raspa de mandioca sobre ganho médio diário, consumo, conversão alimentar e rendimento de carcaça de novilhas confinadas, foram avaliados por Marques et al. (2000). A casca de mandioca substituiu, com base na MS, aproximadamente 50% do milho no concentrado, e a farinha de varredura e a raspa de mandioca substituíram em até 100% o milho no concentrado. A substituição do milho pela mandioca e seus resíduos embora tenha reduzido o consumo de alimentos, não alterou o ganho em peso, a conversão alimentar da MS e o rendimento de carcaça dos animais. Os autores concluíram que a mandioca e seus resíduos

podem ser utilizados em substituição ao milho, para animais confinados. Mas, sugeriu-se, que os níveis de substituição do milho pela farinha de varredura e raspa de mandioca sejam melhor estudados, para evitar problemas de consumo e acidose.

Os resultados da combinação de fontes energéticas (milho ou casca de mandioca) e fontes protéicas (levedura ou farelo de algodão + farinha de carne e ossos) de quatro dietas foram avaliados por Prado et al. (2000). Utilizaram-se 28 novilhas com média de 303 kg PV e 18 meses de idade, confinadas durante 76 dias. O tratamento com casca de mandioca substituiu o milho em 100% no concentrado e a silagem de milho foi utilizada como fonte de volumoso. Houve diferença na ingestão de nutrientes entre as dietas, porém, não houve efeito das fontes energéticas sobre o ganho médio diário, o rendimento de carcaça e a conversão alimentar. Portanto, a casca de mandioca pode substituir o milho, como fonte de energia, sem alterar o desempenho de novilhas terminadas em confinamento.

Os resultados da substituição (0, 33, 67 e 100%) do milho pela farinha de mandioca de varredura, em dietas de cabras Saanen em lactação, sobre o desempenho, a composição do leite (sólidos totais e proteína bruta), a digestibilidade da MS, MO, PB, EE, FDN, e amido, assim como, a concentração dos NDT das dietas, foram avaliados por Mouro et al. (2002), utilizando quatro cabras com 100 dias de lactação. Os autores concluíram que o milho pode ser totalmente substituído pela farinha de mandioca de varredura por não alterar a digestão, excreção e digestibilidade da MS, MO, PB, FDN e CNE. O teor de NDT não variou com a substituição do milho pela farinha de mandioca. A produção e composição do leite não foram afetadas pelo uso da farinha de mandioca.

O uso do bagaço de mandioca em substituição (0, 33, 66 e 99%) ao milho no concentrado para bovinos em crescimento foi avaliado por Ramos et al. (2000a). Foram utilizados 16 bezerros mestiços machos inteiros e testados quatro tipos de concentrado associados ao fornecimento *ad libitum* de feno de aveia/avevém (*Avena strigosa*, L.; *Lolium multiflorum*, L.) e suplementação média de concentrado de 0,83% PV. Os autores concluíram que o bagaço de mandioca caracteriza-se como subproduto de boa utilização pela microflora ruminal, apresentando coeficiente de digestibilidade da MS acima de 61% para níveis de inclusão de concentrado de até 100% em substituição ao milho. A utilização do bagaço de mandioca em substituição ao milho no concentrado para bovinos até o nível de 66%, não alterou o ganho de peso médio diário e a conversão alimentar dos animais.

2.3 TÉCNICA IN VITRO DE PRODUÇÃO CUMULATIVA DE GASES

2.3.1 Técnicas utilizadas para prever a degradabilidade dos alimentos

A produção animal depende diretamente do consumo de alimentos e de seu aproveitamento por parte do animal. Por esta razão, o conhecimento da composição químico-bromatológica e da digestibilidade dos alimentos é imprescindível, uma vez que eles terão influência direta na resposta do animal à dieta que está sendo ofertada e em seu desempenho. O resultado desses fatores é que determina o valor nutritivo do alimento, ou seja, um alimento com bom valor nutricional tem que ter além de um alto teor de nutrientes, uma boa digestibilidade. Segundo Berchielli et al. (2005), o conhecimento da digestibilidade dos alimentos é um fator importante para definir a qualidade nutricional da dieta, pois ela é a responsável por determinar a quantidade de nutrientes que será efetivamente aproveitada pelo animal.

A digestibilidade é a fração do alimento que é degradada e absorvida pelo animal para posterior aproveitamento, e não é eliminada via fezes. Vários fatores exercem influência na taxa de degradação do alimento, tais como granulometria, taxa de passagem e a composição química. Tendo em vista a necessidade de se determinar a digestibilidade das dietas, foram desenvolvidas técnicas que predizem com precisão o coeficiente de degradabilidade dos alimentos, os métodos desenvolvidos para esta finalidade foram os *in vivo*, *in situ* e *in vitro*.

O método *in vivo* de avaliação da digestibilidade é o mais preciso de todos, por estar sendo realizado no próprio animal, no entanto, esse método é custoso, pois exige uma grande quantidade de animais e alimentos, além de demandar um maior tempo e gerar um grande volume de amostras para análise (alimento, fezes e urina). Isto muitas vezes inviabiliza o seu uso em determinados experimentos, principalmente quando se deseja avaliar mais de um alimento (SENGER et al., 2007). Assim, a utilização de metodologias que estimem a digestibilidade dos alimentos de forma precisa e que sejam de baixo custo e fácil aplicação.

Métodos alternativos surgiram com a finalidade de estimar a digestibilidade das dietas e permitir utilização de uma menor quantidade de material e avaliações realizadas em um menor espaço de tempo, são eles: *in situ* e *in vitro*. A técnica *in situ* consiste na avaliação da degradação de alimentos incubados em sacos de náilon porosos. Estes sacos são mantidos dentro do rúmen de animais fistulados e são removidos em intervalos de tempo determinados.

Esta técnica foi proposta por Orskov & McDonald (1979). O método de degradação *in vitro* foi desenvolvido por Tilley & Terry (1963). Ele simula os processos de digestão que ocorrem no rúmen e tem sido muito utilizado por apresentarem valores de digestibilidade condizentes com o *in vivo* (SILVEIRA, 2006).

Outra técnica *in vitro* para avaliar a degradabilidade e cinética de fermentação ruminal foi a de produção de gás, descrito por Theodorou et al. (1994). Ela vem sendo utilizada por apresentar resultados satisfatórios, por ser uma técnica de baixo custo e obter resultados mais rápidos quando comparado ao método *in vivo* (SENGER et al., 2007; CABRAL et al., 2002; SILVEIRA, 2006; VELÁSQUEZ, 2006).

2.3.2 Técnica *in vitro* de produção cumulativa de gases

Uma técnica que tem sido amplamente utilizada nos laboratórios de nutrição de ruminantes é a de produção cumulativa de gases, por ser simples e de baixo custo. Ela possibilita a avaliação de um grande número de amostras em um curto espaço de tempo e com uniformidade físico-química do meio (MALAFAIA et al., 1998; BARCELOS et al., 2001), demonstrando boas correlações com metodologias *in vivo* e *in situ* (BLUMMEL & ORSKOV, 1993).

Campos et al. (2000), comparando o método de digestibilidade *in vitro* por produção gás no período de 48 horas com os métodos *in situ* e *in vivo*, de silagem de milho com alta ou baixa matéria seca (MS), observaram que para silagem com alta MS os métodos *in situ* e *in vitro* não diferiram entre si (65,2% e 65,4%, respectivamente). Porém, ambos foram menores que o método *in vivo* (66,4%). Quanto à silagem com baixa MS, os três métodos não diferiram, apresentando valores de 67,4%, 66,9% e 72,3% para os métodos *in vitro*, *in vivo* e *in situ*, respectivamente.

A técnica de produção acumulada de gases é utilizada para medir o desaparecimento do substrato e a demanda animal se limita a um único animal doador de inóculo (MAURÍCIO et al., 1999). Quando um alimento é incubado no rúmen, este passa por processo de degradação, podendo ser fermentado, produzindo gases e ácidos de fermentação, ou ser incorporado à massa microbiana do rúmen (REYMER et al., 2005). Por essa razão, os estudos de fermentação *in vitro* por produção de gás servem para entender os processos de aproveitamento dos nutrientes, que começam pela fermentação ruminal e refletem diretamente no desempenho dos animais.

Esta técnica permite estimar a qualidade nutricional dos alimentos por meio da digestibilidade do alimento *in vitro*, em função da produção cumulativa dos gases CO₂ e CH₄, liberados durante a fermentação da amostra incubada em líquido ruminal tamponado. A técnica *in vitro* de produção de gases é reconhecida como uma das melhores para descrever a cinética fermentativa dos alimentos (THEODOROU et al., 1994; BUENO et al., 2005).

Na técnica *in vitro* de produção de gases, a amostra é incubada em meio anaeróbico com solução tampão e inóculo ruminal em ambiente hermeticamente fechado, para permitir o acúmulo dos gases resultantes da fermentação do substrato pela microbiota. Esses gases são medidos por meio de seringas, manômetros ou sensores ao longo do tempo, visando de construir uma curva cumulativa de produção de gases, a qual é usada para estimar os parâmetros cinéticos da digestão do substrato (amostra) avaliado (THEODOROU et al., 1994). Desta forma, os gases medidos ao longo do tempo refletem a degradação da amostra, especialmente dos carboidratos, os quais são a principal fonte de energia para a microbiota ruminal (CABRAL et al., 2000).

A produção de gases é diretamente proporcional à fermentação microbiana do alimento e, como pode ser medida a intervalos frequentes, permite analisar o modo como ocorre o ataque microbiano na degradação do alimento no rúmen. Este sistema possui duas principais vantagens: (1) em vez de gravar o desaparecimento do substrato e a formação de produtos final da fermentação, o produto final medido (gás) é resultado direto do metabolismo microbiano e, (2) pode ser monitorada em intervalos curtos de tempo e, por conseguinte, a cinética de fermentação pode ser descrita com precisão principalmente nos estágios iniciais (BLUMMEL & ORSKOV, 1993).

Esse sistema possibilita correlacionar a produção microbiana com a matéria orgânica fermentada. É possível em um único experimento analisar diversos alimentos e, através dos resultados, demonstrar sua degradabilidade potencial, além de fornecer medidas dos produtos de fermentação (gases), obtendo uma melhor interpretação desse processo (MAURÍCIO et al., 1998; BUENO et al., 2005). Através dessa metodologia é possível fazer a determinação da degradabilidade da matéria seca e/ou orgânica durante a produção de gases. Isso permite que melhor se interprete a cinética fermentativa comparando à taxa de desaparecimento de material.

A digestibilidade *in vitro* por produção de gás gera uma curva sigmóide e pode ser dividida em três fases: 1) a fase lenta, sem produção de gás (fase inicial), 2) a fase de produção de gás rápida (fase exponencial) e 3) a fase em que a taxa de produção de gás

diminui, chegando a zero (fase assintótica) (BEUVINK & KOGUT, 1993). Durante a fase inicial ocorre hidratação, fixação e colonização do substrato pelos microrganismos ruminais (CHENG et al., 1980). De acordo com Tagliapietra et al. (2010), o gás liberado a partir de alimentos inoculados com líquido ruminal reflete a atividade microbiana.

A descrição matemática, oriunda dos perfis de produção de gases, possibilita uma análise dos dados e comparação dos substratos utilizados ou das características do ambiente de fermentação. Também podem fornecer informações úteis relativas à composição do substrato e dos parâmetros cinéticos das frações solúveis e lentamente fermentáveis que compõe os alimentos (GROOT et al., 1996). Além de determinar a importância dessas diferentes frações no fornecimento de energia para os microrganismos (PELL & SCHOFIELD, 1993).

A estimação dos parâmetros cinéticos na técnica de produção de gases é feita por intermédio da utilização de modelos não lineares. Vários modelos foram desenvolvidos para estimar os parâmetros cinéticos da digestão de alimentos pela técnica *in vitro* de produção de gases (FRANCE et al., 1993; BEUVINK & KOGUT, 1993; LAVRENCIC et al., 1997; VIEIRA et al., 2008), incluindo modelos exponenciais, logarítmicos com e sem latência. Ao se considerar os diferentes modelos matemáticos que foram desenvolvidos para estimar os parâmetros cinéticos da produção de gás *in vitro*, estes diferem entre si no número de parâmetros a serem estimados e nas pressuposições teóricas.

O uso de um único modelo para uma grande variedade de alimentos parece ser limitado, já que ocorre elevada variação na composição dos alimentos destinados a alimentação de ruminantes, especialmente no conteúdo em carboidratos fibrosos e não fibrosos, teor de FDN indigestível (FDNi) e proteína. Esses componentes tendem a alterar os perfis de degradação (BEZERRA et al., 2005), portanto, podem afetar os parâmetros cinéticos estimados e seu significado biológico. Isto limitaria seu uso em sistemas de adequação de dietas para ruminantes, os quais consideram parâmetros cinéticos da degradação dos nutrientes no rúmen. Com isso, torna-se necessária a avaliação de diferentes modelos matemáticos para estimação de parâmetros cinéticos da digestão da matéria seca (MS) por meio da técnica *in vitro* de produção de gases.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Zootecnia (LZO) da Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes, RJ, no período de Maio a Outubro de 2019.

3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ESTIMAÇÃO DO VALOR NUTRICIONAL

Para o estudo da cinética de degradação de alimentos amiláceos e fibrosos oriundos da agroindústria e da composição das duas dietas, foram utilizado feno de palhada de braquiária na forma natural (FPB) e feno de palhada de braquiária processado (FPBP); subprodutos amiláceo do processamento de batata (SPB) e o amido de mandioca (AM) comercial (polvilho ou fécula).

O FPB foi obtido por meio do simples enfardamento da palhada de campo de semente forrageira. Já o para obtenção do FPBP, o feno de palhada de braquiária foi moído e posteriormente, passou pelo processo de briquetagem. Esse processo de briquetagem consiste na evolução contínua do material em tubos metálicos sob pressão, o que promove aumento da temperatura no material.

O amido de batata (SPB) foi obtido do resíduo de uma fábrica de produção de produto comercial “batata palha” cedido pela empresa Crokes localizada em São João del Rei, MG. Esse subproduto é o amido que desprende da parte mais externa dos tubérculos durante a lavagem, contendo uma pequena contaminação com casca. Já o AM, por não ser encontrado na região e por questões de logística de transporte, foi utilizado para compor a dieta o polvilho comercial.

O FPB e o AM compuseram uma dieta (DFPB-AM) e o FPBP e SPB a outra dieta (DFPBP-SPB) (Tabela 1). Os teores de energia e proteína foram corrigidos para alcançar o patamar de uma dieta suficiente para atender uma demanda de ganho de 0,5 kg/dia para um animal em crescimento. Para correção dos teores de proteína foi utilizado nitrogênio não protéico (ureia).

Tabela 1- Composição das dietas experimentais (g/Kg MS⁻¹).

Ingredientes das dietas (g/Kg MS ⁻¹)			
DFPB-AM		DFPBP-SPB	
FPB	695,0	FPBP	677,0
AM	280,0	SPB	295,0
Ureia	25,0	Ureia	28,0

As amostras dos alimentos em estudo foram pesadas e secas em estufas de ventilação forçada à 55°C por 72 horas. Em seguida, o material foi retirado da estufa e pesado novamente para obtenção da matéria parcialmente seca. Tanto o volumoso quanto os demais ingredientes da dieta foram moídos a 1 mm em moinhos tipo Wilye.

A matéria seca total (Método 967.03, AOAC, 1990) foi feita nas diferentes dietas e nos seus ingredientes. Foi ainda efetuada as análises químicas de gordura bruta (Método 2003.06, (Thiex et al., 2003)), cinzas (Método 942.05, AOAC, 1990), teor de proteína (PB) (AOAC, 1990; (Thiex et al., 2002)), fibra em detergente neutro (aFDNmo) (Método AOAC 2002.04 (Mertens, 2002)), fibra em detergente ácido (FDA), teor de lignina (Método 973.18, AOAC, 1977; (Möller, 2009)) (Tabela 2).

Tabela 2- Composição bromatológica dos ingredientes e das dietas (g/Kg MS⁻¹).

Dietas/Ingredientes	MS	PB	GB	aFDNmo	FDAmo	Lignina	MM
DFPB-AM	904,6	70,3	6,1	530,9	307,8	40,4	36,3
FPB	900,3	52,2	10,5	760,5	453,8	63,9	44,8
AM	874,7	3,1	1,8	ND	5,9	0,8	3,8
DFPBP-SPB	932,1	103,3	?	503,0	300,3	34,5	53,9
FPBP	918,2	51,1	?	736,6	439,4	35,2	54,5
SPB	957,5	3,3	?	40,8	29,5	ND	4,3

FPB: feno de palhada de braquiária; FPBP: feno de palhada de braquiária processada; AM: amido de mandioca; SPB: subproduto da batata; DFPB-AM: dieta com FPB e AM; DFPBP-SPB: dieta com FPBP e SBB; ND: Não detectável.

3.2 PRODUÇÃO CUMULATIVA DOS GASES

A produção cumulativa de gases da fermentação foi obtida por meio de incubações anaeróbicas *in vitro*, com base nas metodologias descritas por Malafaia et al. (1999), com modificações introduzidas por Abreu et al. (2014). O inóculo ruminal foi colhido de três bovinos com cânulas permanentes no rúmen (Os bovinos foram previamente cânulados de acordo com a Autorização do Protocolo 380), alimentados duas vezes ao dia, às 8 horas e às 16 horas, durante 15 dias. A dieta foi formulada com base no peso metabólico dos bovinos em manutenção (AFRC, 1993).

Os materiais líquido e sólidos do inóculo ruminal foram coletados separadamente (colhidos no “raft”) e acondicionados em garrafas térmicas de boca ampla. O preparo do inóculo seguiu a proporção 2:1 de líquido e sólidos, respectivamente, e batidos em liquidificador por 60 segundos sob contínua infusão de CO₂. Em seguida, o material foi

filtrado através de quatro camadas de gaze. O inóculo filtrado foi adicionado ao meio de cultura reduzido na proporção de 1:4, respectivamente, e a mistura foi mantida em 39°C sob aspersão contínua de CO₂, até o momento em que a mistura foi transferida para os frascos contendo as amostras.

Foram incubados 0,5 g de amostra parcialmente seca em frascos de penicilina na cor âmbar (100 ml) e adicionados meio de cultura e inóculo ruminal conforme os procedimentos recomendados por Hall & Mertens (2008), fechados com rolhas de borracha, selados com lacres de alumínio e mantidos em banho maria com aquecimento a 39°C. Os frascos eram manualmente agitados pela manhã e à tarde para homogeneização do meio com as partículas.

As leituras de pressão e volume foram realizadas no equilíbrio inicial (tempo zero) e 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 72 e 96 horas após a adição do inóculo ruminal. A pressão dos gases gerados com o progresso da fermentação foi obtida por leituras manométricas (0–7 psi, incrementos de 0,05 psi) e o volume medido por meio de pipeta graduada (0–25 mL; incrementos de 0,1 mL). A pressão e o volume cumulativo dos gases da fermentação ruminal foram obtidos somando-se as leituras corrigidas nos tempos efetivamente realizados. Os volumes de gases lidos foram padronizados em mL/0,1 g de matéria seca de amostra incubada.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizada a teoria dos modelos lineares generalizados mistos, para avaliar a distribuição de densidade de probabilidade que melhor se adequa aos dados, utilizando o procedimento GLIMMIX do S.A.S, para cada variável da composição química. Testaram-se as seguintes funções:

Normal:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right], x \in (-\infty, \infty) \quad (1)$$

Gamma:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)} & \text{se } x \geq 0 \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

Log Normal:

$$f(x, \mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \left[\frac{-(\log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2} \right], & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Beta:

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} \quad x \in (0,1) \text{ se } \alpha, \beta > 0 \quad (4)$$

A escolha da distribuição mais verossímil foi feita utilizando-se o padrão e distribuição de resíduos de Pearson. Foram construídos intervalos de confiança ao nível de 99,995% (Johnson, 2013) de confiança utilizando o procedimento GLIMMIX do S.A.S, para cada variável da composição química.

A estrutura geral atribuída ao modelo não linear empregado para interpretar quantitativamente os perfis de produção cumulativa de gases foi $Vt = \mu_{Y_t} + e_t$, com $V_t \sim Normal(\mu_{Y_t}, \sigma_{Y_t}^2)$, ou seja, foi assumido que a variável V_t segue uma distribuição normal com as funções de média μ_{Y_t} descrita a seguir:

$$\mu_{Y_t} = Vf_1 \times (1 - \exp(-k_1 t)) + Vf_2 \times \left(1 - \left(\delta^N \exp(-k_2 t) + \exp(-\lambda t) \sum_{i=1}^{N-1} \frac{(1-\delta^{N-i})(\lambda t)^i}{i!} \right) \right) \quad (5)$$

Essa função representa o modelo bicompartimental composto pelos modelos monomolecular e GNG1 (VIEIRA et al., 2008), no qual Vf_1 e Vf_2 (mL) são os volumes assintóticos de gases produzidos pelas frações rapidamente e lentamente degradáveis; k_1 é a taxa fracionária (1/h) de fermentação dos carboidratos oriundos da fração rapidamente degradável e k é a taxa (1/h) de fermentação dos carboidratos oriundos da fração lentamente degradável da matéria seca alimentar. N é um número inteiro positivo que representa a ordem de dependência do tempo e λ (1/h) é a taxa assintótica de preparação do substrato insolúvel e lentamente degradável para a digestão.

No ajuste dos perfis de produção acumulada de gases, os dados foram agrupados utilizando-se a função `groupedData` do `nlme`, sendo consideradas as seguintes fórmulas:

$$V \sim \text{Time} | \text{rep} / \text{flask} \quad (6)$$

$$V \sim \text{Time} | \text{flask} \quad (7)$$

Nas quais V corresponde ao volume acumulado de produção de gás, Time corresponde aos tempos quando realizadas as leituras de volume em cada frasco, rep corresponde as repetições em cada tratamento e flask corresponde ao efeito da unidade

experimental. Em todos os casos, os modelos foram ajustados considerando os agrupamentos de dados e as combinações dos modelos para interpretação dos perfis de gás e os ajustes comparados por meio do critério de informação de Akaike. Os modelos foram ajustados separadamente para as dietas, para os alimentos amiláceos e para os alimentos fibrosos.

4 RESULTADOS

A melhor escolha dos modelos lineares generalizados mistos possibilitam comparar diferentes funções de verossimilhança e escolher as funções densidade que melhor descreveram as variáveis estudadas. Para estimar o teor de proteína bruta, gordura bruta, fibra em detergente ácido e matéria mineral foi a densidade de probabilidade gamma (Eq. 2). Já para matéria seca e fibra em detergente neutro (aFDN_{mo}), a melhor escolha foi a densidade de probabilidade beta (Eq. 4).

Utilizou-se o critério de informação de AKAIKE corrigido para tamanho da amostra para selecionar a melhor forma para a descrição da produção cumulativa de gases, das dietas estudadas, assim como de seus ingredientes. No estabelecimento da ordem de dependência do tempo (N) para a Eq. (5) para as duas dietas e para seus ingredientes, observou-se que os incrementos no valor de N até 3 proporcionou ajuste mais verossímil do modelo (Monomolecular-G3G1) aos dados de produção acumulada de gases. Para as dietas, o modelo que melhor se ajustou foi quando utilizada a função de correlação na variância junto da função de variância Vf3 ($Vf3 = \text{varExp}()$) e sem efeito aleatório. Já para os alimentos, o modelo ajustado foi somente com a função de correlação na variância e, como nas dietas, não se fez uso do efeito aleatório.

Na escolha da melhor estrutura de agrupamento a ser utilizada na construção do groupedData da função nlme do R observou-se que com a Eq. (6), com a inclusão do efeito da repetição, foi a que proporcionou ajustes mais verossímeis aos perfis de produção acumulativa de gases. Na Tabela 3 observa-se os diferentes modelos testados para as duas dietas experimentais.

Tabela 3- Escolha dos melhores modelos, efeito aleatório e variância para descrição da produção cumulativa de gás das duas dietas.

Modelo	Variância	Efeito aleatório	df	Loglik	AiCc _r	Δ_r	W_r	ER _r
1- M	Homog	não	3	-224,6	455,3	397,6	4,59E-87	2,18E+86
2- M-trt	Homog	não	11	-180,7	384,4	326,7	1,14E-71	8,75E+70
3- M-trt	heter-trt	não	15	-175,1	382,2	324,5	3,43E-71	2,91E+70
4- M-trt	Corr	não	12	-98,3	221,8	164,1	2,32E-36	4,30E+35

5- M-trt	homog+corr	não	16	-96,6	227,4	169,7	1,41E-37	7,08E+36
6- M-G3G1-trt	homog	não	26	-49,9	157,5	99,8	2,13E-22	4,69E+21
7- M-G3G1-trt	corr + Vf3	não	27	1,3	57,7	0	0,999	1,00E+00
8- M-G3G1-trt	homog + Vf2	não	27	-43,6	147,4	89,7	3,32E-20	3,01E+19
9- M-G3G1	Corr	não	7	-28,4	71,3	13,6	0,001	8,98E+02
10- M-G3G1-trt	homog + Vf3	não	12	-52,7341	134,8	77,1	1,81E-17	5,52E+16
11- M-G3G1-trt	homog + Vf4	não	12	-58,592	146,5	88,8	5,21E-20	1,92E+19
12- M-G2G1-trt	Corr	não	12	-52,767	134,8	77,1	1,81E-17	5,52E+16
13- M-G2G1-trt	corr + Vf3	não	13	-52,4502	137,2	79,5	5,45E-18	1,83E+17
14- M-G2G1-trt	corr + Vf4	não	13	-50,8821	134	76,3	2,70E-17	3,70E+16

M, Modelo Monomolecular; trt, tratamento; corr, função de correlação (cor1= corCAR1()).

Variância: homog, homogênia; heter, heterogênia; Vf2=varPower(form=~fitted(.)|trt); Vf3= varExp(); Vf4=varIdent(form=~fitted(.)|trt).

AIC_{cr}, valores do critério de Akaike corrigido; Δ_i , diferença entre os valores do AICc; W_i, probabilidade de verossimilhança; ER_i, razão de evidencia.

As curvas produzidas pela produção de gás gera uma curva sigmóide. As curvas geradas pelas duas dietas seguiram um mesmo padrão, assim como as curvas respectivas aos alimentos amiláceos e aos alimentos fibrosos (Figura 1). Os volumes de gás acumulado produzidos foram de 39,82 (SPB); 37,74 (AM); 29,17 (DFPBP-SPB); 27,35 (DFPB-AM); 24,51 (FPBP) e 23,04 (FPB) mL/0,1g MS.

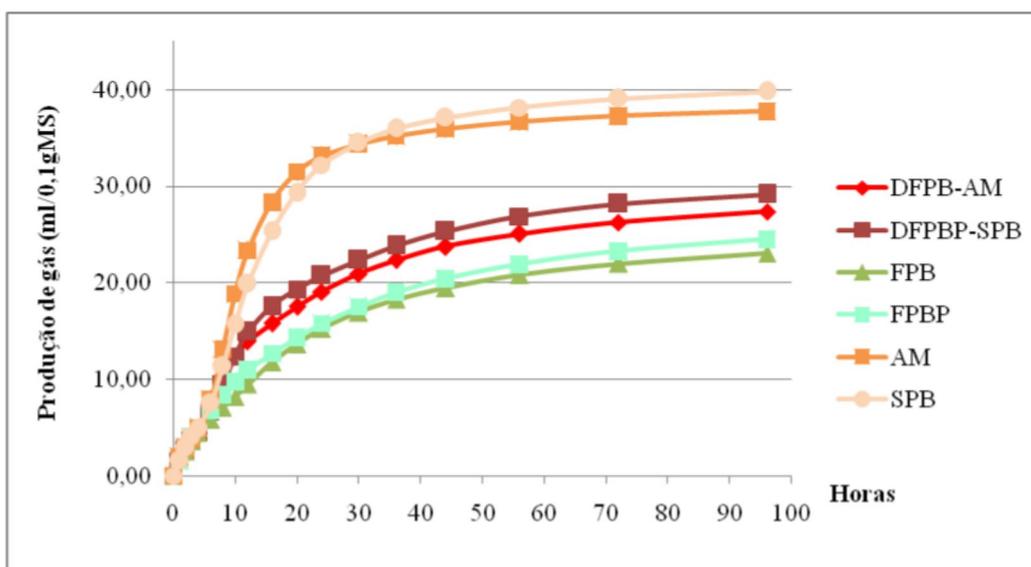


Figura 2 - Curvas sigmóide do acumulo do volume de gás produzido.

Comparando as curvas dos alimentos amiláceos e fibrosos é perceptível a diferença nas fases exponencial e assintótica. Os alimentos amiláceos apresentaram uma fermentação mais intensa nas primeiras horas. Inicialmente, o AM produziu uma maior quantidade de gás, ou seja, uma maior fermentação inicial. A produção de gás pelo SPB, a

partir da nona leitura (12 horas após a incubação), supera a produção de gás do AM e permanece maior até a última leitura. As curvas sigmóide do FPB e do FPBP evidenciam que, nas primeiras horas a fermentação acontece mais lentamente, liberando uma menor quantidade de gás. O perfil de produção de gás da FPB e do FPBP foram similares, porém nas últimas leituras, as linhas que representam a produção de gás do FPBP ficou acima da FPB, mostrando uma maior permanência da fermentação do FPBP em relação a FPB.

Já as dietas experimentais apresentaram uma fermentação intermediária entre os alimentos fibrosos e amiláceos, ou seja, os valores de produção de gás ficaram abaixo dos alimentos amiláceos e acima dos alimentos fibrosos. No primeiro momento em que acontece a fermentação da fração rapidamente degradável, a DFPB-AM produz uma maior quantidade de gás, mas logo essa produção é superada pela DFPBP-SPB, assim como aconteceu com os alimentos amiláceos respectivos de cada dieta. Quando começa a fermentação dos alimentos fibrosos, ou seja, a fração lentamente degradável, a DFPBP-SPB tem uma maior persistência de fermentação e consequente maior produção de gás, assim como o FPBP que faz parte da sua composição (Figura 2).

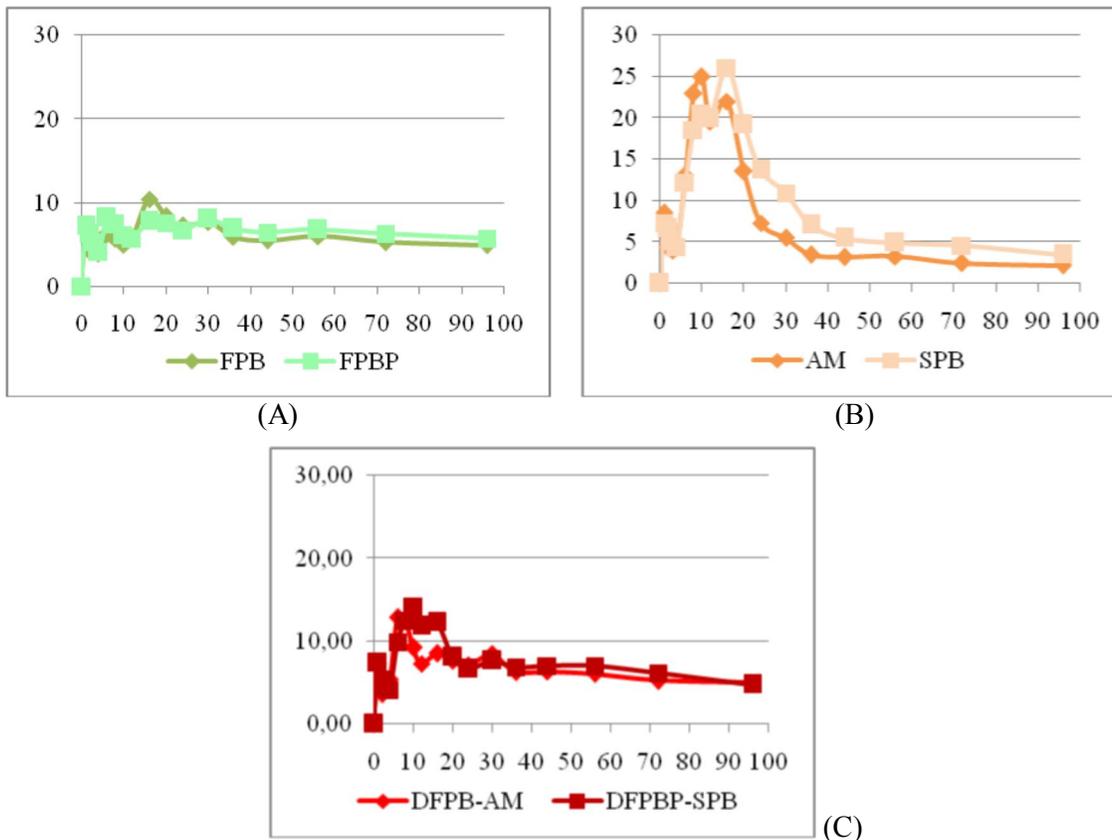


Figura 3 - Produção de gás (ml/0,1gMS/hora) durante as 96 horas de incubação dos alimentos fibrosos (B), amiláceos (C) e das dietas (D).

Por meio da produção cumulativa de gases é possível comparar as diferentes dietas quanto à produção final de gás e as taxas de degradação das frações solúvel e fibrosa. De acordo com o modelo monomolecular- G3G1, se ocorrer maior taxa de degradação da fração solúvel (k_1) em alguma dieta ou alimento, significa que essa dieta ou alimento apresentou uma maior a degradação da fração solúvel ou rapidamente degradável. A segunda taxa (k) permite diferenciar as dietas quanto à degradação da fração lentamente degradável, se mostrando uma importante medida para se selecionar as dietas com maior qualidade da fração fibrosa (Tabela 4).

Tabela 4- Parâmetros estimados, por meio do modelo monomolecular-G3G1, dos melhores modelos para as dietas e os alimentos de sua composição.

Dietas/ Alimentos	Parâmetros (Erro padrão)					Variância e Correlação (IC 95%)
	$\hat{V}f_1$	k_1	$\hat{V}f_2$	\hat{k}	λ	
DFPB-AM	10,3(2,37)	0,141(0,0392)	17,6(2,29)	0,037(0,0050)	1,090(0,3036)	$\sigma^2=0,272$ (0,221; 0,335)
DFPBP-SPB	11,7(2,01)	0,127(0,0402)	16,8(2,17)	0,040(0,0031)	0,736(0,2706)	$\phi^2=0,569$ (0,484; 0,650)
FPB	7,2(1,43)	0,212 (0,0555)	16,0(1,42)	0,031(0,0011)	0,411(0,0869)	$\sigma^2=0,115$ (0,094; 0,140)
FPBP	13,2(1,05)	0,121(0,0132)	16,4(1,10)	0,034(0,0018)	0,219(0,0403)	$\phi^2=0,429$ (0,244; 0,637)
AM	2,9(0,41)	1,050 (0,3670)	33,7(0,58)	0,157(0,0062)	0,510(0,0429)	$\sigma^2=0,347$ (0,226; 0,534)
SPB	3,6(0,74)	0,627(0,2471)	35,5(0,89)	0,091(0,3670)	0,555(0,0551)	$\phi^2=0,564$ (0,357; 0,750)

$\hat{V}f_1$ é o volume final da fração de rápida degradação; k_1 taxa de degradação da fração rapidamente degradável; $\hat{V}f_2$ volume final da fração lentamente degradável; \hat{k} é a taxa de degradação da fração lentamente degradável; λ é a assíntota da taxa de preparação para a digestão.

A DFPB-AM apresenta uma maior taxa de degradação da fração rapidamente degradável (k_1), assim como os alimentos que a compõe. Já a taxa de degradação da fração lentamente degradável (\hat{k}) é maior na DFPBP-SPB. O AM apresentou maior taxa de degradação da fração lentamente degradável do que o SPB, porém, como se trata de alimentos amiláceos, ou seja, carboidratos solúveis, não interferiu a ponto de deixar a taxa de degradação da DFPB-AM superar a taxa da DFPBP-SPB.

5 DISCUSSÃO

Foram testadas várias funções densidade de probabilidade para melhor descrição quantitativa da distribuição dos dados. Tal medida é importante pois por meio dela que se seleciona a melhor forma para descrição, o que importa na obtenção de inferências seguras (RAMIREZ ET AL., 2001; NORWOOD et al., 2004). Quando não se testa as possíveis distribuições dos dados, assume-se a normalidade, sendo que, nem sempre a distribuição normal representa a melhor escolha da função densidade probabilidade, o que pode levar a conclusões erráticas. Ajustes dos modelos lineares generalizados mistos possibilitaram comparar diferentes funções de verossimilhança e escolher as funções densidade que melhor descreveram os teores de matéria seca, proteína bruta, gordura bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e matéria mineral.

Para selecionar a melhor forma para a descrição da produção cumulativa de gases foi utilizado o critério de AKAIKE. A rejeição ou não rejeição da hipótese de nulidade, empregada no teste da razão de verossimilhança para testar a normalidade contra outra possível distribuição, é evitada. O critério de AKAIKE testa qual é a função ou quais as funções, melhor representam a distribuição dos dados (AKAIKE, 1974), ou seja, o modelo que causar menor perda de informação será aquele escolhido pelo critério de AKAIKE (BURNHAM & ANDERSON, 2004).

O modelo ajustado para as dietas, para os alimentos amiláceos e para fibrosos foi o modelo Monomolecular-G3G1, onde os incrementos no valor de N até 3 proporcionou ajuste mais verossímil do modelo aos dados de produção acumulada de gases. A inclusão da função de correlação e da função de variância proporcionou considerável melhoria no ajuste do modelo aos perfis. Os parâmetros estimados através do modelo monomolecular-G3G1 é análogo ao que os gráficos acima demonstraram.

A degradabilidade *in vitro* por produção de gás gera uma curva sigmóide, e pode ser dividida em três fases: 1) a fase lenta, sem produção de gás (fase inicial), 2) a fase de produção de gás rápida (fase exponencial) e 3) a fase em que a taxa de produção de gás diminui, chegando à zero (fase assintótica) (CHENG et al., 1980). O gás liberado a partir de alimentos inoculados com líquido ruminal reflete a atividade microbiana, e podem dar informação sobre a degradabilidade do alimento e cinética de fermentação.

As curvas dos alimentos amiláceos e fibrosos tiveram diferença na fase exponencial devido a fermentação mais intensa nos alimentos amiláceos nas primeiras horas. A fase assintótica dos alimentos amiláceos é alcançada rapidamente, demonstrando a acelerada taxa de fermentação do amido proveniente dos resíduos estudados. Essa ágil

fermentação acontece por se tratar de alimentos solúveis e/ou rapidamente degradáveis, contendo uma ínfima quantidade de matéria fibrosa, o que pode ser confirmado pela análise bromatológica realizada (Tabela 2). O volume de gás acumulado produzido do SPB (39,82 mL/0,1g MS) foi maior que o volume de AM (37,74 mL/0,1g MS). A menor taxa de degradação da fração lentamente degradável (k) do SPB, provavelmente, é somente em consequência há maior quantidade de fibras, aFDN_{mo} e FDA_{mo} (Tabela 2), presentes nesse alimento quando comparado ao AM. A maior quantidade de fibras que o SPB apresentou em relação ao AM é consequência da contaminação com cascas que acontece na obtenção deste subproduto.

As curvas provenientes dos alimentos fibrosos demonstra uma fermentação mais lenta nas primeiras horas, liberando uma menor quantidade de gás. Isso acontece devido a maior quantidade de fibra, aFDN_{mo} e FDA_{mo}, e lignina presente nesse material (Tabela 2). Como a fibra tem uma degradação lenta e parte insolúvel, a fase assintótica leva mais tempo para ser alcançada, ou seja, nas últimas leituras, a produção de gás dos alimentos fibrosos é maior que dos alimentos amiláceos. Nas últimas leituras, a produção de gás do FPBP foi maior que do FPB, mostrando uma maior permanência da fermentação do FPBP em relação a FPB. Os volumes de gás acumulado produzido foram de 24,51 e 23,04 mL/0,1g MS para FPBP e FPB, respectivamente. Esses resultados apoiam a teoria de que o processamento que o feno de palhada de braquiaria sofreu, através de temperatura e pressão após a moagem previa do material, promove alguma desestabilização da matriz lignocelulósica, o que aumentou a taxa de degradação ruminal da fibra.

O perfil de produção de gás das dietas seguiu fielmente o perfil de produção de gás dos seus ingredientes. Durante a fermentação da fração rapidamente degradável, a DFPB-AM produz uma maior quantidade de gás, mas logo essa produção é superada pela DFPBP-SPB, assim como aconteceu com os alimentos amiláceos respectivos de cada dieta. O que demonstra que a fração rapidamente degradável do FPB e AM é maior quando comparado ao demais alimentos. Quando a curva alcança a fase assintótica, ou seja, quando começa a fermentação da fração lentamente degradável, a DFPBP-SPB tem uma maior persistência de fermentação e conseqüente maior produção de gás, provavelmente devido ao FPBP que apresentou maior taxa de degradação dessa fração do que a FPB e que faz parte da sua composição. Os volumes de gás acumulado produzido foram de 29,17 e 27,35 mL/0,1g MS para DFPBP-SPB e DFPB-AM, respectivamente.

Azevedo et al. (2016), avaliando híbridos de milho dentados plantados em Campos dos Goytacazes (Região Norte Fluminense) para produção de silagem por meio da técnica de produção de gás, obteve as seguintes taxas de degradação das frações lentamente (k) e rapidamente (k_1) degradável, respectivamente, 0,151 e 0,0249 para a planta inteira (PI), 0,275 e 0,0752 para os grãos de milho (GM) e 0,248 e 0,0494 para o material vegetativo (MV). Ao se fazer uma comparação das taxas de degradação, obtidos neste trabalho, dos alimentos fibrosos (FPB e FPBP) com as taxas de degradação do material vegetativo do trabalho citado acima, observa-se que k_1 do FPB (0,212) foi mais próxima do que acontece no MV da planta de milho, e FPBP apresentou uma menor taxa de degradação desta fração (0,121). Já a k foi menor tanto para o FPB (0,031) quanto para FPBP (0,034), ou seja, a porção fibrosa dos alimentos fibrosos estudados apresentou taxa de degradação mais baixa que a MV da planta de milho. Essas taxas demonstram que a palhada proveniente da colheita de sementes, tanto na forma processada quanto não processada, possui menor degradação que o material vegetativo do milho, que é um alimento comumente utilizado nas dietas de ruminantes.

Fazendo esta mesma comparação dos resíduos amiláceos estudados com a parte amilácea da planta de milho, o GM, constata-se que o SPB e o AM apresentaram maior degradação tanto da fração rapidamente degradável quanto para a fração lentamente degradável, com taxas de 0,627 e 1,050 para k_1 , e 0,091 e 0,157 para k , respectivamente. Uma maior taxa de degradação do amido dos tubérculos é esperada devido a à inexistência de pericarpo, endosperma córneo e periférico, matriz protéica e possivelmente devido a uma menor proporção de amilose e lipídios nos grânulos do amido (ZEOULA & CALDAS NETO, 2001).

Com relação as dietas estudadas, DFPBP-SPB e DFPB-AM, apresentaram valores bem próximos, porém menores, 0,127 e 0,141 respectivamente, da k_1 da PI de milho (0,151). Já a k das dietas foram maiores que k da PI, com valores de 0,040 e 0,037 respectivamente, em oposição a 0,0249 da PI. Os valores apresentados demonstra que quando foi combinado os resíduos fibrosos com os amiláceos na composição de uma dieta, as taxas de degradação foram bem próximas das taxas de degradação da planta inteira do milho. Esse resultado constata a real possibilidade de uso, na alimentação de ruminantes, dos resíduos estudados. Isto é, além de ser alimento benéfico à produção de ruminantes, a utilização de subprodutos na alimentação dos animais pode eliminar um problema de poluição substancial para a indústria. Porém, fatores como o custo de aquisição, transporte, armazenamento, manipulação e fornecimento devem ser levados em consideração quando se contempla o uso, não só destes, mas como de todo subproduto utilizado em uma ração.

6 CONCLUSÃO

O processamento por meio da briquetagem na palhada de braquiaria teve efeito positivo visto que aumentou o volume de gás acumulado produzido, o que reflete uma maior fermentação desta palhada em relação a palhada não processada. Além disso, o FPBP teve uma maior permanência da fermentação do que o FBP, ou seja, uma maior taxa de degradação da fração lentamente degradável.

As dietas apresentaram taxas de degradação aproximadas das taxas de degradação da silagem de milho. Isso evidencia a real possibilidade de uso, na alimentação de ruminantes, dos resíduos estudados. Porém, fatores como o custo de aquisição, transporte, armazenamento, manipulação e fornecimento devem ser levados em consideração quando se contempla o uso, não só destes, mas como de todo subproduto utilizado em uma ração.

REFERÊNCIAS

- AFRC. **Energy and protein requirements of ruminants**. CAB International, Cambridge, UK. 1993.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, p. 716-723. 1974.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA BATATA - ABBA. História da batata. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/2008/abatata.asp?id_BAT=2>. Acessado em: fev. 2020.
- BALSALOBRE, M. A. A. Batata, beterraba, cenoura e nabo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 6., 1995, piracicaba. **Anais...** Piracicaba: [s.n.], 1995. p. 99-121.
- BARCELLOS, A.O.; ANDRADE, R.P.; KARIA, C.T.; VILELA, L. Potencial e uso de leguminosas forrageiras dos gêneros *Stylosanthes*, *Arachis* e *Leucaena*. In: PEIXOTO, A.M.; PEDREIRA, C.G.S.; FARIA, V.P.(eds) SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.365-426.
- BATELLO, C.; BRINKMAN, R.; MANNETJE, L.T.; MARTINEZ, A.; SUTTIE, J. **Plant genetic resources of forage crops, pasture and rangelands**. FAO. 62p. Apr. 30 2017.
- BELING, R. R. Anuário Brasileiro de Sementes 2016. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2016.
- BERCHIELLI, T. T.; OLIVEIRA, S. G.; GARCIA, A. V. Aplicação de técnicas para estudo de ingestão, composição da dieta e digestibilidade. **Archives of Veterinary Science**, v. 10, n.2, p. 29-40, 2005.

BERGER, L. L.; FAHEY Jr., G. C.; BOURQUIN, L. D.; TITGEMEYER, E. C. **Modification of forage quality after harvest.** In: FAHEY JR., G. C. Forage quality, evaluation, and utilization. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 1994. p. 922-966.

BEUVINK, J.M.W.; KOGUT, J. Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. **Journal of Animal Science**, v.71, p.1041-1046, 1993.

Bezerra, A. R. G. F. ; Malafaia, P. ; Mancini, M. C. ; Bezerra, E. S. ; Vieira, R. A. M., 2005. Kinetic parameters of the ruminal *in vitro* degradation of feedstuffs given to different ruminant species. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., 57 (4): 494-501.

BLUMMEL, M.; ORSKOV, E.R. Comparison of "in vitro" gas production and nylon degradability of roughage in predicting feed intake in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v.40, p.109-119, 1993.

BOYLES, S. Feeding potato processing wastes and culls to cattle. Ohio State University Extension Beef Publications, 2012 Disponível em: <<http://beef.osu.edu/library/potato.html>>. Acessado em fev. 2020

BUENO, I. C. S.; CABRAL FILHO, S. L. S.; GOBBO, S. P.; LOUVANDINI, H.; VITTI, D. M. S. S.; ABDALLA, A. L. Influence of inoculum source in a gas production method. **Animal Feed Science and Technology**, v.123-124, p.95-105, 2005.

BURNHAM, K.P., ANDERSON, D.R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological Methods & Research**, v. 33, p. 261-304. 2004.

CABRAL, L. S.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J. T.; PEREIRA, O. G.; VELOSO, R. G.; PEREIRA, E. S. Cinética Ruminal das Frações de Carboidratos, Produção de Gás, Digestibilidade *In Vitro* da Matéria Seca e NDT Estimado da Silagem de Milho com Diferentes Proporções de Grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2332-2339, 2002.

CALDAS NETO, S.F.; ZEOULA, L.M.; PRADO, I.N. do et al. Mandioca e resíduos das farinhas na alimentação de ruminantes: digestibilidade total e parcial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6(Suplemento 1), p.2099- 2108, 2000a.

CAMPOS NETO, O. e BEM, C.H. W. Mandioca. In: PEIXOTO, A. M. A.; MOURA, J. C. e FARIA, V. P. **Utilização de resíduos culturais e de beneficiamento na alimentação de bovinos.** Piracicaba: FEALQ, 1995. 215- 228p.

CAMPOS, F. P.; BOSE, M. L. V.; BION, C.; LANNA, D. P. D.; MORAIS, J. P. G. Comparação do Sistema de Monitoramento Computadorizado de Digestão *In Vitro* com os Métodos *In Vivo* e *In Situ*. 2. Uso do Resíduo da Matéria Seca de Forragens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.2, p.531-536, 2000.

CARVALHO, J.L.H. de. A parte aérea da mandioca na alimentação animal. **Informe Agropecuário**, v.10, n.119, p.29-36, 1984.

CARVALHO, V.D. de; KATO, M. do S.A. Potencial de utilização da parte aérea da mandioca. **Informe Agropecuário**, v.13, n.145, p.23-27, 1987.

CATUCHI, T.A.; SORATTO, R.P.; FRANCISQUINI JÚNIOR, A.; ARANDA, E.A.; GUIDORIZZI, F.V.C.; TIRITAN, C.S. Nitrogen management, nitrogen use efficiency, and seed yield and quality of creeping signalgrass. **Crop Science**, v.57, p.2865-2874, 2017.

CHENG, K. J. J. P.; FAY, R. E.; HOWARTH, J. W. Sequence of events in the digestion of fresh legume leaves by rumen bacteria. **Appl. Environ. Microbiol.**, 40:613, 1980.

CRUZ, G. M. Utilização dos restos de culturas e palhas na alimentação de ruminantes. In: **Simpósio sobre utilização de subprodutos agroindustriais e resíduos de colheita na alimentação de ruminantes**, 1992, São Carlos. Anais.. São Carlos: EMBRAPA-UEPAE de São Carlos, SP. 1992. p.99-121.

FRANCE, J.; DHANOA, 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, p.99-111, 1993.

FREGADOLLI, F.L.; ZEOULA, L.M.; BRANCO, A.F. et al. Efeito das fontes de amido e nitrogênio de diferentes degradabilidades ruminais. 2. pH, Concentração de amônia no líquido ruminal e eficiência de síntese microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.870-879, 2001.

GROOT, J.C.J.; CONE, J.W.; WILLIAMS, B.A.; DEBERSAQUES, F.M.A.; LANTINGA, E.A. Multiphasic analysis of gas production kinetics for in vitro fermentation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.64, p.77-89, 1996.

HACKER, J. B. Crop growth and development: grasses. In: LOCH, D. S.; FERGUSON, J. E. (Eds.). **Forage seed production. 2. Tropical and subtropical species**. Wallingford, UK: CABI International, 1999. Chapter 2. p. 41-56.

HALL, M.B., MERTENS, D.R. In vitro fermentation vessel type and method alter fiber digestibility estimates. **Journal of Dairy Science**. V. 91, p. 301-307. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=2146&id_pagina=1>. Acessado em: fev. 2020.

JOHNSON, V.E., 2013. **Revised standards for statistical evidence**. Proceedings of the National Academy of Sciences 110, 19313-19317.

JORGE, J.R.V; ZEOULA, L.M.; PRADO, I.N. do. et al. Substituição do Milho pela Farinha de Varredura (Manihot esculenta, Crantz) na Ração de Bezerros Holandeses. 2. Desempenho e parâmetros sanguíneos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.192-204, 2002a.

KELLAWAY, R. C.; LEIBHOLZ, J. Effects of nitrogen supplements on intake and utilization of low-quality forages. **World Animal Review**, Roma, v.48, p. 33-7, 1983.

KOTARSKI, S.F.; WANISKA, R.D.; THURN, K.K. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. **Journal of Nutrition**, v.22, p.178-190, 1992.

KUNKLE, W. E. **Strategies for cost effective supplementation of beef cattle**. Ona: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1998. 7p.

LAVRENCIC, A.; STEFANON, B.; SUSMEL, P. An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. *Anim. Sci.*, v.64, p.423-431,1997.

MALAFAIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Cinética ruminal de alguns alimentos investigada por técnicas gravimétricas e metabólicas. *Rev. Bras. Zootec.*, v.27, p.370-380, 1998.

MARQUES, J. de A.; PRADO, I.N. do; ZEOULA, L.M. et al. Avaliação da Mandioca e Seus Resíduos Industriais em Substituição ao Milho no Desempenho de Novilhas Confinadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.5, p.1528-1536, 2000.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria do Conselho do Agronegócio- Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Mandioca e Derivados- Diretrizes para Elaboração do Plano Estratégico da Mandioca. Brasília, Novembro 2005.

MOURO, G.F.; BRANCO, A.F.; MACEDO, F.A.F. de et al. Substituição do milho pela farinha de mandioca de varredura em dietas de cabras em lactação: Produção e composição do leite e digestibilidade dos nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1(suplemento), p.475-483, 2002.

Nkosi, B.D., Meeske, R. Effects of whey and molasses as silage additives on potato hash silage quality and growth performance of lambs. **South African Journal of Animal Science**. 40 (3). 2010.

NORWOOD, B., ROBERTS, M.C., LUSK, J.L. Ranking crop yield models using out-of-sample likelihood functions. **American Journal of Agricultural Economics**. v. 86, p. 1032-1043. 2004.

OLIVEIRA, G. A.; **Cinética de trânsito e de degradação ruminal da fibra de silagens do resíduo da cultura de abacaxi em bovinos**. 2011.

ORSKOV, 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.

PEIXOTO, R.R.; WARNER, R.G. Avaliação da farinha de mandioca como componente de rações para terneiros leiteiros e desaleitamento precoce. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.12, n.1/2, p.39-47, 1997.

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

PEN, B.; IWAMA, T.; OOI, M. et al. Effect of Potato By-products Based Silage on Rumen Fermentation, Methane Production and Nitrogen Utilization in Holstein Steers. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, v.19(9), p.1283-1290, 2006.

PEREIRA, J.P. Utilização de raspas de resíduos industriais da mandioca na alimentação bovina. *Informe Agropecuário*, v.13, n.145, p.28-41, 1987.

PRADO, I.N. do; MARTINS, A. de S.; ALCALDE, C.R. et al. Desempenho de novilhas alimentadas com rações contendo milho ou casca de mandioca como fonte energética e farelo de algodão ou levedura como fonte protéica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.1, p.278- 287, 2000.

RADUNZ, E.; LARDY, G P.; BAUER, M.L. et al. Influence of steam-peeled potato-processing waste inclusion level in beef finishing diets: Effects on digestion, feedlot performance, and meat quality. *J. Anim. Sci.*, v.81, p.2675-2685, 2003.

RAMIREZ, O.A., MISRA, S., FIELD, J., 2001. Are Crop Yields Normally Distributed?, in: **Annual Meeting of the American Agricultural Economics Association**, Chicago.

RAMOS, P.R.; PRATES, E.R.; FONTANELLE, R.S. et al. Uso do bagaço de mandioca em substituição ao milho no concentrado para bovinos em crescimento. 2. Digestibilidade Aparente, Consumo de Nutrientes Digestíveis, Ganho de Peso e Conversão Alimentar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.1, p.300-305, 2000a.

RANGEL, A. H. N; LEONEL, F. P.; BRAGA, A. P.; PINHEIRO, M. J. P.; JÚNIOR, D. M. L. UTILIZAÇÃO DA MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES. *Revista Verde* (Mossoró – RN – Brasil) v.3, n.2, p.01-12, 2008.

REZENDE, V.M. **Degradabilidade ruminal das silagens de capim-napier produzidas com diferentes níveis de farelo de “batata diversa”**. 2005. 52f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RODRIGUES, A. de A. **Potencial e limitações da uréia e de misturas múltiplas para bovinos alimentados com forragens tropicais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 31 p. (Embrapa Pecuária Sudeste . Documentos, 32).

RODRIGUES, A. de A. Utilização de nitrogênio não protéico em dietas de ruminantes. In: **Simpósio goiano sobre manejo e nutrição de bovinos de corte e leite**, 5., 2003, Goiânia. Anais... Goiânia: CBNA, 2003. p.167-196.

ROONEY, L.W., PFLUGFELDER, R.L. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on shorghum and corn. *J. Anim. Sci.*, 63(5):1607-1623.

SENGER, C. C. D.; MÜHLBACH, P. R. F.; SANCHEZ, L. M. B.; KOZLOSKI, G. V.; KIST, G. P.; LIMA, L. D.; NETTO, D. P. Comparação entre os métodos químicos, *in situ* e *in vivo* para estimativa do valor nutritivo de silagens de milho. *Ciência Rural*, v.37, n.3, p.835-840, 2007.

SILVA, J.S.; BORGES, A. L. C. C.; REIS, R.; DUQUE, A. C. A; SOUZA, A. S; FERREIRA, A. L.; BORGES, I.Utilização de batata inglesa na dieta de ruminantes. **PUBVET**, Londrina, V. 7, N. 7, Ed. 230, Art. 1523, Abril, 2013.

SILVEIRA, M. F. **Comparação de métodos *in vivo* e laboratoriais para estimar o valor nutritivo de dietas para bovinos de corte.** Santa Maria, 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

SNOWDON, M. FEEDING POTATOES TO CATTLE. Department of Agriculture, Aquaculture and Fisheries. Disponível em: <<http://www.gnb.ca/0170/01700002-e.asp>>. Acessado em: fev. 2020.

SOUZA, F. H. D. de ; SILVEIRA, G. C. **A palhada residual da produção de sementes de capins tropicais no Brasil.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2003. 17p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documento, 36).

SOUZA, F. H. D. de. **Produção de sementes de gramíneas forrageiras tropicais.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 43p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documento, 30).

SOUZA, F. H. D. de; CARDOSO, E. G. **Alternativa para o descarte de palhada resultante da produção de sementes de capim.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2003. 3 p. (Embrapa Pecuária Sudeste .Comunicado Técnico, 39).

Swinkels, J. J. M. (1985). **Sources of starch, its chemistry and physics.** In G. M. A. VanBeynum & J. A. Roels (Eds.), *Starch conversion technology* (pp. 15-45). New York: Marcel Dekker, Inc.

TAGLIAPIETRA, F.; CATTANI, M.; BAILONI, L.; SCHAIVON, S. *In vitro* rumen fermentation: Effect of headspace pressure on the gas production kinetics of corn meal and meadow hay. **Animal Feed Science and Technology**, n. 158, p.197-201, 2010.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S. et al. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, n.48, v.3-4, p.185-197, 1994.

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

VELÁSQUEZ, P. A. T. **Composição química, digestibilidade e produção de gases “*in vitro*” de três espécies forrageiras tropicais.** 2006. 77p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias “Júlio de Mesquita Filho”, Universidade Estadual de São Paulo, 2006.

VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 1. Est parameters of digestion. **Journal of Theoretical Biology**. 2008.

ZEOULA, L. M. e CALDAS NETO, S. F. **Recentes avanços em amido na nutrição de vacas leiteiras.** In: TEXEIRA, J.C.; SANTOS, R.A.; DAVID, F.M. e TEIXEIRA, L.F.A.C. Simpósio internacional em bovinocultura de leite: Novos conceitos em nutrição, 2. Lavras: UFLA-FAEPE, 2001. 298p. 249-284p. 2001.