

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA

**POTENCIAL FORRAGEIRO DE UM HÍBRIDO DE SORGO
COM CAPIM-SUDÃO PORTADOR DA MUTAÇÃO *bmr*
COLHIDO EM QUATRO ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO**

PEDRO DIAS SALES FERREIRA

BELO HORIZONTE
2016

Pedro Dias Sales Ferreira

Potencial forrageiro de um híbrido de sorgo com capim-sudão portador da mutação *bmr* colhido em quatro estádios de maturação

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Zootecnia.

Área de Concentração: Nutrição e Alimentação Animal

Orientador: Prof. Lúcio Carlos Gonçalves

Belo Horizonte
Escola de Veterinária da UFMG
2016

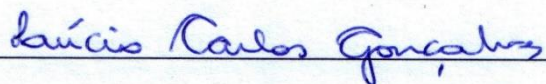
F383p Ferreira, Pedro Dias Sales, 1988-
Potencial forrageiro de um híbrido de sorgo com capim-sudão portador da mutação *bmr* colhido em quatro estádios de maturação / Pedro Dias Sales Ferreira. – 2016.
100 p. : il.

Orientador: Lúcio Carlos Gonçalves
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária
Inclui bibliografia

1. Ovino – Alimentação e rações – Teses. 2. Capim-sudão – Teses. 3. Sorgo – Teses.
4. Valor nutricional – Teses. 5. Digestibilidade – Teses. 6. Degradabilidade – Teses.
I. Gonçalves, Lúcio Carlos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária.
III. Título.

CDD – 636.308 5

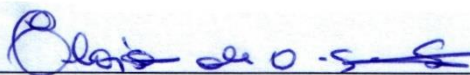
TESE defendida e aprovada em 15 de fevereiro de 2016 pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Lúcio Carlos Gonçalves
(Orientador)



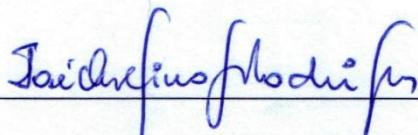
Prof. Diogo Gonzaga Jayme



Prof.ª Eloísa de Oliveira Simões Saliba



Prof. Gustavo Henrique de Frias Castro



Dr. José Avelino Santos Rodrigues

“Out beyond the ideas of wrong and right there is a field... I'll meet you there.”

Rumi, 13th Century

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por todas as oportunidades concedidas até o momento.

Ao Professor Lúcio Carlos Gonçalves pela brilhante orientação, pela amizade e por toda a confiança depositada em mim desde os tempos da Iniciação Científica.

Ao Dr. José Avelino Santos Rodrigues pela parceria na execução deste e de outros trabalhos e por estar sempre disponível para ajudar.

Ao Professor Diogo Gonzaga Jayme pelo aprendizado e especialmente pelo exemplo de profissional.

Ao Professor Gustavo Henrique de Frias Castro pelas valiosas contribuições a este trabalho.

À Professora Eloísa de Oliveira Simões Saliba por todo suporte prestado durante o curso, especialmente em relação às análises laboratoriais.

Aos colegas da pós-graduação e amigos do grupo de pesquisa pela amizade e pela grande contribuição na execução deste trabalho.

A toda minha família, que soube entender os momentos de ausência e preencheu com alegria os momentos de descontração.

À minha noiva Dalinne, pelo amor incondicional e recíproco.

Ao Colegiado de Pós-Graduação em Zootecnia por todo o suporte prestado durante o curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Milho e Sorgo pela parceria na condução da parte de campo deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento do projeto de pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço a todos que torceram por mim!

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
INTRODUÇÃO.....	15
CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA.....	18
Híbridos de sorgo com capim-sudão.....	18
As ligninas e a mutação <i>bmr</i>	26
Alterações agronômicas nos mutantes <i>bmr</i>	33
Valor nutricional e desempenho animal utilizando mutantes <i>bmr</i>	35
Referências bibliográficas.....	39
CAPÍTULO II - Agronomic traits, chemical composition and ruminal degradation kinetics of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid at four maturities.....	50
Abstract.....	50
Introduction.....	51
Materials and methods.....	52
Results and discussion.....	55
Conclusions.....	63
Resumo.....	65
References.....	67

CAPÍTULO III - Intake, digestibility and nitrogen utilization by sheep fed a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at different maturities.....	79
Abstract.....	79
Introduction.....	80
Materials and methods.....	81
Results and discussion.....	83
Conclusions.....	89
Resumo.....	90
References.....	92
 CAPÍTULO IV - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 100

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Table 1 - Agronomic traits of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities.....	74
Table 2 - Dry matter and ash content of the whole plant, stems, leaves and panicles of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities.....	75
Table 3 - Neutral detergent fiber, acid detergent fiber and acid detergent lignin content of the whole plant, stems, leaves and panicles of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities.....	76
Table 4 - Crude protein content and <i>in vitro</i> dry matter digestibility (IVDMD) of the whole plant, stems, leaves and panicles of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities.....	77
Table 5 - <i>In situ</i> degradation kinetics of dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF) and crude protein (CP) of the whole plant of a bmr mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities.....	78

CAPÍTULO III

Table 1 - Chemical composition and <i>in vitro</i> dry matter digestibility of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at different maturities.....	97
Table 2 - Intake, digestibility and energy content of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at different maturities.....	98
Table 3 - Nitrogen (N) utilization by sheep fed a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at different maturities.....	99

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 - Monômeros de lignina: I - Siringila, II - Guaiacila, III - *p*-Hidroxifenila..... 27

Figura 2 - Modelo simplificado da via de biossíntese da lignina, em que a enzima OMT (O-metiltransferase) catalisa a adição de um grupo metil ao 5-hidroxi-coniferaldeído e a enzima CAD (cinamil álcool desidrogenase) catalisa a redução dos aldeídos *p*-cumaraldeído, coniferaldeído e sinapaldeído a seus respectivos álcoois no passo final da síntese dos monômeros da lignina. Mutantes *bm₃* e *bmr-12* apresentam deficiência da enzima OMT e mutantes *bm₁* e *bmr-6* apresentam deficiência da enzima CAD..... 30

CAPÍTULO II

Figure 1 - Rainfall, minimum and maximum temperatures and relative humidity during the experiment..... 73

RESUMO

A utilização de híbridos de sorgo com capim-sudão contribui com o desenvolvimento de sistemas de produção baseados na utilização de forragem de alta qualidade durante o ano todo. Esse trabalho foi executado com o objetivo de determinar os efeitos do avanço do estágio de maturação do híbrido de sorgo com capim-sudão portador da mutação *bmr* BR007A*bmr* x TX2785R*bmr* sobre suas características agronômicas, composição química, cinética de degradação ruminal, consumo, digestibilidade e utilização do nitrogênio (N) por ovinos. O híbrido foi avaliado aos 77, 84, 91 e 98 dias (d) após a semeadura. A altura das plantas, produtividade de matéria seca e matéria seca digestível, porcentagem de colmos e porcentagem de panículas aumentaram linearmente ao longo do tempo enquanto a porcentagem de folhas diminuiu linearmente. O teor de matéria seca (MS) das plantas inteiras variou de 12,3 a 15,2% e apresentou efeito quadrático. O teor de fibra em detergente neutro (FDN) das plantas inteiras variou de 59,1 a 68,4% e aumentou linearmente. Os conteúdos médios de fibra em detergente ácido (FDA) das plantas inteiras, colmos e folhas foram de 36,8, 40,4 e 31,5%, respectivamente. O teor de lignina detergente ácido das plantas inteiras e colmos variaram de 2,9 a 4,4% e 3,2 a 4,4%, respectivamente, e aumentaram linearmente. Os teores médios de proteína bruta (PB) das plantas inteiras e folhas foram de 10,2 e 17,4%, respectivamente. As digestibilidades *in vitro* da MS das plantas inteiras, colmos e folhas variaram de 64,9 a 75,9, 60,6 a 73,7 e 63,5 a 68,9%, respectivamente, e diminuíram linearmente ao longo do tempo. A fração solúvel da PB foi elevada (>44%) em todos os estádios avaliados. As frações não degradáveis da MS e da PB aumentaram linearmente com a maturidade, enquanto as taxas de desaparecimento e as degradabilidades efetivas da MS, FDN e PB diminuíram linearmente. Os consumos de MS, MS digestível, PB, PB digestível, FDN e FDN digestível variaram de 76,8 a 54,0; 49,0 a 31,6; 9,40 a 6,02; 5,86 a 2,88; 45,5 a 32,1 e 27,1 a 17,0 g kg⁻¹ PV^{0.75} d⁻¹, respectivamente, e reduziram linearmente com o avanço da maturidade. As digestibilidades da MS, PB e FDN variaram de 63,5 a 52,3; 61,9 a 45,1 e 59,2 a 47,3%, respectivamente, e diminuíram linearmente ao longo das idades ao corte. O conteúdo de energia digestível desse híbrido variou de 2,50 a 2,10 Mcal kg⁻¹ MS e diminuiu de forma linear com o avanço da maturidade. O N ingerido, N urinário, N retido e a razão entre N retido e N ingerido variaram de 23,1 a 15,0 g d⁻¹; 7,25 a 4,14 g d⁻¹; 7,11

a 2,67 g d⁻¹ e 30,7 a 17,6%, respectivamente, e também diminuíram de forma linear ao longo do tempo. O N fecal médio foi 8.21 g d⁻¹, sem efeito do estágio de maturação. O híbrido avaliado apresenta elevado valor nutricional e potencial produtivo, mas ocorre redução do valor nutricional e aumento da produtividade com o avanço do estágio de maturação.

Palavras-chave: degradabilidade *in situ*, digestibilidade *in vivo*, consumo voluntário, produtividade, sorgo de corte e pastejo, valor nutricional

ABSTRACT

The use of sorghum-sudangrass hybrids contributes to the development of systems that produce high-quality forages year-round. The objective of this research was to determine the effect of maturity stage of the brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid BR007Abmr x TX2785Rbmr on the agronomic traits, chemical composition, ruminal degradation kinetics, intake, digestibility and nitrogen (N) utilization by sheep. The hybrid was evaluated at 77, 84, 91 and 98 days (d) after sowing. Plant height, dry matter yield, digestible dry matter yield, percentage of stems and percentage of panicles increased linearly over time whereas the percentage of leaves decreased linearly. Whole plant dry matter (DM) content ranged from 12.3 to 15.2% with quadratic effect. Whole plant neutral detergent fiber (NDF) ranged from 59.1 to 68.4% and increased linearly. Mean acid detergent fiber (ADF) content of the whole plant, stems and leaves were 36.8, 40.4 and 31.5%, respectively. Acid detergent lignin content of the whole plant and stems varied from 2.9 to 4.4% and 3.2 to 4.4%, respectively, and increased linearly. Whole plant and leaves mean crude protein (CP) content were 10.2% and 17.4%, respectively. *In vitro* DM digestibility of the whole plant, stems and leaves ranged from 64.9 to 75.9, 60.6 to 73.7 and 63.5 to 68.9%, respectively, and decreased linearly over time. The soluble fraction of CP was high (>44%) in all evaluated stages. The undegradable fraction of DM and CP linearly increased with maturity, while ruminal disappearance rate and effective degradability of DM, NDF and CP linearly decreased. DM, digestible DM, CP, digestible CP, NDF and digestible NDF intake ranged from 76.8 to 54.0, 49.0 to 31.6, 9.40 to 6.02, 5.86 to 2.88, 45.5 to 32.1 and 27.1 to 17.0 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹, respectively, and decreased linearly with advancing maturity. DM, CP and NDF digestibility ranged from 63.5 to 52.3, 61.9 to 45.1 and 59.2 to 47.3%, respectively, and decreased linearly along the harvest ages. The digestible energy content of this hybrid ranged from 2.50 to 2.10 Mcal kg⁻¹ DM and decreased linearly with advancing maturity. N intake, urinary N, retained N and the ratio between retained N and N intake ranged from 23.1 to 15.0 g d⁻¹, 7.25 to 4.14 g d⁻¹, 7.11 to 2.67 g d⁻¹ and 30.7 to 17.6%, respectively, and also decreased linearly along time. Fecal N was not influenced by the maturity stage and presented a mean value of 8.21 g d⁻¹. The hybrid evaluated herein presents high nutritional value and yield

potential but the nutritional values decreases and the yield potential increases with advancing maturity.

Key-words: green chop and grazing sorghum, *in situ* degradability, *in vivo* digestibility, nutritional value, voluntary feed intake, yield

INTRODUÇÃO

A pecuária bovina é um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro e, conseqüentemente, da economia nacional. O Valor Bruto da Produção (VPB) da pecuária de corte previsto para 2015, ou seja, a expressão monetária da soma de todos os bens e serviços produzidos por esse setor é de R\$ 70,4 bilhões e o da pecuária de leite é de R\$27,5 bilhões. Os dois setores somados superam o VBP do complexo soja, cuja previsão para 2015 é de R\$ 93,6 bilhões (Brasil, 2015). O Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo (213 milhões de cabeças), foi o segundo maior produtor e o terceiro maior exportador mundial de carne bovina em 2015 (USDA, 2016). O Brasil é o quinto maior produtor mundial de leite - com 35 bilhões de litros produzidos em 2014 - perdendo apenas para União Europeia, Índia, Estados Unidos e China (IBGE, 2014).

Apesar de apresentar números expressivos no cenário internacional, a pecuária brasileira ainda é caracterizada por apresentar índices de produtividade considerados baixos. À exemplo disso, a produtividade média de leite em 2014 foi de apenas 1.525 litros/vaca/ano, o que representou um crescimento de apenas 2,2% em relação ao ano de 2013 (IBGE, 2014). De acordo com o último Censo Agropecuário (IBGE, 2006) o Brasil possui aproximadamente 160 milhões de hectares destinados às pastagens, porém grande parte delas está degradada e a bovinocultura é realizada a uma taxa de lotação média de apenas 1,3 animais/ha. De acordo com projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento as somas das demandas interna e externa por carne e leite no Brasil em 2023 passarão a ser de 13,6 milhões de toneladas e 46,8 bilhões de litros, respectivamente (Brasil, 2014). Para atender essa demanda será necessário obter aumentos na ordem de 44,3 e 33,1%, respectivamente para a produção de carne e leite, em apenas oito anos.

Tendo em vista esse cenário caracterizado por um acentuado aumento projetado para os próximos anos na demanda por proteínas de origem animal no Brasil e no mundo e uma pecuária nacional pujante, mas com baixos índices de produtividade, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento lançou o Plano Mais Pecuária, cujas principais metas são elevar a produtividade média de leite para 2.000 litros/vaca/ano e a taxa de lotação das pastagens média para 2,6 animais/ha até o ano de 2023 (Brasil, 2014). Dentre as estratégias viáveis para alcançar essas metas e manter o Brasil como país de destaque no setor agropecuário no médio/longo prazo, a utilização de tecnologias que visam

equilibrar a oscilação anual na disponibilidade e na qualidade das pastagens apresenta grande impacto, já que a estacionalidade na produção de forragem pode ser considerada como um importante fator que contribui com os baixos índices de produtividade observados.

A utilização de híbridos de sorgo com capim-sudão tem merecido destaque, principalmente em função de características como flexibilidade de épocas de plantio, rápido estabelecimento e crescimento, alta produtividade, bom valor nutricional e tolerância à seca. No Brasil Central os híbridos de sorgo com capim-sudão podem ser utilizados logo no início da estação chuvosa - quando as pastagens perenes ainda não se encontram bem desenvolvidas - ou no final dela, postergando e reduzindo a necessidade de utilização de volumosos suplementares e dilatando o período de oferta de forragem de alta qualidade.

Plantas mutantes *bmr* (do inglês *brown midrib*, ou nervura central marrom) são caracterizadas por apresentar redução no conteúdo de lignina e/ou alterações em sua composição monomérica, o que proporciona uma maior digestibilidade da parede celular vegetal. O programa de melhoramento genético de plantas forrageiras desenvolvido pela Embrapa Milho e Sorgo tem selecionado novos híbridos de sorgo com capim-sudão, incluindo genótipos portadores da mutação *bmr*, que devem ser avaliados para utilização na alimentação de ruminantes antes de serem utilizados comercialmente.

Apesar dos trabalhos publicados por Ademosum et al. (1968), Worker Jr. (1973) e Ferreira et al. (2015) mostrarem queda do valor nutricional com o avanço do estágio de maturação de híbridos de sorgo com capim-sudão e essa ser a resposta mais frequente observada em gramíneas tropicais, poucos são os trabalhos que avaliaram o valor nutricional do sorgo de corte e pastejo em diferentes idades ao corte. Informações sobre como ocorrem as mudanças no valor nutricional e produtividade dessa forrageira ao longo do tempo fornecem subsídios para a tomada de decisão quanto ao momento ideal para utilização dessa forrageira.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do estágio de maturação de um híbrido de sorgo com capim-sudão portador da mutação *bmr* sobre suas características agronômicas e valor nutricional para ruminantes. O primeiro capítulo é uma revisão de literatura que aborda, de forma geral, a utilização do sorgo de corte e pastejo e a mutação *bmr*. O segundo capítulo aborda o impacto do estágio de maturação sobre as características agronômicas, composição química e cinética de degradação ruminal. O terceiro capítulo aborda o consumo voluntário, digestibilidade aparente e utilização do

nitrogênio por ovinos alimentados com o híbrido de sorgo com capim-sudão portador da mutação *bmr* em quatro estádios de maturação. O quarto capítulo apresenta as considerações finais, integrando as informações mais relevantes obtidas nos capítulos anteriores.

CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

Híbridos de sorgo com capim-sudão

Características gerais

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma gramínea de origem africana e asiática que foi introduzida no Brasil no início do século XVII e vem sendo utilizada principalmente para produção de grãos e de forragem. É uma espécie anual ou perene de vida curta capaz de produzir em uma grande variedade de solos. É bastante resistente ao estresse hídrico, sendo que alguns cultivares desenvolvem-se com precipitações abaixo de 350 mm anuais. Morfologicamente o sorgo é caracterizado por apresentar hastes grossas e folhas largas, à semelhança do milho (*Zea mays* L.), e sua principal forma de utilização como forrageira é para produção de silagem. O capim-sudão (*Sorghum sudanense* Piper Stapf) é uma espécie originária do Sudão e sul do Egito que foi introduzida nos Estados Unidos em 1909 e logo em seguida trazida para o Brasil, Argentina e Uruguai. É uma planta de ciclo anual que também pode desenvolver-se em uma grande variedade de solos e em locais com baixa pluviosidade. Apresenta numerosos colmos eretos que podem atingir 2 a 3 m de altura e 3 a 9 mm de diâmetro, folhas longas (30 a 60 cm) e estreitas (8 a 15 mm), rápido crescimento, alta capacidade de perfilhamento e excelente recuperação após corte ou pastejo, o que permite utilizações sucessivas. Consequentemente, é mais adaptado para utilização na forma pastejo direto, corte verde e produção de feno (Araújo, 1972; Bogdan, 1977).

Híbridos de sorgo com capim-sudão (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*), geralmente obtidos pelo cruzamento de uma linhagem macho de capim-sudão com uma linhagem fêmea de sorgo, apresentam características intermediárias entre as espécies parentais. Apresentam grande velocidade de estabelecimento e crescimento, alta capacidade de perfilhamento e rebrota após corte ou pastejo, facilidade e baixo custo de implantação, tolerância à seca, alto valor nutricional e grande capacidade de produção de matéria seca (Rodrigues, 2000). Em relação às formas de utilização, Bogdan (1977) considera que os genótipos que mais se assemelham ao sorgo são mais adequados para corte e fornecimento verde e para a ensilagem, enquanto os mais próximos ao capim-

sudão são mais indicados para o pastejo e para a fenação. No entanto, Rodrigues (2000) afirma que a fenação desse material é mais complexa, uma vez que o alto conteúdo de água no colmo dificulta a desidratação da planta até o ponto satisfatório e que a ensilagem não é recomendada, em função da baixa produção de grãos e do alto teor de umidade no ponto ideal de colheita. Dessa forma, considera que características como crescimento rápido e perfilhamento vigoroso e abundante tornem os híbridos de sorgo com capim-sudão uma forrageira especializada para o fornecimento verde (corte ou pastejo).

Plantio e produtividade

O plantio do híbrido de sorgo com capim-sudão é realizado por meio de sementes e o procedimento adotado pode ser em linhas ou a lanço. Para o plantio em linhas, com o objetivo de facilitar o corte mecanizado para fornecimento no cocho, recomenda-se o uso de 10 a 12 kg de sementes/ha, com espaçamento entre linhas de 0,30 a 0,60 m e população na colheita de 200 a 300 mil plantas/ha. Para o plantio a lanço, com o objetivo de se realizar pastejo ou cobertura morta, recomenda-se o uso de 20 a 30 kg de sementes/ha e uma população de 600 mil plantas/ha (Ribas, 2008).

A época de plantio exerce muita influência sobre a produtividade de forragem em decorrência de fatores climáticos, especialmente umidade, temperatura e luminosidade. Entretanto, procura-se aliar a época de plantio com a demanda de forragem. No Sul do Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul, o sorgo de corte e pastejo pode ser semeado no início da primavera, no mês setembro, para ser utilizado durante o verão, enquanto forrageiras anuais apropriadas são utilizadas durante o inverno (Pereira et al., 1993). No Brasil Central, o plantio pode ser realizado no final da estação chuvosa, de forma que permita três cortes ou ciclos de pastejo nos meses que antecedem o inverno. Nesse caso, pode-se realizar plantio de sucessão, após a retirada de uma cultura precoce de verão. Para Silva (1988), a sucessão de culturas constitui uma prática agrícola que permite a utilização mais racional da terra, o aproveitamento da adubação residual da cultura anterior e a otimização no uso de equipamentos agrícolas. Alternativamente, o plantio pode ser feito no final do inverno e início da primavera, nos meses de agosto e setembro, para suprir a falta de forragem que ocorre no início do verão, quando já se esgotaram as reservas para a seca e as pastagens perenes ainda não se apresentam bem desenvolvidas (Zago, 1997).

Nesse sentido, os híbridos de sorgo com capim-sudão não devem ser encarados como uma solução forrageira única e concorrente de outras fontes de alimentos volumosos. Para sistemas de produção em regiões subtropicais (Sul do Brasil) o sorgo de corte e pastejo complementa os pastos de verão, mas não substitui os pastos de inverno. No Sudeste e em todo o Brasil Central deve ser encarado como uma solução complementar às pastagens tropicais perenes na transição secas/águas e complementar às forragens conservadas ou cana-de-açúcar na transição águas/secas, de forma a prolongar o período de oferta de forragem de alto valor nutricional na propriedade e reduzir o tempo de utilização de outros recursos forrageiros suplementares, como os já citados anteriormente (Lima et al., 2005)

A produtividade destes híbridos depende de condições climáticas adequadas e da fertilidade do solo. A combinação destes fatores é essencial para que a mesma expresse seu potencial, pois a ocorrência de deficiência hídrica influencia negativamente a produção de massa seca de forragem. Outro fator determinante da produtividade dessa cultura é o estágio de maturação no momento da colheita. As maiores produtividades são obtidas com cortes em estádios mais avançados de desenvolvimento, mas, embora ganhe-se em produção, perde-se em qualidade e aumentam-se as perdas por pisoteio animal, quando utilizado para pastejo (Bishnoi et al., 1993; Silveira et al., 1984; Simili et al., 2011). De acordo com Zago (1997), plantios efetuados em fevereiro têm proporcionado produções entre 9 e 12 toneladas de matéria seca por hectare em três cortes sucessivos sem irrigação, o que equivale a uma produção de 40 a 60 toneladas de forragem verde por hectare.

Tomich et al. (2004), trabalhando com 23 genótipos experimentais e dois cultivares controle de híbridos de sorgo com capim-sudão, plantados em outubro e colhidos 57 dias após o plantio, obtiveram produções de matéria verde variando de 24,4 a 37,8 t/ha e de matéria seca de 3,5 a 5,8 t/ha, em um único corte. Gontijo et al. (2008a), trabalhando com seis híbridos de sorgo com capim-sudão plantados no mês de agosto e submetidos a três cortes sucessivos (50 dias após o plantio, 26 e 27 dias de rebrota), obtiveram produções de matéria verde variando de 54,1 a 73,5 t/ha e de matéria seca de 6,9 a 9,1 t/ha, somando-se os três cortes. De acordo com os autores, esses resultados revelam o potencial desses híbridos para serem utilizados como alternativa para a produção de forragem no início do período chuvoso no Brasil Central.

Ferreira et al. (2015) avaliaram quatro híbridos de sorgo com capim-sudão em quatro estádios de maturação (52, 61, 67 e 74 dias após o plantio) e obtiveram produção

de matéria verde variando de 28,9 a 48,0 t/ha. Em relação à produção de matéria seca os valores encontraram-se entre 2,4 e 7,6 t/ha, sendo que todos os híbridos apresentaram aumento linear da produtividade com o aumento da idade ao corte caracterizado por uma taxa de acúmulo de matéria seca de 164 kg/ha/dia. Também foi avaliada a produtividade de matéria seca digestível, cujos valores ficaram entre 1,4 e 4,1 t/ha e também aumentaram de forma linear ao longo das idades ao corte a uma taxa de 89 kg/ha/dia. No mesmo trabalho, a relação folha colmo dos híbridos avaliados variou de 0,34 a 0,75 e reduziu de forma linear ao longo do tempo. Esses autores concluíram que, apesar do aumento da produtividade ao longo do tempo, a redução da relação folha/colmo indica queda do valor nutritivo desses híbridos com a maturidade.

Simili et al. (2011), avaliando um híbrido de sorgo com capim-sudão plantado em duas épocas (dezembro e março) empregando-se diferentes taxas de semeadura (12, 16 e 20 kg de sementes/ha) e espaçamentos entre linhas (0,40 e 0,80 m) e submetido ao pastejo em torno de 33 dias após o plantio, obtiveram produtividade de matéria seca média de 3,2 e 3,1 t/ha por ciclo nas duas épocas de plantio, respectivamente, sendo que essa variável não foi influenciada pela taxa de semeadura. Em relação ao espaçamento entre linhas, quando o plantio foi realizado em dezembro, o espaçamento de 0,40 m proporcionou maior produtividade de matéria seca (3,4 x 3,0 t/ha), embora a perda de forragem por pisoteio também tenha sido superior nesse espaçamento (891 x 639 kg de matéria seca/ha). Quando o plantio foi realizado em março, o espaçamento entre linhas não influenciou a produtividade nem a perda de forragem por pisoteio. Também Simili et al. (2010), avaliando a resposta à adubação potássica e nitrogenada de um híbrido de sorgo com capim-sudão plantado em março e submetido a 4 ciclos de pastejo, não observaram diferenças na produtividade de matéria seca, que foi de 11,2 t/ha, em função das diferentes doses de nitrogênio (100, 200 e 300 kg de nitrogênio/ha) e potássio (0, 80 e 160 kg de K₂O/ha) utilizadas. Os autores atribuíram a ausência de aumento da produtividade em função da dose de nutrientes à alta fertilidade original do solo e às condições climáticas vigentes na época do experimento (baixas temperaturas e precipitação).

Neumann et al. (2010), trabalhando com quatro híbridos de sorgo com capim-sudão submetidos ao corte 40, 75, 110 e 145 dias após o plantio observaram um comportamento quadrático para a produção de matéria seca, com pontos de máxima acumulação aos 77,0; 84,9; 94,1 e 94,2 dias, respectivamente para os híbridos AG2501C, XBS79001, BR 800 e P-855F. Uzun et al. (2009), avaliando oito híbridos de sorgo de

corte e pastejo cortados em avançado estágio de maturação (109 a 136 dias após o plantio) obtiveram altas produtividades de matéria verde (variando de 42,7 a 97,4 t/ha) e de matéria seca (variando de 11,7 a 23,6 t/ha) em apenas um corte, o que se aproxima dos resultados obtidos por Sánchez et al. (2010) ao trabalharem com um híbrido de sorgo com capim-sudão submetido ao corte 106 dias após o plantio, que observaram produtividade de 14,8 t de matéria seca/ha em um único corte, muito embora o valor nutricional da forragem produzida nesses dois casos tenha sido inferior ao obtido quando planta é cortada ainda imatura. Kilcer et al. (2005) obtiveram diferentes produtividades quando um híbrido de sorgo com capim sudão foi manejado em diferentes alturas. Quando a altura média das plantas era de 0,81 m obteve-se, em três cortes sucessivos, 7,8 t de matéria seca/ha. Quando as plantas foram manejadas a uma altura média de 1,24 m foi possível realizar apenas dois cortes sucessivos durante a estação, devido ao maior intervalo necessário para atingir a maior altura, no entanto a produtividade total nos dois cortes foi superior, chegando a 11,8 t de matéria seca/ha. Esses autores ainda observaram que, apesar da queda na qualidade da forragem que ocorre com o aumento da produtividade, a produção de leite/ha predita apresentou uma alta correlação positiva com a produtividade de matéria seca.

Valor nutricional e desempenho animal

Dentre os principais fatores que interferem na composição química e tem efeito direto sobre o valor nutricional de uma forrageira é possível citar: o estágio de maturação, a época de corte, o nível de adubação, as características do solo, a proporção das partes da planta, a temperatura ambiental, a umidade, a luminosidade, bem como a interação entre esses fatores (Van Soest, 1994). De acordo com Rodrigues (2000), o valor nutricional dos híbridos de sorgo para corte e pastejo tem pouca variação entre as diferentes cultivares encontradas no mercado. Entretanto, a época da colheita afeta diretamente a qualidade nutricional. O teor de proteína bruta (PB) da forragem diminui drasticamente à medida que a planta se desenvolve, o mesmo acontecendo com a digestibilidade, em função do aumento significativo das frações fibrosas.

Ademosum et al. (1968) avaliaram o valor nutricional de um híbrido de sorgo com capim-sudão colhido em vários estágios de maturação. O primeiro corte foi realizado 52 dias após o plantio e os demais foram realizados em intervalos de três dias, até 85 dias após o plantio, totalizando 12 cortes. Nesse experimento, a altura das plantas variou de

0,86 a 2,28 m, o teor de PB variou de 19,6 a 10,3%, o teor de fibra em detergente ácido (FDA) variou de 29,9 a 37,8%, o teor de celulose variou de 24,6 a 34,5% e o teor de lignina variou de 2,6 a 4,5%, respectivamente para o primeiro e último corte. Esses autores ainda avaliaram o consumo e a digestibilidade, utilizando caprinos, do feno produzido com esse material ao longo dos 12 cortes. O consumo de matéria seca (MS) variou de 52,4 a 41,0 g/kg^{0,75}, o consumo de energia digestível variou de 156,9 a 103,4 kcal/kg^{0,75}, o coeficiente de digestibilidade da MS variou de 71,7 a 55,8%, o da PB variou de 77,4 a 61,6% e o da FDA variou de 60,1 a 47,2%, respectivamente para o primeiro e último corte.

Tomich et al. (2003), trabalhando com 25 híbridos de sorgo com capim-sudão colhidos 57 dias após o plantio, obtiveram teores de MS entre 13,8 e 17,7%, PB entre 11,3 e 14,2%, fibra em detergente neutro (FDN) entre 65,1 e 70,5%, FDA entre 37,4 e 41,9%, lignina entre 3,8 e 6,5% e degradabilidade *in vitro* da MS em 96 horas de incubação de 63,6 a 69,6%. Os valores de PB e degradabilidade *in vitro* encontrados nesse estudo estão acima dos frequentemente observados para outros recursos forrageiros utilizados como alternativa às pastagens, como as silagens de milho e sorgo, e de outras forrageiras utilizadas em regime de corte, como a cana-de-açúcar e o capim-elefante. Essa condição ressalta o potencial dos híbridos de sorgo com capim-sudão como alternativa para produção de forragem durante os períodos de queda na qualidade das pastagens.

Gontijo et al. (2008b) avaliaram seis híbridos de sorgo com capim-sudão em duas épocas de plantio e três cortes sucessivos e observaram valores médios de 57,0% para digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS), 16,3% para PB, 54,8% para FDN e 31,0% para FDA. Lima et al. (2005) avaliaram doze híbridos em três cortes sucessivos e observaram valores médios para DIVMS de 70,7%, 61,3% e 69,5%, PB de 19,4%, 16,4% e 15,7%, FDN de 52,2%, 58,4% e 56,9%, FDA de 24,5%, 31,9% e 29,3%, e lignina de 3,8%, 6,1% e 5,4%, respectivamente para o primeiro, segundo e terceiro corte. De acordo com os autores, pode-se observar que os híbridos avaliados apresentaram elevado valor nutricional em todos os cortes. No entanto, Uzun et al. (2009), avaliando híbridos de sorgo de corte e pastejo cortados em avançado estágio de maturação (109 a 136 dias após o plantio) observaram que, apesar de terem obtido altas produtividades, o valor nutricional obtido foi baixo, exemplificado pelos baixos teores de PB (6,8 a 9,0%) e altos teores de FDN (66,0 a 74,9%) e FDA (40,2 a 48,3%), o que se aproxima dos resultados obtidos por Sánchez et al. (2010) ao trabalharem com um híbrido de sorgo com capim-sudão submetido ao corte 106 dias após o plantio, que observaram teores de PB de 7,5%, FDN

de 64,6% e FDA de 45,6%. Esses resultados estão de acordo com o obtido por Edwards Jr. et al. (1971) e Worker Jr. (1973), que encontraram redução do valor nutricional com o avanço do estágio de desenvolvimento da planta.

Cunningham e Ragland (1971) avaliaram a produção de leite de vacas da raça Holandês em avançado estágio de lactação em pastejo rotativo de capim-sudão ou seu híbrido com o sorgo (sorgo de corte e pastejo). Durante o ensaio, a composição média do híbrido de sorgo com capim-sudão, que foi manejado a uma altura média de 0,95 m, foi de 12,1 % de MS, 16,5% de PB e 25,9% de fibra bruta, e não foi diferente da composição do capim-sudão. As vacas receberam concentrado com 13,5% de PB na proporção concentrado : produção de leite de 1 : 2,75. A produção de leite foi avaliada em cinco períodos de 10 dias, e variou de 13,2 a 18,5 kg de leite corrigido para 4% de gordura/dia, sem diferença entre as duas pastagens testadas.

Simili (2007) avaliou a produção de leite no outono (nos meses de abril, maio e junho) de vacas mestiças de Gir e Holandês em pastejo rotativo de sorgo de corte e pastejo com e sem suplementação de 3 kg de concentrado por dia. As produções de leite foram de 15,1 e 18,3 kg/dia para as vacas sem e com suplementação, respectivamente. Astigarraga et al. (2014) avaliaram a produção de leite de vacas da raça Holandês sob pastejo de dois híbridos de sorgo com capim-sudão na Argentina (um portador da mutação *bmr* e um normal) suplementadas com 4 kg de concentrado por dia. O híbrido mutante proporcionou maior produção de leite corrigido para gordura (18,5 x 17,8 kg/dia), produção de gordura (714 x 662 g/dia), produção de proteína (620 x 584 g/dia) e digestibilidade aparente da MS (65,0 x 60,3%).

Restle et al. (2002) avaliaram o desempenho de novilhos Nelore, Charolês e F1 Nelore x Charolês recriados em pastagens de híbridos de sorgo com capim-sudão em sistema de pastejo contínuo com lotação variável nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, totalizando 98 dias. Durante o período experimental o sorgo de corte e pastejo apresentou, em média, 10,0% de PB e DIVMS igual a 54,6%. O ganho de peso médio diário apresentado pelos animais foi de 1,12 kg/dia em uma taxa de lotação média de 1389 kg de peso vivo/ha (3,1 UA/ha), o que permitiu um ganho de 570 kg de peso vivo/ha (19@/ha) durante o período avaliado.

Esses resultados reforçam a viabilidade da utilização dos híbridos de sorgo com capim-sudão como fonte de forragem de alto valor nutritivo, inclusive no período de escassez de outros recursos forrageiros.

Glicosídeos cianogênicos

De acordo com Wheeler e Mulcahy (1989), todas as espécies do gênero *Sorghum* podem conter substâncias capazes de liberar ácido cianídrico (HCN), também conhecido como ácido prússico. No caso dos sorgos essa substância - conhecida como durrina - é um glicosídeo cianogênico presente nas células epiteliais que libera HCN quando em contato com a enzima β -glicosidase, presente nas células do mesófilo. Não existe HCN livre nas células do sorgo, por isso a habilidade da planta em liberar HCN deve ser referida como HCN potencial (HCNp). Não se sabe qual a função do glicosídeo cianogênico para a planta do sorgo, nem mesmo se ele faz parte do seu metabolismo primário ou se é um metabólito secundário, desenvolvido para defesa da planta contra pragas e doenças. O HCN, quando absorvido, provoca inibição da respiração celular por meio de inibição da enzima citocromo oxidase no último passo da fosforilação oxidativa na cadeia transportadora de elétrons, tornando as células incapazes de utilizar o oxigênio. Os sinais de intoxicação incluem dispnéia, excitação, convulsões, paralisia e morte, que pode ocorrer de 15 minutos até duas horas após a ingestão (Mayland e Cheeke, 1995).

Nos híbridos de sorgo com capim-sudão, Gillingham et al. (1969), Wheeler (1980) e Wheeler et al. (1990) observaram que as concentrações de glicosídeos cianogênicos foram significativamente influenciadas pela adubação, pelo genótipo, pela altura das plantas e pelas condições ambientais, citando como fatores que certamente são capazes de aumentar os teores de HCNp: a alta disponibilidade de nitrogênio (adubação nitrogenada), o suprimento inadequado de fósforo, a restrição hídrica, algum tipo de injúria, como por exemplo geadas, e práticas de manejo que resultem em altas proporções de folha em relação ao colmo. Ainda nesse sentido, de acordo com Zago (1997), a maturação da planta está associada ao declínio do teor de HCNp, em função do aumento proporcional das frações da planta com baixos teores de HCNp (nervuras, bainhas, colmos) em relação às partes com teores mais elevados (lâminas foliares).

Embora os teores elevados de glicosídeos cianogênicos possam acarretar - em situações específicas - em problemas de intoxicação em animais consumindo híbridos de sorgo com capim-sudão, geralmente o fornecimento dessa forragem não oferece nenhum risco de intoxicação quando as plantas alcançam 0,60 m de altura ou mais (Zago, 1997; Rodrigues, 2000). No entanto, com o objetivo de prevenir casos de intoxicação, recomenda-se: utilizar as plantas com altura acima de 1,0 m, realizar um processo de adaptação dos animais com fornecimento em níveis crescentes, retardar a utilização de

lavouras que tenham sido danificadas por granizo, geada, herbicida ou estresse hídrico até que as plantas tenham se recuperado da injúria sofrida e evitar o fornecimento a animais muito jovens ou que tenham passado por restrição alimentar.

As ligninas e a mutação *bmr*

Atualmente é grande o interesse por soluções que visam garantir a sustentabilidade das atividades agropecuárias e reduzir a dependência de petróleo como fonte energética. A produção de biomassa vegetal é um ponto em comum entre essas duas metas. Um componente universal dos vegetais, e o segundo polímero mais abundante do planeta (perdendo apenas para a celulose) é a lignina. O aproveitamento das forragens presentes nas dietas de ruminantes ou utilizadas como fonte de biomassa para a conversão biológica em combustíveis é limitado pela quantidade de lignina presente na forragem, portanto, é grande o interesse em aumentar a disponibilidade de energia dessa fonte. Uma das formas mais efetivas de se alcançar esse aumento é por meio da redução ou alteração da sua composição monomérica. A mutação *bmr* é uma das formas de se alterar a qualidade e a quantidade de lignina de forma a favorecer esse processo (Cherney et al., 1991).

A parede celular vegetal consiste em um complexo *pool* de polissacarídeos composto principalmente por microfibrilas de celulose (polímero de moléculas de glicose unidas por ligações β -1,4) interligadas por ligações de hidrogênio e conectadas por uma rede de hemiceluloses cuja estrutura e composição são espécie dependentes e, nas gramíneas, os principais constituintes são as glucuronoarabinoxilanas. A lignina, um polímero heterogêneo, hidrofóbico, ramificado e derivado de precursores aromáticos, realiza ligações covalentes cruzadas do tipo éter e éster entre esses polissacarídeos, enrijecendo e reforçando a estrutura da parede celular vegetal, sendo que a adição de polímeros de lignina à matriz de polissacarídeos cria uma barreira que é resistente à ação física, química e microbiana (Sticklen, 2008).

O polímero de lignina é derivado da via dos fenilpropanóides, assim como outros compostos fenólicos como os taninos e flavonóides, e contém, basicamente, três tipos de unidades monoméricas: *p*-hidroxifenila (H), guaiacila (G) e siringila (S), que se encontram em diferentes proporções de acordo com o tecido vegetal de origem e com o estágio de maturação do mesmo (Saliba, 1998; Dixon et al., 2001). Como pode ser observado na Figura 1, a diferença entre os monômeros dá-se pela presença de um grupo

metóxi (-O-CH₃) nos carbonos três e cinco do anel aromático na unidade S, apenas no carbono três na unidade G e ausência desse grupo no monômero H. Com algumas exceções, a lignina das gimnospermas é constituída apenas pela unidade G, a das angiospermas dicotiledôneas, como por exemplo as leguminosas, pelas unidades G e S e a das gramíneas pelas unidades G, S e uma pequena quantidade da unidade H (Vanholme et al., 2010). O monômero G é capaz de realizar uma série de ligações éter (β -O-4; α -O-4; β -5; 4-O-5; β - β e 5-5) entre cada unidade, formando uma estrutura em rede, enquanto o monômero S realiza apenas ligações éter do tipo β -O-4 entre cada unidade, formando uma estrutura linear (Ralph et al., 2004).

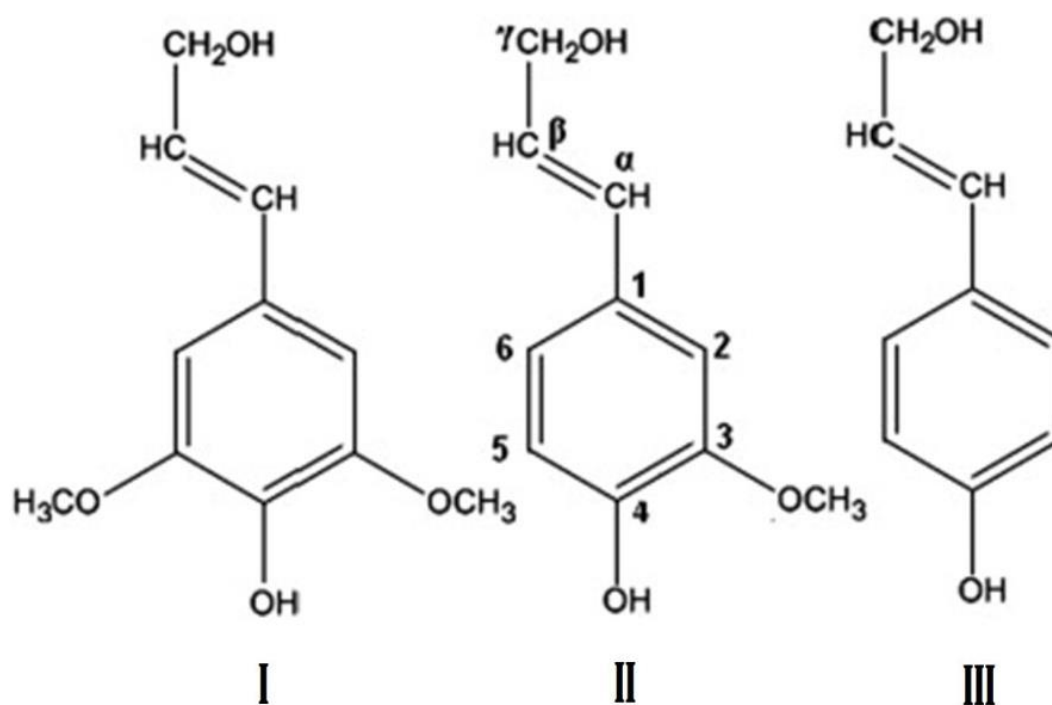


Figura 1 - Monômeros de lignina: I - Siringila, II - Guaiacila, III - *p*-Hidroxifenila.

Fonte: adaptado de Bose et al. (2009).

Existem evidências de que a proporção relativa das unidades monoméricas S e G no polímero de lignina exerce influência sobre a degradabilidade da parede celular (Reeves, 1985; Buxton e Russel, 1988; Jung e Casler, 1991). Em função da possibilidade de realização de um maior número de ligações, a presença do monômero G confere ao polímero uma estrutura mais condensada (Kishimoto et al., 2010). Portanto, era de se esperar que seu efeito inibitório sobre a degradabilidade da parede celular fosse mais

acentuado, mas a estrutura ramificada do monômero G faz com que ele tenha menor capacidade de penetração na parede celular vegetal secundária em relação ao monômero S, apresentando menor impacto negativo sobre a degradabilidade (Jung e Deetz, 1993).

Estudos com forragens em diferentes estádios de maturação indicam mudanças na razão de monômeros siringila/guaiacila ao longo do avanço do estágio de maturação em algumas espécies (Buxton e Russel, 1988), o que pode estar relacionado com o declínio no valor nutricional das forragens com a maturação. Além dos polímeros de lignina, as gramíneas contêm quantidades significativas dos ácidos hidroxicinâmicos *p*-cumárico e ferrúlico, que podem realizar ligações cruzadas do tipo éter e éster entre alguns polissacarídeos da parede celular e entre esses polissacarídeos e os polímeros de lignina, aumentando a resistência dessas estruturas à degradação enzimática (Boerjan et al., 2003; Grabber, 2005). Lapierre (1993) classifica o polímero de lignina propriamente dito como lignina *core* e os ácidos hidroxicinâmicos como lignina não *core*, em função de suas susceptibilidades relativas à hidrólise.

A lignina bloqueia a liberação de açúcares do *pool* de polissacarídeos da parede celular, apresenta ação inibitória sobre micro-organismos que fermentam esses açúcares a combustíveis ou a metabólitos utilizados por ruminantes como fonte de energia e aderem a enzimas hidrolíticas. Os processos de biossíntese da lignina, sua estrutura e função há muito são objeto de estudos que visam aumentar a digestibilidade da parede celular (Jung et al., 1999) e, mais recentemente, a manipulação da lignina se tornou alvo importante para o desenvolvimento de tecnologias associadas à produção de biocombustíveis derivados de biomassa vegetal (Chen e Dixon, 2007; Li et al., 2008).

A mutação *bmr* foi primeiro observada em 1924 em Saint Paul, Minnesota, Estados Unidos e ocorreu de forma espontânea em uma planta de milho (Jorgenson, 1931). Esse autor notou que as plantas mutantes apresentavam menor conteúdo de lignina em relação a seus pares isogênicos convencionais. Uma característica fenotípica causada por essa mutação é a pigmentação de coloração vermelho amarronzada que é particularmente visível na nervura central das folhas e também nos colmos, na medida em que se tornam mais lignificados. A pigmentação está associada à lignina, persistindo no resíduo da parede celular após remoção da celulose e das hemiceluloses (Cherney et al., 1991).

Desde então foram realizadas tentativas de se obter plantas mutantes *bmr* de forma artificial no milho e em outras espécies. De acordo com Ali et al. (2010) seis *loci* distintos relacionados à mutação *bmr* foram identificados no milho e chamados de *bm*₁ a

*bm*₆, sendo o *bm*₁ referente ao primeiro *locus*, descrito por Jorgenson (1931). Na década de 1970 pesquisadores da Universidade de Purdue utilizaram tratamento químico com dietil sulfato em sementes de sorgo e produziram 19 fenótipos com a mutação *bmr* (Porter et al., 1978; Bittinger et al., 1981). Testes de alelismo mais recentes realizados nessas plantas identificaram quatro *loci* distintos da mutação *bmr* no sorgo, que foram chamados de *bmr-2*, *bmr-6*, *bmr-12* e *bmr-18* (Saballos et al., 2008). Posteriormente essas plantas foram utilizadas em cruzamentos com o capim-sudão, gerando híbridos interespecíficos mutantes logo na primeira geração (Fritz et al., 1981). Em 1985 e 1986, por meio de tratamento químico de sementes com etil-metil sulfonato e dietil sulfato, Cherney et al. (1988) obtiveram uma linhagem de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) Leeke) mutante *bmr* e, desde então, essa mutação não foi observada em outras espécies (Sattler et al., 2010).

Diversos trabalhos têm demonstrado que os genes responsáveis pelas mutações *bmr* atuam reduzindo a atividade de enzimas que participam do processo de biossíntese das ligninas (Provan et al., 1997; Halpin et al., 1998; Li et al., 2015; Sattler et al., 2009; Sattler et al., 2014). Até o momento já foram identificados os genes correspondentes a seis *loci* dos já mencionados anteriormente, sendo eles o *bm*₁, *bm*₂, *bm*₃, *bmr-2*, *bmr-6* e o *bmr-12* (Sattler et al., 2014).

Os *loci* *bm*₃ e *bmr-12*, respectivamente presentes nas plantas de milho e sorgo, são responsáveis por uma deficiência da enzima OMT (O-metiltransferase). Essa enzima catalisa a transferência de um grupo metil ao 5-hidroxi-coniferaldeído, formando o sinapaldeído, nos passos finais da síntese de lignina (Figura 2). Como consequências da inibição dessa enzima a composição monomérica da lignina apresenta-se com uma drástica redução do monômero siringila, enquanto os monômeros *p*-hidroxifenila e guaiacila apresentam apenas uma redução moderada, levando a uma redução do conteúdo total de lignina e da relação siringila/guaiacila (Provan et al., 1997). O conteúdo de ácido *p*-cumárico e de ferrulatos com ligação éter também é reduzido e, além disso, um novo monômero, o 5-hidroxi-guaiacila, resultante do acúmulo de 5-hidroxi-coniferil álcool devido à redução da atividade da enzima OMT, apresenta-se em concentrações elevadas (Sattler et al., 2010).

Os *loci* *bm*₁ e *bmr-6*, respectivamente presentes nas plantas de milho e sorgo, são responsáveis por uma deficiência da enzima CAD (cinamil álcool desidrogenase). Essa enzima catalisa a redução dos aldeídos (*p*-cumaraldeído, coniferaldeído e sinapaldeído) a seus respectivos alcoóis (*p*-cumaril, coniferil e sinapil), logo antes da

incorporação desses compostos ao polímero de lignina (Figura 2). Como consequências da deficiência dessa enzima, a concentração total de lignina e de todos os seus monômeros (*p*-hidroxifenila, guaiacila e siringila) é reduzida e ocorre incorporação dos aldeídos coniferaldeído e sinapaldeído no polímero de lignina em substituição aos seus alcoóis correspondentes, o que é responsável pela pigmentação amarronzada nos tecidos lignificados (Sattler et al., 2010).

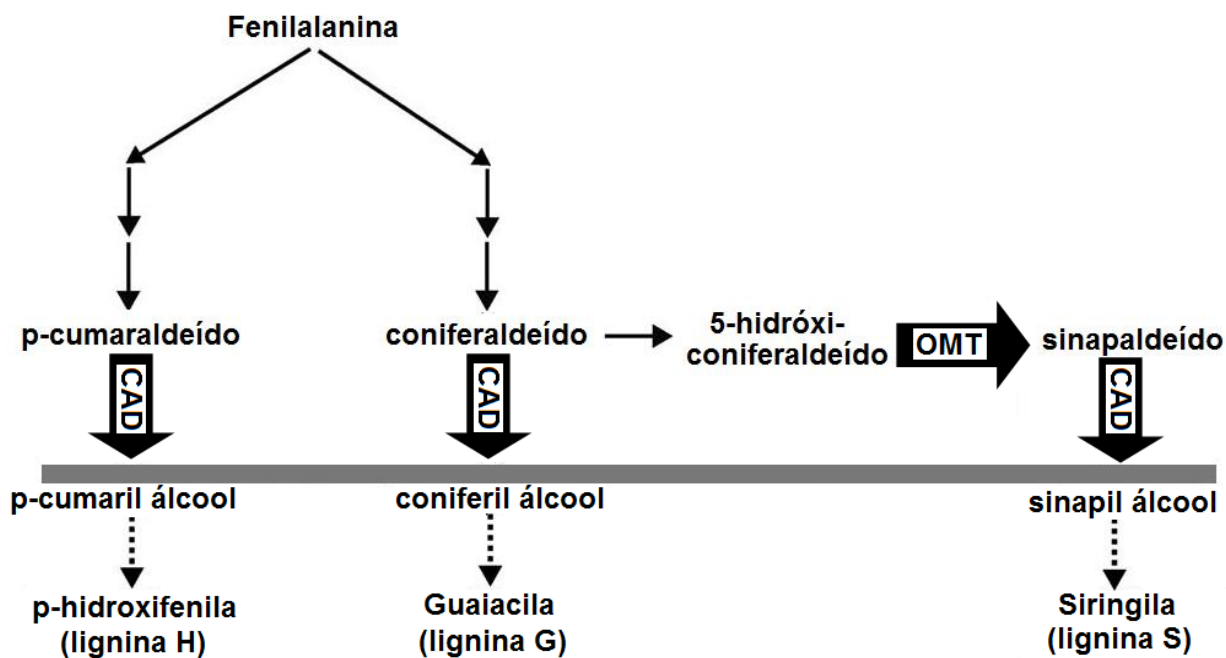


Figura 2: Modelo simplificado da via de biossíntese da lignina evidenciando as enzimas OMT (O-metiltransferase), que catalisa a adição de um grupo metil ao 5-hidroxi-coniferaldeído e a enzima CAD (cinamil álcool desidrogenase), que catalisa a redução dos aldeídos *p*-cumaraldeído, coniferaldeído e sinapaldeído a seus respectivos álcoois no passo final da síntese dos monômeros da lignina. Mutantes *bm*₃ e *bmr*-12 apresentam deficiência da enzima OMT e mutantes *bm*₁ e *bmr*-6 apresentam deficiência da enzima CAD. Fonte: adaptado de Sattler et al. (2010).

Saballos et al. (2012) identificaram que o *locus bmr-2* do sorgo codifica a enzima 4-cumarato coenzima A ligase (4CL), que catalisa um dos passos iniciais da síntese dos monômeros de lignina. Recentemente, o gene *bm*₂ do milho foi clonado e demonstrou-se que ele codifica a enzima metilenotetrahidrofolato redutase (MTHFR) (Tang et al., 2014). Essa enzima catalisa o passo limitante no metabolismo do folato para a síntese do doador

de metil S-adenosil-L-metionina (SAM) (Roje et al., 1999; Roje et al., 2002). SAM é um cofator para duas reações de metilação que ocorrem no processo de biossíntese dos monômeros de lignina catalisadas pelas enzimas cafeil-CoA O-metiltransferase (CCoAOMT) e O-metiltransferase (OMT), respectivamente. Os genes *bm₄*, *bm₅*, *bm₆* - no milho - e *bmr-18* - no sorgo - ainda não foram clonados e suas funções ainda não foram elucidadas (Sattler et al., 2014).

Com os avanços das biotecnologias associadas à manipulação genética, a elucidação parcial da complexa via de biossíntese das ligninas, as informações obtidas a partir de materiais mutantes *bmr* e a crescente demanda por fontes alternativas de energia renovável, vários esforços têm sido destinados ao desenvolvimento de plantas transgênicas, visando regular os genes das enzimas chave da via biossintética da lignina e, conseqüentemente, aumentar a capacidade de aproveitamento da energia contida nos carboidratos estruturais dos vegetais, seja para a produção de etanol, seja para a produção de carne, leite, etc. Isso tem permitido abranger o que ocorre nos vegetais mutantes *bmr* para outras espécies e também para outras enzimas, multiplicando as possibilidades de obtenção de materiais mais apropriados para produção de etanol e para a alimentação de ruminantes.

A exemplo disso, Guo et al. (2001) introduziram na alfafa (*Medicago sativa*) o gene que codifica a redução da atividade da enzima OMT - assim como ocorre nas plantas mutantes *bm₃* e *bmr-12* - e observaram redução no teor de lignina total e quase eliminação do monômero siringila, ao passo que a introdução do gene que codifica a redução da enzima CCoAOMT provocou redução no teor de lignina total sem alteração da proporção entre os seus monômeros. Quando avaliaram a degradabilidade ruminal *in situ* dessas plantas, ambas levaram a um aumento desse parâmetro, embora a deficiência da enzima CCoAOMT tenha provocado um aumento maior. Em outro estudo semelhante, Baucher et al. (1999) introduziram em algumas linhagens de alfafa o gene que codifica a redução da atividade da enzima CAD (assim como ocorre nas plantas mutantes *bm₁* e *bmr-6*) e observaram, em algumas linhagens produzidas, pigmentação amarronzada, menores quantidades dos monômeros S e G e maiores degradabilidades *in situ* da matéria seca e da parede celular.

Trabalhando com a espécie *Festuca arundinacea* - gramínea C3 perene abundante na América do Norte e Europa - Chen et al. (2003) utilizaram a transgenia para gerar 19 plantas com deficiência da enzima CAD. Dentre elas, duas se destacaram por apresentar menores teores de lignina total e dos monômeros S e G, menores relações S/G

e digestibilidades *in vitro* da matéria seca superiores em até 9,5 unidades percentuais em relação às plantas controle. Nesse estudo os autores também avaliaram algumas características agrônomicas (altura das plantas, hábito de crescimento, dias para a floração, número de perfilhos e produção de sementes) e não observaram diferenças entre as plantas normais e transgênicas. Esse foi o primeiro trabalho realizado em que a transgenia foi utilizada para alterar o conteúdo de lignina e aumentar o valor nutricional de uma gramínea utilizada em larga escala.

No milho a transgenia também já foi utilizada com sucesso para promover a inibição da enzima OMT, resultando em uma redução de até 31% no teor de lignina e em um aumento de 7,4% na digestibilidade *in vitro* do colmo, sendo que não foram observadas diferenças no rendimento de matéria seca entre plantas normais e transgênicas, que foram cultivadas em vasos (He et al., 2003). A inibição da enzima CAD nessa espécie resultou em alterações na composição da sua lignina (redução do monômero S e aumento dos monômeros G e H) sem alteração do teor de lignina total. As plantas transgênicas apresentaram uma maior digestibilidade *in vitro* e também um maior rendimento de etanol por kg de matéria seca (171,4 x 158,8 g/kg de matéria seca) e por m² (98,6 x 65,1 g/m²), sem alterações evidentes no desenvolvimento das plantas (Fornalé et al., 2012). Os dois autores evidenciaram a importância desses resultados obtidos em forrageiras tropicais, que geralmente apresentam menor valor nutricional em relação a forrageiras temperadas.

Outra espécie utilizada para a alimentação de ruminantes que tem atraído o interesse para a produção de etanol, principalmente em função da alta produtividade, rusticidade e pelo fato de ser perene é o *Panicum virgatum*, uma gramínea C4 conhecida como *switchgrass*. A redução da atividade da enzima OMT nessa espécie, obtida por meio de transgenia, provocou redução no teor de lignina e na relação S/G, o que resultou em um aumento de até 38% no rendimento de etanol dessa cultura (Fu et al., 2011a). Da mesma forma, a atividade da enzima CAD também foi inibida nessa espécie, provocando alterações quantitativas e qualitativas na lignina e levando a um aumento de até 59% na liberação de açúcares do *pool* de polissacarídeos da parede celular e de até 21% na sua digestibilidade *in vitro* da matéria seca (Fu et al., 2011b).

Esses resultados demonstram o grande potencial da utilização da transgenia no desenvolvimento de materiais de alta digestibilidade, no entanto são necessários estudos em maior escala, envolvendo desempenho animal e avaliações dos efeitos das alterações quantitativas e qualitativas da lignina sobre aspectos agrônomicos, como a produtividade

e a persistência das plantas. A utilização dessas tecnologias em gramíneas tropicais pode contribuir de forma significativa com nossos sistemas de produção de ruminantes, já que a maioria deles é baseada na utilização desse recurso forrageiro como a principal fonte de alimentação.

Alterações agronômicas nos mutantes *bmr*

As melhorias significativas na digestibilidade resultantes das alterações no conteúdo e composição monomérica da lignina são muitas vezes acompanhadas por alterações no crescimento e desenvolvimento das plantas. Vários trabalhos conduzidos com o objetivo de avaliar essas alterações em plantas de milho mutantes obtiveram menores rendimentos de grão (em média 20%) e de forragem (em média 16%), bem como menor resistência ao esmagamento do colmo e peso médio de seção do colmo, indicando maior susceptibilidade ao acamamento (Cherney et al., 1991). Por esse motivo, a utilização comercial de plantas mutantes *bmr* foi bastante limitada até os anos 1990.

Acredita-se que os efeitos da mutação *bmr* sobre a produtividade do sorgo sejam semelhantes aqueles encontrados no milho, apesar de que poucos trabalhos comparando o rendimento de linhagens isogênicas normais e mutantes tenham sido publicados (Sattler et al., 2010). Oliver et al. (2005) avaliaram o efeito da introdução dos genes *bmr-6* e *bmr-12* em algumas características agronômicas do sorgo. A altura das plantas foi influenciada significativamente pelos genes *bmr*, sendo que o híbrido normal apresentou maior altura que o mutante *bmr-12*, que apresentou altura superior ao mutante *bmr-6*. Nesse experimento o acamamento de plantas não foi afetado pela introdução dos genes *bmr*. A produtividade de MS foi afetada pela mutação *bmr*, sendo que o híbrido normal foi 10% mais produtivo que o mutante *bmr-12* e 15% mais produtivo que o mutante *bmr-6*. A produtividade variou de 10,1 t de MS/ha para o mutante *bmr-6* a 15,9 t de MS/ha para o híbrido normal. De acordo com esses autores, os genes *bmr* geralmente estão associados a características agronômicas negativas, mas não são expressos de forma uniforme. Nesse caso, o gene *bmr-12* causou menos impacto negativo nas características agronômicas em relação ao gene *bmr-6*.

Ferreira et al. (2015) avaliaram quatro híbridos de sorgo com capim-sudão em quatro idades ao corte. Dentre eles, dois constituíam um par isogênico normal e mutante *bmr-6*. Foi observado que a mutação provocou uma redução média de 25% na produtividade de matéria seca e de 19% na produtividade de matéria seca digestível e não

alterou o *stand* de plantas e a relação folha/colmo. Apesar de ter apresentado um menor potencial produtivo em relação ao seu par isogênico normal, o híbrido mutante *bmr* apresentou produtividade de matéria seca e de matéria seca digestível semelhantes às dos demais híbridos convencionais avaliados.

Beck et al. (2007) avaliaram a altura das plantas e a produtividade de dois híbridos de sorgo com capim-sudão mutantes *bmr* (Nutriplus *bmr* e Dry-Stalk *bmr*) em comparação com um híbrido normal (Sweet Sunny Sue), em várias idades ao corte (34, 41, 48, 55 e 63 dias). O híbrido normal apresentou maior altura em relação aos híbridos mutantes em todas as idades ao corte. Aos 34 dias os híbridos apresentaram produtividades semelhantes (1,44 t de MS/ha, em média) e aos 41 dias o híbrido normal apresentou maior produtividade (3,45 t de MS/ha) em relação aos mutantes (2,27 t de MS/ha, em média). Aos 48 dias o híbrido Dry-Stalk *bmr* apresentou maior produtividade (5,37 t de MS/ha) que o híbrido Nutriplus *bmr* (4,27 t de MS/ha) e o híbrido Sweet Sunny Sue apresentou valor semelhante aos outros dois (4,48 t de MS/ha). Aos 55 dias os híbridos mutantes apresentaram produtividades semelhantes, mas o híbrido normal foi superior ao mutante Nutriplus *bmr*. Aos 63 dias os híbridos mutantes apresentaram produtividades semelhantes, mas o híbrido normal foi superior ao mutante Dry-Stalk *bmr*. Apesar desse experimento não ter comparado pares isogênicos, ele mostra que híbridos de sorgo com capim-sudão mutantes *bmr* podem apresentar um potencial produtivo semelhante ao de híbridos normais de outras linhagens, à semelhança do que foi observado no trabalho citado anteriormente (Ferreira et al., 2015).

Casler et al. (2003) avaliaram, dentre outras características, o desempenho produtivo dos cultivares de capim-sudão Piper e Greenleaf normais e de seus pares isogênicos mutantes *bmr-6*, em dois cortes sucessivos e em dois locais e anos diferentes. De uma forma geral, no primeiro corte as plantas mutantes apresentaram produtividade de matéria seca 15% inferior a das plantas normais, já no segundo corte essa diferença aumentou para 30%. Entretanto, as alterações na produtividade não ocorreram de forma uniforme nas duas localidades onde foi realizado o experimento, sendo que em uma delas a produtividade do cultivar Greenleaf no primeiro corte foi igual para as plantas normais e mutantes. De acordo com os autores essa instabilidade ambiental sugere que o *locus bmr-6* é sensível a fatores ambientais ou está ligado ou interagindo com outros *loci* que são controlados por alelos sensíveis a fatores ambientais. Isso corrobora com a colocação de Cherney et al. (1991) de que a expressão das mutações *bmr* são frequentemente

modificadas pelo ambiente e pela linhagem de células em que são expressadas e justifica a importância de se testar os efeitos desses genes em ambientes diversos.

Valor nutricional e desempenho animal utilizando mutantes *bmr*

Ferreira et al. (2015) avaliaram o efeito da mutação *bmr-6* sobre o valor nutritivo de um par isogênico de híbrido de sorgo com capim-sudão em quatro estádios de maturação. A mutação *bmr-6* provocou reduções de 4,7; 4,4 e 3,5%, em média, nos teores de FDN da planta inteira, dos colmos e das folhas, respectivamente. As reduções médias causadas por essa mutação nos teores de lignina foram de 43,7; 47,7 e 42,0% nas plantas inteiras, colmos e folhas, respectivamente. Essa redução no conteúdo de lignina provavelmente foi responsável pelo aumento na DIVMS (na ordem de 15,2; 5,7; 9,9 e 5,5% nas idades de 52, 61, 67 e 74 dias após o plantio, respectivamente) e na digestibilidade *in vitro* da FDN (DIVFDN) (na ordem de 20,1; 9,3; 14,8 e 19,6% nas idades de 52, 61, 67 e 74 dias, respectivamente). Esses autores observaram ainda que o híbrido mutante apresentou, em média, 21% a mais de PB em relação ao seu par isogênico normal, embora essa resposta nem sempre seja observada nos experimentos que comparam plantas isogênicas normais e mutantes *bmr*.

Casler et al. (2003) avaliaram o valor nutricional de dois cultivares de capim-sudão mutantes *bmr-6* e de seus pares isogênicos normais em dois cortes sucessivos e observaram redução média de 3,2%, 4,4% e 12,3% nos teores de FDN, FDA e lignina, respectivamente, e um aumento de 7,2% na digestibilidade *in vitro* da FDN. Oba e Allen (2000) obtiveram menores teores de FDN (42,9% x 41,4%), FDA (22,4% x 20,2%) e lignina (2,0% x 1,3%) e maiores digestibilidades *in vitro* da MS (78,2% x 83,3%) e da FDN (46,5% x 55,9%) no milho mutante *bm₃* em relação ao seu par isogênico normal. Ebling e Kung Jr. (2004) compararam o valor nutricional das silagens de milho normal e mutante *bmr*. Em relação ao teor de PB, a silagem do híbrido *bmr* foi superior ao híbrido normal (8,37% x 6,19%). Não foram observadas diferenças nos teores de FDN e FDA, porém o material mutante apresentou uma redução de 65% no teor de lignina em comparação ao híbrido normal. Essa menor concentração de lignina proporcionou uma maior degradação *in situ* da FDN, que foi de 54% para o híbrido mutante e de 39% para o híbrido normal.

Geis et al. (2010) realizaram um ensaio comparando um par isogênico de sorgo granífero, normal e mutante *bmr*, em relação à produtividade de grãos e o desempenho

de novilhos pastejando o resíduo da cultura. A produtividade de grãos dos dois híbridos foi semelhante, enquanto o ganho de peso médio diário dos animais pastejando o resíduo do sorgo *bmr* (0,630 kg) foi 35% superior ao dos animais pastejando o resíduo do sorgo convencional (0,467 kg). Não foram observadas diferenças nos teores de FDN das folhas e dos colmos dos dois híbridos, embora as digestibilidades *in vitro* da FDN dessas partes da planta tenham sido 20 e 31% superior no híbrido mutante *bmr* em relação ao seu par isogênico normal, respectivamente, e a isso foi atribuído o melhor desempenho animal obtido com o híbrido mutante.

Grant et al. (1995) avaliaram a utilização de um híbrido de sorgo mutante *bmr* ou normal nas dietas de vacas em lactação. O híbrido mutante apresentou maior degradabilidade *in situ* e *in vitro* da FDN e resultou em um aumento de 24% no consumo de matéria seca (20,4 x 25,3 kg de MS/dia) e de 46% na produção de leite corrigido para 4% de gordura (17,9 x 26,2 kg/dia). Com o objetivo de testar o efeito do aumento da digestibilidade da FDN no desempenho produtivo de vacas de alta produção, Oba e Allen (1999a) forneceram para vacas em início e meio de lactação dietas contendo silagem de milho mutante *bmr* (*bm₃*) ou de seu par isogênico convencional. A silagem de milho mutante *bm₃* apresentou menor teor de lignina (1,7 x 2,5%) e maior degradabilidade *in vitro* da FDN (49,1 x 39,4%) em relação à silagem convencional, o que proporcionou maior consumo de MS e de FDN. De acordo com os autores, as vacas ingeriram maior quantidade de FDN porque esse nutriente foi degradado mais rapidamente no rúmen, o que permitiu um maior consumo de nutrientes. Em função do maior consumo de energia, as vacas alimentadas com a dieta contendo silagem de milho *bm₃* apresentaram maior produção de leite corrigido para sólidos (37,8 x 35,1 kg/dia) e balanço de energia (2,8 x 0,7 Mcal de energia líquida para lactação/dia).

Oliver et al. (2004) conduziram um experimento em que foram avaliados o valor nutricional das silagens de sorgos mutantes (*bmr-6* e *bmr-18*) em comparação a silagens de sorgo normal e de milho. A silagem de sorgo convencional apresentou maiores teores de lignina, FDA e FDN em relação às silagens de sorgos mutantes. A silagem de milho apresentou menor teor de lignina e maior teor de PB que as silagens de sorgo. As silagens dos sorgos mutantes e a silagem de milho apresentaram valores de digestibilidade *in situ* da FDN em 48 horas e taxa fracional de digestão da FDN semelhantes (60,8% e 0,036%/h em média, respectivamente) e superiores à silagem de sorgo convencional (56,4% e 0,023%/h, respectivamente). Em ensaio de digestibilidade aparente as silagens dos sorgos mutantes e a silagem de milho apresentaram valores de digestibilidade aparente da MS

semelhantes (64,3%, em média) e superiores à silagem de sorgo convencional (52,5%). Em relação à digestibilidade aparente da FDN, a silagem do sorgo *bmr-6* e a silagem de milho apresentaram valores semelhantes (54,3%, em média), a silagem do sorgo *bmr-18* apresentou valor intermediário (47,9%) e a silagem de sorgo convencional apresentou a menor digestibilidade aparente da FDN (40,8%). Quando essas silagens foram fornecidas para vacas em lactação, em uma dieta contendo 50% de volumoso, houve efeito significativo da silagem sobre a produção de leite. A produção de leite corrigida para 4% de gordura das vacas alimentadas com a silagem do sorgo mutante *bmr-6* e com a silagem de milho apresentaram valores semelhantes (33,5 kg/dia, em média) e superiores a produção das vacas alimentadas com a silagem de sorgo convencional (29,1 kg/dia). Já as vacas alimentadas com a silagem do sorgo mutante *bmr-18* apresentaram produção de leite intermediária (31,2 kg/dia), mas semelhante aos demais tratamentos. De uma forma geral, silagens de sorgo convencionais apresentam menor consumo e digestibilidade em relação às silagens de milho e, conseqüentemente, reduzem a produção de leite. Os dados obtidos nesse experimento mostram que a utilização de cultivares mutantes *bmr* permite a substituição da silagem de milho pela silagem de sorgo - cultura mais rústica e tolerante às adversidades climáticas - sem afetar a produção de leite.

Dann et al. (2008) compararam o desempenho produtivo de vacas em lactação alimentadas com silagem de milho ou com silagem de um híbrido de sorgo com capim-sudão mutante *bmr*, presentes em 35% ou 45% da dieta. As vacas alimentadas com silagem de híbrido de sorgo com capim-sudão apresentaram menor consumo de MS, provavelmente devido ao maior teor de FDN das dietas. Não foram observadas diferenças para a produção de leite corrigida para 3,5% de gordura entre os tratamentos, que foi de 29,6 kg/dia, em média. As vacas alimentadas com a silagem de sorgo de corte e pastejo apresentaram maior eficiência de produção de leite (1,57 kg de leite produzido/kg de MS consumida) em relação às vacas alimentadas com silagem de milho (1,29 kg de leite produzido/kg de MS consumida). Esse experimento mostra o potencial que os híbridos de sorgo com capim-sudão mutantes *bmr* tem para substituírem a silagem de milho em dietas de vacas com produção leiteira média de 30 kg/dia.

A observação mais frequente e consistente nas plantas mutantes *bmr* é a redução dos teores de lignina e o aumento na digestibilidade da FDN. De acordo com Oba e Allen (1999a), a digestibilidade da FDN é um parâmetro muito importante na avaliação da qualidade das forragens. A fração fibrosa dos alimentos é fermentada lentamente e é retida no rúmen por mais tempo que as frações não fibrosas, causando o efeito de

enchimento ruminal. Como esse efeito frequentemente limita o consumo de MS, um desaparecimento mais rápido da FDN, em função de uma maior taxa de degradação ou de passagem dessa fração, reduz o efeito de enchimento ruminal e possibilita um maior consumo voluntário. Além disso, uma fração fibrosa mais digestível aumenta a densidade energética da dieta e a produção de proteína microbiana. De acordo com dados publicados por esses autores em outro trabalho, um aumento na digestibilidade da FDN em uma unidade percentual resulta em um aumento potencial do consumo de matéria seca em 0,17 kg/dia e da produção de leite corrigido para 4% de gordura em 0,25 kg/dia (Oba e Allen, 1999b).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEMOSUM, A.A., BAUMGARDT, B.R., SCHOLL, J.M. Evaluation of a sorghum-sudangrass hybrid at varying stages of maturity on the basis of intake, digestibility and chemical composition. *Journal of Animal Science*. v.27, n.3, p.818-823, 1968.

ALI, F.; SCOTT, P.; BAKHT, J. et al. Identification of novel brown midrib genes in maize by tests of allelism. *Plant Breeding*, v.129, n.6, p.724-726, 2010.

ARAÚJO, A. A. Forragens de verão e outono. In: _____. *Forrageiras para ceifa, capineiras, pastagens, fenação e ensilagem*. 2.ed. Porto Alegre: Sulina. 1972. Cap.6, p.79-136.

ASTIGARRAGA, L.; BIANCO, A.; MELLO, R.; MONTEDÓNICO D. Comparison of brown midrib sorghum with conventional sorghum forage for grazing dairy cows. *American Journal of Plant Science*, v. 5, n.7, p.955-962, 2014.

BAUCHER, M.; BERNARD-VAILHÉ, M. A.; CHABBERT, B. et al. Down-regulation of cinnamyl alcohol dehydrogenase in transgenic alfalfa (*Medicago sativa* L.) and the effect on lignin composition and digestibility. *Plant Molecular Biology*, v. 39, n. 3, p.457-464, 1999.

BECK, P. A.; HUTCHINSON, S.; GUNTER, S. A. et al. Chemical composition and in situ dry matter and fiber disappearance of sorghum x sudangrass hybrids. *Journal of Animal Science*, v. 85, n. 2, p.545-555, 2007.

BISHNOI, U. R., OKA, G. M., FEARON, A. L. Quantity and quality of forage and silage of pearl millet in comparison to Sudax, grain, and forage sorghums harvested at different growth stages. *Tropical Agriculture*. v.70, n.2, p.98-102, 1993.

BITTINGER, T. S.; CANTRELL, R. P.; AXTELL, J. D. Allelism tests of the brown-midrib mutants of sorghum. *Journal of Heredity*, v.72, n.2, p.147-148, 1981.

BOERJAN, W.; RALPH, J.; BAUCHER, M. Lignin Biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, v.54, p.519-546, 2003.

BOGDAN, A.V. *Tropical pasture and fodder plants*. New York: Longman, 1977. 475p.

BOSE, S. K.; FRANCIS, R. C.; GOVENDER, M. et al. Lignin content versus syringyl to guaiacyl ratio amongst poplars. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 4, p. 1628-1633, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. Valor Bruto da Produção. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/ministerio/gestao-estrategica/valor-bruto-da-producao>>. Acesso em: jan. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. Plano Mais Pecuária. 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/mais-pecuaria>>. Acesso em: jan. 2015.

BUXTON, D. R., RUSSEL, J. R. Lignin constituents and cell-wall digestibility of grass and legume stems. *Crop Science*, v. 30, n. 4, p. 402-408, 1988.

CASLER, M. D.; PEDERSEN, J. F.; UNDERSANDER, D. J. Forage yield and economic losses associated with the brown-midrib trait in sudangrass. *Crop Science*, v.43, p.782-789, 2003.

CHEN, F.; DIXON, R. A. Lignin modification improves fermentable sugar yields for biofuel production. *Nature Biotechnology*, n. 25, p.759-761, 2007.

CHEN, L.; AUH, C.K.; DOWLING, P. et al. Improved forage digestibility of tall fescue (*Festuca arundinacea*) by transgenic down-regulation of cinammyl alcohol dehydrogenase. *Plant Biotechnology Journal*, v.1, p.437-449, 2003.

CHERNEY, J. H.; AXTELL, J. D.; HASSEN, M. M. et al. Forage quality characterization of a chemically induced brown-midrib mutant in pearl millet. *Crop Science*, v. 28, n. 5, p.783-787, 1988.

CHERNEY, J. H.; CHERNEY, D. J. R.; AKIN, D. E. et al. Potential of brown-midrib, low-lignin mutants for improving forage quality. *Advanced Agronomy*, v.46, p.157-198, 1991.

CUNNINGHAM, M. D.; RAGLAND, W. W. Plant composition and feeding value of sudangrass and sorghum-sudangrass in a controlled grazing system. *Journal of Dairy Science*, v. 54, n. 10, p.1461-1464, 1971.

DANN, H. M.; GRANT, R. J.; COTANCH, K. W. et al. Comparison of brown midrib sorghum-sudangrass with corn silage on lactational performance and nutrient digestibility in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 91, n. 2, p.1970-1980, 2008.

DIXON, R. A.; CHEN, F.; GUO, D. et al. The biosynthesis of monolignols: a "metabolic grid", or independent pathways to guaiacyl and syringyl units? *Phytochemistry*. v. 7, n. 57, p.1069-1084, 2001.

EBLING, T. L.; KUNG JR, L. A comparison of processed conventional corn silage to unprocessed and processed brown midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 87, n. 8, p.2519-2526, 2004.

EDWARDS JR., N. C.; FRIBROURG, H. A.; MONTGOMERY, M. J. Cutting management effect on growth rate and dr matter digestibility of sorghum-sudangrass cultivar Sudax SX-11. *Agronomy Journal*. v.63, n.2, p.267-271, 1971.

FERREIRA, P.D.S.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S. et al. Valor nutricional de híbridos de sorgo para corte e pastejo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) em diferentes fases fenológicas. *Semina: Ciências Agrárias*, v.36, n.1, p.377-390, 2015.

FORNALÉ, S.; CAPELLADES, M.; ENCINA, A. et al. Altered lignin biosynthesis improves cellulosic ethanol production in transgenic maize plants down-regulated for cinnamyl alcohol dehydrogenase. *Molecular Plant*, v.5, p.817-830, 2012.

FRITZ, J. O.; CANTRELL, R. P.; LECHTENBERG, V. L. et al. Brown midrib mutants in sudangrass and grain sorghum. *Crop Science*, v. 21, n. 5, p.706-709, 1981.

FU, C.; MIELENZ, J.R.; XIAO, X. et al. Genetic manipulation of lignin reduces recalcitrance and improves ethanol production from switchgrass. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.108, p.3803-3808, 2011b.

FU, C.; XIAO, X.; XI, Y. et al. Down regulation of cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD) leads to improved saccharification efficiency in switchgrass. *Bioenergy Research*, v.4, p.153-164, 2011a.

GEIS, J. R.; WATSON, A. K.; ERICKSON, G. E. et al. Forage quality and grazing performance of beef cattle grazing brown midrib grain sorghum residue. *Nebraska Beef Report*: University of Nebraska, Lincoln, NE, 2010, p. 45-46.

GILLINGHAM, J. T.; SHIRER, M. M.; STARBES, J. J. et al. Relative occurrence of toxic concentrations of cyanide and nitrate in varieties of sudangrass and sorghum-sudangrass hybrids. *Agronomy Journal*. v.61, n.6, p.727-730, 1969.

GONTIJO, M. H. R.; BORGES, A. L. C. C.; GONÇALVES, L. C. et al. Potencial forrageiro de seis híbridos de sorgo com capim-sudão. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.7, n.1, p. 33-43, 2008a.

GONTIJO, M. H. R.; BORGES, A. L. C. C.; GONÇALVES, L. C. et al. Qualidade nutricional de seis híbridos de sorgo com capim-sudão submetidos a épocas de plantio e cortes distintas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.7, n.1, p. 45-56, 2008b.

GRABER, J. H. How do lignin composition, structures, and cross-linking affect degradability? A review of cell wall model studies. *Crop Science*. V. 45, n.3, p. 820-831, 2005.

GRANT, R. J.; HADDAD, S. G.; MOORE, K. J. et al. Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 78, n. 9, p.1970-1980, set. 1995.

GUO, D.; CHEN, F.; WHEELER, J. et al. Improvement of in-rumen digestibility of alfalfa forage by genetic manipulation of lignin O-methyltransferases. *Transgenic Research*, v. 10, n. 5, p.457-464, 2001.

HALPIN, C.; HOLT, K.; CHOJECKI, J. et al. Brown-midrib maize (bm1): a mutation affecting the cinnamyl alcohol dehydrogenase gene. *Plant Journal*, v.14, p.545-553, 1998.

HE, X.; HALL, M.B.; GALLO-MEAGHER, M.; SMITH, R.L. Improvement of forage quality by down regulation of maize O-methyltransferase. *Crop Science*, v.43, p.2240-2251, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário*. Rio de Janeiro, p. 1-777, 2006. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>. Acesso em: Jan. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção da pecuária municipal*. Rio de Janeiro, v. 42, p. 1-39, 2014. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2014_v42_br.pdf>. Acesso em: Jan. 2016.

JORGENSON, L. R. Brown midrib in maize and its linkage relations. *Journal of the American Society of Agronomy*, n. 23, p.549-557, 1931.

JUNG, H. G., CASLER, M. D. Relationship of lignin and esterified phenolics to fermentation of smooth brome grass fibre. *Animal Feed Science and Technology*. v.32, n.1-3, p.63-68, 1991.

JUNG, H. G.; NI, W.; CHAPPLE, C. S. et al. Impact of lignin composition on cell-wall degradability in an *Arabidopsis* mutant. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 79, n. 6, p.922-928, 1999.

JUNG, H.G.; DEETZ, D.A. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG, H. G., BUXTON, D. R., HATFIELD, R. D., RALPH, J. *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*. 1. ed. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p. 315-346.

KILCER, T. F.; KETTERINGS, Q.M.; CHERNEY, J. H. et al. Optimum stand height for forage brown midrib sorghum sudangrass in north-eastern USA. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 191, n. 1, p.35-40, 2005.

KISHIMOTO, T.; CHIBA, W.; SAITO, K. Influence of syringyl to guaiacyl ratio on the structure of natural and synthetic lignins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, n. 2, p.895-901, 2010.

LAPIERRE, C. Application of new methods for the investigation of lignin structure. In: JUNG, H. G., BUXTON, D. R., HATFIELD, R. D., RALPH, J. *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*. 1. ed. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p. 315-346.

LI, X.; WENG, J. K.; CHAPPLE, C. Improvement of biomass through lignin modification. *The Plant Journal*. v.54, p.569-581, 2008.

LI, Y.; LIU, G.; LI, J. et al. Acid detergent lignin, lodging resistance index, and expression of the caffeic acid O-methyltransferase gene in brown midrib-12 sudangrass. *Breeding Sciences*, v.65, n.4, p.291-297, 2015.

LIMA, C. B.; CARNEIRO, J. C.; NOVAES, L. P. et al. *Potencial forrageiro e avaliação bromatológica de híbridos de sorgo com capim-sudão*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005, p.1-36. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 18).

MAYLAND, H. F.; CHEEK, P. R. Forage-induced Animal Disorders. In: BARNES, R. F.; MILLER, D. A.; NELSON, C. J. *Forages, Volume II: The Science of Grassland Agriculture*. 5. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. p. 121-135.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; SOUZA, A. N. M. et al. Desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) em manejo de cortes. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 9, n. 3, p. 10-15, 2010.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on dry matter intake and productivity of high yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.82, p.135-142, 1999a.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Effects of Brown Midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. *Journal of Dairy Science*, v.83, p.1333-1341, 2000.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Evaluation of the importance of digestibility of NDF from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 82, p. 589-596, 1999b.

OLIVER, A. L.; GRANT, R. J.; PEDERSEN, J. F. et al. Comparison of Brown Midrib-6 and -18 Forage Sorghum with Conventional Sorghum and Corn Silage in Diets of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, v.87, n.3, p.637-644, 2004.

OLIVER, A. L.; PEDERSEN, J. F.; GRANT, R. J. et al. Comparative effects of the sorghum *bmr-6* and *bmr-12* genes: I. Forage Sorghum Yield and Quality. *Crop Science*, v.45, p.2234-2239, 2005.

PEREIRA, O. G., OBEID, J. A., GOMIDE, J. A. et al. Produtividade e valor nutritivo de aveia (*Avena sativa*), milho (*Pennisetum americanum* L.), e de um híbrido de *Sorghum bicolor* x *S. sudanense*. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. v.22, n.1, p.22-31, 1993.

PORTER, K. S.; AXTELL, J. D.; LECHTEMBERG, V. L. et al. Phenotype, fiber composition, and in vitro dry matter disappearance of chemically induced brown midrib (*bmr*) mutants of sorghum. *Crop Science*, v. 18, n. 2, p.205-208, 1978.

PROVAN, G. J.; SCOBBI, L.; CHESSON, A. Characterisation of Lignin from CAD and OMT deficient Bm mutants of maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 73, n. 2, p.133-142, 2009.

RALPH, J.; LAPIERRE, C.; MARITA, J. M. et al. Elucidation of new structures in lignins of CAD- and COMT-deficient plants by NMR. *Phytochemistry*, v. 1, n. 57, p.993-1003, 2001

RALPH, J.; LUNDQUIST, K.; BRUNOW, G. et al. Lignins: natural polymers from oxidative coupling of 4-hydroxyphenylpropanoids. *Phytochemistry Reviews*, v. 3, n. 1, p.29-60, 2004.

REEVES, J.B. Lignin composition and *in vitro* digestibility of feeds. *Journal of Animal Science*, v. 60, n. 1, p. 316-222, 1985.

RESTLE, J.; ROSO, C.; AITA, V. et al. Produção Animal em Pastagem com gramíneas de estação quente. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.31, n.3, p.1491-1500, 2002.

RIBAS, P.M. Importância Econômica do Sorgo. IN: RODRIGUES, J.A.S.; FERREIRA, M.T.R.; COELHO, E.A.; PINHEIRO, L.R. *Cultivo do Sorgo*. 4 ed. Sete Lagoas: Embrapa

Milho e Sorgo, 2008. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/index.htm>>. Acesso em: jun. 2012.

RODRIGUES, J. A. S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS: TEMAS EM EVIDÊNCIA, 2000, UFLA. Lavras, *Anais...* Lavras: UFLA, 2000. p.179-201

ROJE, S.; CHAN, S. Y.; KAPLAN, F. et al. Metabolic engineering in yeast demonstrates that S-adenosylmethionine controls flux through the methylenetetrahydrofolate reductase reaction in vivo. *The Journal of Biological Chemistry*, v.277, n.6, p.4056-4061, 2002.

ROJE, S.; WANG, H.; MCNEIL, S. D. et al. Isolation, characterization, and functional expression of cDNAs encoding NADH-dependent methylenetetrahydrofolate reductase from higher plants. *The Journal of Biological Chemistry*, v.274, n.51, p.36089-36096, 1999.

SABALLOS, A.; SATTLER, S.E.; SANCHEZ, E. et al. Brown midrib2 (Bmr2) encodes the major 4-coumarate: Coenzyme A ligase involved in lignin biosynthesis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Plant Journal*, v.70, n.5, p.818-830, 2012.

SABALLOS, A.; VERMERRIS, W.; RIVERA, L.; EJETA, G. Allelic association, chemical characterization and saccharification properties of brown midrib mutants of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Bioenergy Research*, v.1, n.3, p.193-204, 2008.

SALIBA, E. O. S. *Caracterização química e microscópica das ligninas dos resíduos agrícolas de milho e de soja expostas a degradação ruminal e seu efeito sobre a digestibilidade dos carboidratos estruturais*. 1998. 252p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SÁNCHEZ, D. G. R.; CRUZ, S. C.; GIL, A. P. et al. Kenaf (*hibiscus cannabinus* l.) forage yield and quality at three ages compared to corn and brown midrib sorghum x sudangrass. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, v. 48, n. 1, p.13-23, 2010.

SATTLER, S. E.; FUNNELL-HARRIS, D. L.; PEDERSEN, J. F. Brown midrib mutations and their importance to the utilization of maize, sorghum, and pearl millet lignocellulosic tissues. *Plant Science*, v. 178, n. 3, p.229-238, 2010.

SATTLER, S. E.; SAATHOFF, A. J.; HAAS, E. J. et al. A nonsense mutation in a cinnamyl alcohol dehydrogenase gene is responsible for the sorghum brown midrib 6 phenotype. *Plant Physiology*, v. 150, n. 2, p.584-595, 2009.

SATTLER, S.E.; SABALLOS, A.; XIN, Z. et al. Characterization of novel sorghum *brown midrib* mutants from an EMS-mutagenized population. *G3 (Bethesda)*, v.4, n.11, p.2115-2124, 2014.

SILVA, A.F. *Métodos culturais de sorgo*. In: RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS PARA O CULTIVO DO SORGO. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS. 1988. p.37-39. (Circular Técnica, 1)

SILVEIRA, C. A. M. et al. Efeito do nitrogênio e regime de corte sobre o rendimento e qualidade do milho e sorgos forrageiros sob condições de déficit hídrico. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.13, n.2, p.141-152, 1984.

SIMILI, F. F. *Híbrido de sorgo: estratégia de manejo alimentar de vacas leiteiras no outono-inverno*. Tese (doutorado), Jaboticabal, UNESP, 2007.

SIMILI, F. F.; LIMA, M. L. P.; MOREIRA, A. L. et al. Forage mass production and grazing loss of sorghum hybrid in response to the density of the sowing and the spacing between planting lines. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 40, n. 7, p.1474-1479, 2011.

SIMILI, F. F.; REIS, R. A.; FURLAN, B. N. et al. Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade *in vitro* na matéria orgânica. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 2, p.474-480, 2008.

STICKLEN, M. B. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. *Nature Reviews Genetics*, v.9, p.433-443, 2008.

TANG, H. M.; LIU, S.; HILL-SKINNER, S. et al. The maize brown midrib2 (bm2) gene encodes a methylenetetrahydrofolate reductase that contributes to lignin accumulation. *Plant Journal*, v.77, n.3, p.380-392, 2014.

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

TOMICH, T. R.; RODRIGUES, J. A. S.; TOMICH, R. G. P. et al. Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim-sudão. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 56, n. 2, p.258-263, 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). *Production, supply and distribution online*. 2016. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline>>. Acesso em: jan. 2016.

UZUN, F.; UGUR, S.; SULAK, M. Yield, nutritional and chemical properties of some sorghum x sudan grass hybrids (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* Stapf.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, v. 8, n. 8, p.1602-1608, 2009.

VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

VANHOLME, R.; DEMEDTS, B.; MORREEL, K. et al. Lignin biosynthesis and structure. *Plant Physiology*, v. 153, n. 3, p. 895-905, 2010.

WHEELER, J. L.; MULCAHY, C.; WALCOTT, J. J.; RAPP, G. G. Factors affecting the hydrogen cyanide potential of forage sorghum. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 6, n. 41, p.1093-1100, 1990.

WHEELER, J. L. Increasing animal production from sorghum forage. *World Animal Review*. n.35, p.13-22, 1980.

WHEELER, J. L., MULCAHY, C. Consequences for animal production of cyanogenesis in sorghum forage and hay - a review. *Tropical Grasslands*. v.23, n.4, p.193-202, 1989.

WORKER JR., G. F. Sudangrass and sudangrass hybrids responses to row spacing and plant maturity on yield and chemical composition. *Agronomy Journal*. v.65, n.6, p.975-977, 1973.

ZAGO, C. P. *Utilização do sorgo na alimentação de ruminantes*. In: MANEJO CULTURAL DO SORGO PARA FORRAGEM. Sete Lagoas: Embrapa - CNPMS. 1997. p.9-26. (Circular Técnica, 17).

CAPÍTULO II

Agronomic traits, chemical composition and ruminal degradation kinetics of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid at four maturities

ABSTRACT

This research was designed to determine the effects of advancing maturity on the agronomic traits, chemical composition and ruminal degradation kinetics of the brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid BR007*Abmr* x TX2785*Rbmr*. The hybrid was evaluated at 77, 84, 91 and 98 days (d) after sowing. Plant height, dry matter yield, digestible dry matter yield, percentage of stems and percentage of panicles increased linearly over time whereas the percentage of leaves decreased linearly. Whole plant dry matter (DM) content ranged from 12.3 to 15.2% with quadratic effect. Whole plant neutral detergent fiber (NDF) ranged from 59.1 to 68.4% and increased linearly. Mean acid detergent fiber (ADF) content of the whole plant, stems and leaves were 36.8, 40.4 and 31.5%, respectively. Acid detergent lignin content of the whole plant and stems varied from 2.9 to 4.4% and 3.2 to 4.4%, respectively, and increased linearly. Whole plant and leaves mean crude protein (CP) content were 10.2% and 17.4%, respectively. *In vitro* dry matter digestibility of the whole plant, stems and leaves ranged from 64.9 to 75.9, 60.6 to 73.7 and 63.5 to 68.9%, respectively, and decreased linearly over time. The soluble fraction of CP was high (>44%) in all evaluated stages. The undegradable fraction of DM and CP linearly increased with maturity, while ruminal disappearance rate and effective degradability of DM, NDF and CP linearly decreased. These results indicate that the yield potential increases and the nutritional value decreases with advancing maturity.

Key words: *in situ* degradability, nutritional value, *Sorghum bicolor*; *Sorghum sudanense*, tropical forage, yield.

INTRODUCTION

The hybrids of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) with sudangrass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), used mainly for animal grazing and green chop, have gained prominence because they have good flexibility of planting season, quick establishment, drought tolerance, high yield potential and nutritional value and, therefore, constitute an alternative forage crop to intensify ruminant production systems. Sorghum-sudangrass (SSG) hybrids complement summer pastures in the southern of Brazil and in the central regions they should be considered as a complementary solution to perennial pastures in the dry/rainy season transition and complementary to conserved forages or sugar cane in the rainy/dry season transition, in order to extend the supply of forage with high nutritional value and reduce the need for supplementary roughage.

The yield potential of a forage crop has a strong impact on the economic viability of its use and should be considered as a decisive parameter in the selection of new hybrids and in the determination of the optimal maturity stage at harvest. The brown midrib mutation (*bmr*) in sorghum leads to altered lignin biosynthesis characterized by decreased lignin content and an altered composition of lignin monomers, which results in higher cell wall digestibility and, consequently, higher nutritional value (Oba and Allen, 2000; Beck et al., 2007; Ferreira et al., 2015; Ledgerwood et al., 2009). However, this is frequently accompanied by changes in the growth and development of plants which usually result in lower yields (Oliver et al., 2005). The genetic breeding program for forage crops developed by the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) has selected new SSG hybrids, including *bmr* mutant genotypes, which must be evaluated for use as ruminant feed before releasing for commercial use.

Currently, there is little research assessing the nutritional quality and yield of *bmr* mutant SSG hybrids and the optimal time for harvesting it. Thus, the objectives of this study were to determine the effect of maturity stage of a *bmr* mutant SSG hybrid on its agronomic traits, chemical composition and ruminal degradation kinetics.

MATERIALS AND METHODS

Experiment location and general information

This experiment was conducted at the Corn and Sorghum Research Center of EMBRAPA, located at km 65 on MG 424 highway, in the municipality of Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil, between coordinates 19°28' S (latitude) and 44°15' W (longitude). The region has a mean altitude of 732 m, a mean annual rainfall of 1,340 mm concentrated at 86% between November and April and an AW climate type (savanna climate, with dry winter and an average temperature above 18°C in the coldest month) according to the Köppen classification. The soil is classified as Dystrophic Red typical savanna phase (Santos et al., 2006). Climatic data referring to the period in which the experiment was conducted are shown in Figure 1.

A new *bmr-6* mutant SSG hybrid (BR007A*bmr* x TX2785R*bmr*) was examined. The seeds were supplied by the sorghum breeding program of EMBRAPA. The study was a randomized complete block design with five plots (blocks) for each harvest age. Plots were 14.7 m² (7 × 2.1 m) with plants seeded in five rows (0.35 m centres) at a depth of 5 cm. The seeds were sown on December 26th, 2011. Fertilization was performed based on soil analysis and crop requirements, in which 400 kg ha⁻¹ of the formula 8-28-16 (N:P:K) + 0.5% Zinc were applied at sowing and 100 kg ha⁻¹ of urea were used as topdressing 25 d after sowing. The harvests were performed at 77, 84, 91 and 98 d after sowing. The mean plant population obtained was 336 thousand plants ha⁻¹, which is close to the values recommended by Rodrigues (2010) of 200 to 300 thousand plants ha⁻¹ as ideal for this crop when intended for

mechanical harvesting. Cuttings were taken at 5 cm above ground level. Only the central row in each plot was harvested, disregarding the two external rows of each plot and 1 m from the ends of each row. The harvested crop from each plot was collected into baskets and weighed to estimate wet yield. A 1 kg sub-sample was taken from each plot and oven-dried at 55°C for 72 h. Dry samples were ground through a 1 mm screen using a Willey-type mill (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA) and stored at room temperature in sealed polyethylene containers.

Agronomic traits measured included plant height (from ground level to the upper end of the plant, 20% plants per plot), green matter yield (GMY), dry matter yield (DMY), digestible dry matter yield (DDMY) and dry matter partitioning of organs (panicle, stem and leaf). Ten randomly selected plants within each plot were dissected into panicles, stems and leaves and the amount of dry matter (DM) in each fraction was estimated after oven-drying at 55°C for 72 h.

Laboratory analysis

DM was determined by drying at 105°C for 12 h followed by equilibration in a desiccator and ash was calculated by ignition at 600°C (AOAC, 1990). Neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined by the sequential method with the ANKOM 220 fiber analyzer (Ankom Technology, Macedon, NY, EUA) using reagents as described by Van Soest et al. (1991). Acid detergent lignin (ADL) analysis was performed on ADF residues, using the direct sulphuric acid method (Robertson and Van Soest, 1981). Crude protein (CP) was determined by the Kjeldahl method (AOAC, 1990). *In vitro* dry matter digestibility (IVDMD) was determined according to procedures described by Tilley and Terry (1963) and adapted by Holden (1999) for using the rumen simulator Daisy^{II} (Ankom Technology, Macedon, NY, USA).

In situ procedures

Ruminal disappearance of DM, NDF and CP were determined using the nylon bag technique (Ørskov and McDonald, 1979). Dry samples of the whole plant were ground through a 5 mm screen using a Willey-type mill (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA) and weighed (5g bag⁻¹) into 7.5cm x 15cm monofilament polyester bags (50µm pore size). Triplicate samples were incubated sequentially in the ventral rumen of mature ruminally cannulated crossbred cows (n = 4; 505.3 kg ± 18.4) for 3, 6, 12, 24, 48 and 96 h. Upon removal, bags were rinsed under cold tap water until the water running off was clear. Triplicate sets of unincubated bags (0h) were rinsed as described above to estimate the soluble fraction. Bags were subsequently oven-dried at 55°C for 72 h and samples were analyzed for DM, CP and NDF as described previously. Cows were fed concentrate (4 kg d⁻¹; 22% of CP) and corn silage *ad libitum* and had free access to fresh water and a trace mineral salt mixture. All procedures used in this experiment were approved by the Ethics Committee in Animal Experimentation (CETEA) of the Federal University of Minas Gerais under the protocol number 191/2011.

Data analysis

For each cow, the model of Ørskov and McDonald (1979) was fitted to the DM, NDF and CP disappearance percentage as:

$$y = A + B (1 - e^{-Kd*t})$$

where A is the soluble fraction, B is the slowly disappearing fraction, Kd is the disappearance rate and t is the incubation time. The undegradable fraction (C) was calculated as: $C = 100 - (A + B)$. The effective degradability was calculated as:

$$y = A + [(B * Kd)/(Kd + Kp)]$$

where Kp is the ruminal particulate passage rate, which was assumed to be 2.0% h⁻¹. The A fraction of NDF was considered to be zero, since this fraction is not soluble in water.

Data were analysed as a completely randomized block design and the variables were subjected to variance and regression analyses. When there was a significant effect ($P < 0.05$) of maturity stage, linear and quadratic models were tested and the one that best fit the data according to the level of significance ($P < 0.05$), biological meaning and coefficient of determination (R^2) was used and presented.

The statistical model used is described below:

$$Y_{ijk} = \mu + H_i + B_j + \epsilon_{ijk}$$

where Y_{ijk} = observation “j” in the age “i” and block “j”, μ = overall mean, H_i = effect of the age at harvest ($i = 77, 84, 91$ and 98 d after sowing), B_j = effect of the block ($j = 1, 2, 3, 4$ and 5 for the chemical composition and agronomic traits variables and $j = 1, 2, 3$ and 4 for the ruminal degradation kinetics variables) and ϵ_{ijk} = residual error.

RESULTS AND DISCUSSION

Data concerning the agronomic traits evaluated are shown in Table 1. Plant height ranged from 1.52 to 2.29 m and increased linearly across the harvesting ages ($P < 0.01$). The importance of assessing plant height is related to its positive correlation with DM yield (Guimarães Jr. et al., 2009) and negative correlation with the nutritional value (Schimid et al., 1976). The plant heights achieved in this study were higher than those observed by Gontijo et al. (2008) (ranging from 0.76 to 0.98 m, harvested 50 d after sowing) and Mello et al. (2003) (1.05 and 1.16 m, harvested 50 and 85 d after sowing, respectively) probably because the plants were in advanced stages of maturity in the current study.

GMY ranged from 35.4 to 54.5 t ha⁻¹ and presented quadratic effect ($P < 0.01$). DMY ranged from 5.1 to 7.8 t ha⁻¹ with a linear increase of 120 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ along the harvest ages ($P < 0.01$). DDMY varied from 4.0 to 5.0 t ha⁻¹ with a positive linear effect characterized by an increase of 50 kg DDM ha⁻¹ d⁻¹ ($P < 0.05$). According to Tomich et al. (2004) the yield of SSG hybrids is influenced by several factors, particularly the genetic

variability, soil fertility, water availability, planting season, maturity stage, occurrence of successive cuts and plant population, which makes it difficult to draw comparisons of these variables between studies. These authors evaluated 25 SSG hybrids and obtained, 57 d after sowing, DMY varying from 3.5 to 5.8 t ha⁻¹ and a mean value of 4.5 t ha⁻¹, values below those observed herein except for the first harvest. Gontijo et al. (2008), working with six SSG hybrids grown in August and harvested 52 d after planting, registered an average GMY of 11.3 t ha⁻¹ and DMY of 1.3 t ha⁻¹, far below the values obtained herein, most probably as a consequence of the planting season and stage of maturity of the plants, which average height at harvest was 0.84 m. Similarly, Mello et al. (2003) obtained GMY and DMY values of 11.9 and 1.7 t ha⁻¹ for the SSG hybrid AG-2501C sown in November and harvested 85 d after sowing. These results show that the hybrid evaluated herein presents a great yield potential.

The percentage of stems varied from 49.6 to 57.5%, percentage of leaves from 29.8 to 50.5 and percentage of panicles from 0 to 12.7%, in such a way that stem and panicle proportion increased and leaf proportion decreased linearly with maturity ($P < 0.01$). Astigarraga et al. (2014) obtained a higher proportion of leaves (59.5%) and lower proportions of stems (39.9%) and panicles (0.6%) assessing a *bmr* mutant SSG hybrid, probably because the forage was evaluated at a less mature stage (plant height of 0.76 m). These traits are bookmarks of the nutritional value of SSG hybrids because, according to Edwards Jr. et al. (1971), forage digestibility is positively correlated with the percentage of leaves and negatively correlated with the percentage of stems. Thus, it is possible to suggest that the nutritional value of this forage is decreasing with maturity, what will be confirmed with the next results of this research. The proportion of panicles in SSG hybrids is low and plays a minor role on its nutritional value compared with stems and leaves.

DM and ash content of the whole plant, stems, leaves and panicles are shown in Table 2. DM content of the whole plant ranged from 12.3 to 15.2% and presented a quadratic trend ($P < 0.01$). The lower values obtained at the second and third harvests (12.3 and 13.0%, respectively) are probably related to the heavy precipitation that occurred during these harvests and may be the cause of the quadratic effect observed. DM content of stems, leaves and panicles varied from 8.2 to 11.4, 18.6 to 25.1 and 12.6 to 28.4%, respectively, and increased linearly with maturity ($P < 0.01$). Neumann et al. (2010) obtained DM content of 10.3 and 16.9% on the whole plant of the SSG hybrid BR800 harvested 40 and 110 d after sowing, respectively, with a linear increase over time. The DM content obtained herein and in other studies with SSG hybrids (Tomich et al., 2003; Jayme et al., 2007; Aguilar et al., 2014; Astigarraga et al., 2014) are below the minimum DM content recommended by McDonald et al. (1991) for silage making. Thus, this material is not recommended for this purpose if harvested between 77 and 98 d after sowing.

Ash content of the whole plant and panicles ranged from 6.5 to 8.1 and 3.8 to 6.7%, respectively, and decreased linearly with maturity ($P < 0.01$). The decrease in ash content on the whole plant observed may have occurred as a consequence of the increase in stem proportion with maturity, since this fraction presented lower ash content. Stems and leaves presented mean ash contents of 6.6 and 7.0%, respectively, with no significant harvesting age effect ($P > 0.05$). These values are close to those observed by Aguilar et al. (2014) for 20 SSG hybrids, with mean whole plant ash content of 6.3%. No information was found regarding the chemical composition or nutritional value of SSG panicles.

NDF, ADF and ADL content of whole plant, stems, leaves and panicles are shown in Table 3. NDF content of the whole plant ranged from 59.1 to 68.4% and increased linearly across the harvesting ages ($P < 0.01$). NDF content of stems and leaves varied from 61.1 to 72.7 and 63.1 to 69.2%, respectively, and a quadratic trend was observed ($P < 0.01$). Panicles

presented a mean NDF content of 66.3%, with no significant effect ($P>0.05$). The importance of determining the fibrous fractions of forage plants arises from its influence on the voluntary intake, digestibility, rate of passage and chewing activity of ruminants. When too much fiber is included in the ration, energy density is low, intake is reduced and productivity is decreased. When too little fiber is included in the ration a variety of symptoms can occur, including altered fermentation in the rumen and mild or borderline acidosis (which affects ruminal digestive efficiency, intake and metabolism, milk fat production and the long-term health of the animal) (Mertens, 1997). Tomich et al. (2003) obtained NDF content of the whole plant ranging from 65.1 to 70.5% (mean of 67.7%) when assessing 25 SSG hybrids 57 d after sowing, while Aguilar et al. (2014) obtained a mean NDF content of 58.1% for the whole plant from 20 hybrids harvested with 42 d of regrowth. These results are close to those observed herein, although in the current study the plants were harvested at a more mature stage. In a study conducted by Neumann et al. (2010), the NDF content of stems and leaves of AG-2501C hybrid (ranging from 63.3 to 71.6 and 61.2 and 73.9%, respectively) also presented a quadratic effect across the harvesting ages (varying from 40 to 145 d after emergence), with maximum points occurring at 92 and 72 d after emergence, while in the current study the maximum points occurred at 92 and 85 d after sowing.

The mean ADF content of the whole plant, stems, leaves and panicles were 36.8, 40.4, 31.5 and 31.2%, respectively, and no linear or quadratic effects were significant ($P>0.05$). These results are not in accordance with the widespread behavior of tropical forages in which the ADF content increases with maturity because of tissue lignification and reduction in cell contents. When taking the maturity of the plants into account, these results can be considered low, since Tomich et al. (2003) obtained whole plant ADF content ranging from 37.4 to 41.9% (mean of 39.8%) for 25 interspecies sorghum hybrids at a much less mature stage (57 d after sowing). Neumann et al. (2010) also found higher ADF content of stems (ranging

from 42.6 to 44.7%) and leaves (ranging from 34.5 to 36.7%) when studying four SSG hybrids harvested at different maturities (varying from 40 to 145 d after emergence), with a quadratic trend over time.

ADL content of the whole plant and stems varied from 2.9 to 4.4% and 3.2 to 4.4%, respectively, and increased linearly over time ($P < 0.01$). Ademosum et al. (1968) also found an increase in ADL content over time in a SSG hybrid evaluated in several maturity stages (varying from 52 to 85 d after sowing). They also found high and negative correlations of ADL content and *in vivo* apparent DM digestibility ($r = -0.96$) and DM intake ($r = -0.85$). The results obtained in the current study are lower than those obtained by Tomich et al. (2003) (mean whole plant ADL content of 5.1% on 25 hybrids harvested 57 d after planting) and Aguilar et al. (2014) (mean whole plant ADL content of 5.3% on 20 hybrids harvested with 42 d of regrowth). Regarding leaves and panicles the mean ADL contents were 3.0 and 3.3%, respectively, with no significant effect of harvesting age ($P > 0.05$). Again, these results are lower than those obtained by Mello et al. (2003) for stems (6.55%) and leaves (4.53%).

Lignification of plant tissues is acknowledged as the main factor that leads to the decrease in cell wall degradability, therefore, the nutritional value of this material decreases with advancing maturity. The low ADL content obtained herein is expected due to the presence of the *bmr-6* mutation. In these mutants, the gene for the enzyme cinnamyl alcohol dehydrogenase (CAD) - key enzyme in the lignin biosynthesis pathway - contains a nonsense mutation that results in reduced CAD gene transcript levels and, consequently, lower lignin levels (Tsuruta et al., 2010). This effect has been well documented by several studies that compared isogenic pairs of normal and *bmr* mutant sorghum and corn genotypes and improves the nutritional value of these forage crops (Wedig et al., 1987; Oba and Allen, 2000; Aguilar et al., 2014; Ferreira et al., 2015). This may also be the cause of the low ADF content presented herein, since lignin and lignified compounds are included in this fraction.

Accordingly, Ledgerwood et al. (2009) found lower ADF and ADL content of a *bmr* mutant sudangrass compared to its normal isogenic pair.

CP and IVDMD of the whole plant, stems, leaves and panicles are shown in Table 4. The mean CP content of the whole plant was 10.2% and no effects were observed ($P>0.05$). This value is lower than the results obtained by Tomich et al. (2003) (mean CP content of 12.5%) for 25 SSG hybrids and Aguilar et al. (2014) (mean CP content of 13.8%) for 20 hybrids, probably because in these studies the plants were harvested at much less mature stages (57 d after sowing in the first and 42 d of regrowth in the second one). Notwithstanding, these results are far above the minimum necessary to meet the Nitrogen (N) requirements of the rumen microbial population (Van Soest, 1994) and are considered high when compared with other forage crops used in the periods of forage scarcity. As an example, Tomich et al. (2006) found CP content of stockpiled Marandu grass, sugar cane, mature elephant grass, Tifton 85 hay, corn silage and sorghum silage to be 4.9, 1.3, 8.2, 7.3, 7.2 and 6.8%, respectively. Thus, the CP content presented by the SSG hybrid evaluated herein indicates that its use may reduce the necessity for N supplementation and, therefore, reduce the feeding costs of ruminant production systems.

Unlike the values obtained in the current study, Ademosum et al. (1968) assessed a SSG hybrid harvested at 12 maturity stages (ranging from 52 to 85 d after sowing) and observed a decrease in whole plant CP content along time (ranging from 19.6 to 10.3%). The CP content of stems ranged from 6.5 to 10.7% and a quadratic effect was observed ($P<0.01$). The mean CP content of leaves was 17.4% with no significant harvest age effect ($P>0.05$) while the CP content of panicles varied from 11.4 to 13.8% and decreased linearly along time ($P<0.01$). These results show that leaves present a strong contribution to the CP content of the whole plant and are close to what was observed by Neumann et al. (2010), who observed leaf CP content of 16.9 and 18.2% and stem CP contents of 7.7 and 7.5% for AG-

2501C and BR-800 hybrids, respectively. They also observed a quadratic trend for the CP content of stems and, unlike the current study, the CP content of leaves decreased linearly over time for these hybrids.

IVDMD of the whole plant, stems, leaves and panicles decreased linearly with advancing maturity and ranged from 64.9 to 75.9, 60.6 to 73.7, 63.5 to 68.9 and 62.0 to 70.0%, respectively. These results can be considered high when compared with other studies. Jayme et al. (2007) found IVDMD of the SSG hybrids AG-2501C, Sordan 79, CMSXS751, CMSXS752 e CMSXS753 (harvested 60 d after sowing) equal to 55.7, 59.1, 57.5, 56.3 and 59.8%, respectively. These results are also higher than those obtained for sorghum silage (Teixeira et al., 2014), corn silage (Di Marco et al., 2005), *Andropogon gayanus* silage and hay (Ribeiro Jr et al., 2014a), stockpiled Marandu and signalgrass, sugarcane, coast-cross and Tifton 85 hay (Tomich et al., 2006) and evidence the high nutritional value of this forage crop.

The high IVDMD observed in the current study may have occurred due to the presence of the *bmr-6* mutation, which, according to Cherney et al. (1991), leads to reduced and altered lignin composition and, consequently, increases the availability of structural carbohydrates for fermentation. In several studies, higher IVDMD and *in vitro* NDF digestibility have been observed for *bmr* mutant plants compared with their normal isogenic pairs (Oba and Allen, 2000; Beck et al., 2007; Ledgerwood et al., 2009; Ferreira et al., 2015). In the whole plant and all fractions, IVDMD decreased linearly over time ($P < 0.01$), indicating that the nutritional value of this hybrid decreases with maturity. This trend was also observed *in vivo* in the study by Ademosum et al. (1968), where the apparent DM digestibility of a SSG hybrid harvested at 12 stages of maturity (varying from 52 to 85 d after sowing) ranged from 71.7 to 55.8%. The higher IVDMD reduction rate presented by stems (0.63 percentage units d^{-1}) compared with leaves (0.23 percentage units d^{-1}) indicates

that the former is more susceptible to the negative influence of advancing maturity on the nutritional value of this forage crop.

The fractionation and kinetics of DM, NDF and CP disappearance are shown in Table 5. The soluble fraction (A) of DM were not influenced by the maturity stage ($P>0.05$; mean value of 28.4%). The slowly disappearing fraction (B) of DM ranged from 48.4 to 53.5% and decreased linearly ($P<0.05$), while the undegradable fraction (C) ranged from 18.1 to 23.0% and increased linearly with advancing maturity ($P<0.01$). DM disappearance rate and effective degradability ranged from 3.16 to 2.64% h^{-1} and 61.3 to 55.4%, respectively, and decreased linearly with advancing maturity ($P<0.05$). Reduction of DM degradability with increasing maturity has been reported for several tropical forages (Coblentz et al., 1998; Aguiar et al., 1999; Rodrigues et al., 2004; Silva et al., 2008). This reduction of DM effective degradability with grass maturity is explained by the increase in stem/leaf ratio and reduction of stem and leaves nutritional quality.

The B and C fractions of NDF were not influenced by the maturity stage ($P>0.05$; mean values of 72.1 and 27.9%, respectively) while the disappearance rate and effective degradability ranged from 3.07 to 2.00% h^{-1} and 46.1 to 35.1%, respectively, and decreased linearly with advancing maturity ($P<0.01$). These results are in agreement with Beck et al. (2007) who also observed that the NDF fractions A, B and C of three SSG hybrids were not influenced by the maturity stage, while the NDF disappearance rate and effective degradability ranged from 3.25 to 4.38% h^{-1} and 34.1 to 46.3%, respectively, and decreased linearly over time. Reduction of NDF effective degradability with increasing maturity has been related to structural changes that lead to increased proportion of support and vascular tissues (sclerenchyma and xylem), which have densely packed cells with thick and lignified walls, hard to break down by rumen microorganisms (Wilson and Mertens, 1995; Wilson and Hatfield, 1997).

The soluble fraction of CP ranged from 44.2 to 49.9% and presented a quadratic trend over time ($P < 0.01$). The slowly disappearing fraction ranged from 33.8 to 40.9% and decreased linearly ($P < 0.01$) while the undegradable fraction ranged from 12.7 to 22.1% and increased linearly with advancing maturity ($P < 0.01$). CP disappearance rate and effective degradability ranged from 4.47 to 3.64% h^{-1} and 74.6 to 65.5%, respectively, and decreased linearly with advancing maturity ($P < 0.05$). CP soluble fraction obtained herein was higher than that observed for Tifton 85 (32.9 and 38.4% for regrowth interval of 2 and 4 weeks, respectively; Vendramini et al., 2008), *A. gayanus* silage (ranging from 0.8 to 25.4%; Ribeiro Jr. et al., 2014b), corn, sorghum and *Brachiaria brizantha* silages (38.4, 30.3 and 23.7%, respectively; Pires et al., 2010) and similar to that obtained for the cool season forages alfalfa and red clover (46.5 and 40.8%, respectively; Coblenz et al., 1998) and rye-ryegrass (ranging from 41.0 to 59.3%; Vendramini et al., 2008). The disappearance rates of CP obtained were also higher than that observed for *A. gayanus* silage (ranging from 1.04 to 2.32% h^{-1} ; Ribeiro Jr. et al., 2014b) and corn silage (ranging from 1.73 to 3.01% h^{-1} ; Gimenes et al., 2006).

The high CP solubility, disappearance rate and effective degradability obtained herein demonstrate that, besides having high CP content, this SSG hybrid also have high and fast CP availability. Therefore, the highly degradable nature of this N can lead to poor utilization of potentially available N in the rumen if not properly balanced with energy sources with similar availability (Broderick, 1985; Tamminga, 1996; Vendramini et al., 2008).

CONCLUSIONS

The SSG hybrid evaluated herein presents a high yield performance and its nutritional value can be considered satisfactory at all evaluated stages of maturity.

Considering that the yield performance increases and the nutritional value decreases with advancing maturity, the optimal age to harvest this forage crop depends on the animal

category and the objectives of the production system. If high productivity per animal is pursued, it should be harvested at ages close to 77 days after sowing, if high productivity per land unit is the goal it should be harvested at ages close to 98 days after sowing.

Desempenho agronômico, composição química e cinética de degradação ruminal de um híbrido de sorgo com capim-sudão mutante *bmr* em quatro estádios de maturação

RESUMO

Esse trabalho foi executado com o objetivo de determinar os efeitos do avanço do estágio de maturação do híbrido de sorgo com capim-sudão mutante *bmr* BR007A*bmr* x TX2785R*bmr* sobre suas características agronômicas, composição química e cinética de degradação ruminal. O híbrido foi avaliado aos 77, 84, 91 e 98 dias (d) após a semeadura. A altura das plantas, produtividade de matéria seca e matéria seca digestível, porcentagem de colmos e porcentagem de panículas aumentaram linearmente ao longo do tempo enquanto a porcentagem de folhas diminuiu linearmente. O teor de matéria seca (MS) das plantas inteiras variou de 12,3 a 15,2% e apresentou efeito quadrático. O teor de fibra em detergente neutro (FDN) das plantas inteiras variou de 59,1 a 68,4% e aumentou linearmente. Os teores médios de fibra em detergente ácido (FDA) das plantas inteiras, colmos e folhas foram de 36,8, 40,4 e 31,5%, respectivamente. O teor de lignina detergente ácido das plantas inteiras e colmos variaram de 2,9 a 4,4% e 3,2 a 4,4%, respectivamente, e aumentaram linearmente. Os teores médios de proteína bruta (PB) das plantas inteiras e folhas foram de 10,2 e 17,4%, respectivamente. As digestibilidades *in vitro* da MS das plantas inteiras, colmos e folhas variaram de 64,9 a 75,9, 60,6 a 73,7 e 63,5 a 68,9%, respectivamente, e diminuíram linearmente ao longo do tempo. A fração solúvel da PB foi elevada (>44%) em todos os estádios avaliados. As frações não degradáveis da MS e da PB aumentaram linearmente com a maturidade, enquanto a taxa de desaparecimento e a degradabilidade efetiva da MS, FDN

e PB diminuíram linearmente. Esses resultados indicam que o desempenho produtivo aumenta e o valor nutricional diminui com o avanço do estágio de maturação.

Palavras-chave: degradabilidade *in situ*, forragem tropical, produtividade, *Sorghum bicolor*; *Sorghum sudanense*, valor nutricional.

REFERENCES

- ADEMOSUM AA, BAUMGARDT BR, SCHOLL JM. 1968. Evaluation of a sorghum-sudangrass hybrid at varying stages of maturity on the basis of intake, digestibility and chemical composition. *J Anim Sci*, 27: 818-823.
- AGUIAR RS, VÁSQUEZ HM, SILVA JFC. 1999. Degradabilidade *in situ* da matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro do capim-furachão (*Panicum repens*, L.) submetido à adubação e em diferentes idades de corte. *Rev Bras Zootec*, 28: 799-807.
- AGUILAR PB, PIRES DAA, FROTA BCB, RODRIGUES JAS, REIS ST, ROCHA JUNIOR VR. 2014. Nutritional characteristics of *BMR* mutant and normal sorghum genotypes used for cutting and grazing. *Acta Sci*, 36: 259-264.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official methods of analysis. 1990. 15th ed., Arlington: AOAC, v.1, 1117 p.
- ASTIGARRAGA L, BIANCO A, MELLO R, MONTEDÓNICO D. 2014. Comparison of brown midrib sorghum with conventional sorghum forage for grazing dairy cows. *Am J Plant Sci*, 5: 955-962.
- BECK PA, HUTCHINSON S, GUNTER SA, LOSI TC, STEWART CB, CAPPS PK, PHILLIPS JM. 2007. Chemical composition and *in situ* dry matter and fiber disappearance of sorghum x sudangrass hybrids. *J Anim Sci*, 85: 545-555.
- BRODERICK GA. 1985. Alfalfa silage or hay versus corn silage as the sole forage for lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 68: 3262-3271.
- CHERNEY JH, CHERNEY DJ, AKIN DE, AXTELL JD. 1991. Potential of brown-midrib, low-lignin mutants for improving forage quality. *Adv Agron*, 46:157-198.
- COBLENTZ WK, FRITZ JO, FICK WH, COCHRAN RC, SHIRLEY JE. 1998. *In situ* dry matter, nitrogen, and fiber degradation of alfalfa, red clover, and Easter gamagrass at four maturities. *J Dairy Sci*, 81: 150-161.
- DI MARCO ON, AELLO MS, ARIAS S. 2005. Digestibility and ruminal digestion kinetics of corn silage. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 57: 223-228.

EDWARDS JR NC, FRIBROURG HA, MONTGOMERY, MJ. 1971. Cutting management effect on growth rate and dry matter digestibility of sorghum-sudangrass cultivar Sudax SX-11. *Agron J*, 63: 267-271.

FERREIRA PDS, GONÇALVES LC, RODRIGUES JAS, JAYME DG, SALIBA EOS, PIRES NETO OS, CRUZ DSG, MAGALHÃES FA, RIBEIRO JÚNIOR GO, VELASCO FO. 2015. Valor nutricional de híbridos de sorgo para corte e pastejo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) em diferentes fases fenológicas. *Semina: Ci Agrárias*, 36: 377-390.

GIMENES ALG, MIZUBUTI IY, MOREIRA FB, PEREIRA ES, RIBEIRO ELA, MORI RM. 2006. Degradabilidade *in situ* de silagens de milho confeccionadas com inoculantes bacteriano e/ou enzimático. *Acta Sci Anim Sci*, 28: 11-16.

GONTIJO MHR, BORGES ALCC, GONÇALVES LC, RODRIGUES JAS, GOMES SP, BORGES I, RODRIGUEZ NM, CAMPOS MM. 2008. Potencial forrageiro de seis híbridos de sorgo com capim-sudão. *RBMS*, 7: 33-43.

GUIMARÃES JUNIOR R, GONÇALVES, LC, RODRIGUES JAS, PIRES DAA, JAYME DG, RODRIGUEZ NM, SALIBA EOS. 2009. Avaliação agrônômica de genótipos de milheto (*P. glaucum*) plantados em período de safrinha. *Arch Zootec*, 58: 629-632.

HOLDEN LA. 1999. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *J Anim Sci*, 68: 3832-3842.

JAYME DG, PIRES DAA, GUIMARÃES JUNIOR R, GONÇALVES LC, RODRIGUES JAS, RODRIGUEZ NM, BORGES ALCC, BORGES I, SALIBA EOS, JAYME CG. 2007. Composição bromatológica e perfil de fermentação das silagens de cinco híbridos de capim-sudão (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*). *RBMS*, 6: 351-363.

LEDGERWOOD DN, DEPETERS EJ, ROBINSON PH, TAYLOR SJ, HEGUY JM. 2009. Assessment of a brown midrib (*BMR*) mutant gene on the nutritive value of sudangrass using in vitro and in vivo techniques. *Anim Feed Sci Technol*, 150: 207-222.

MCDONALD PJ, HENDERSON AR, HERON SJE. 1991. The biochemistry of silage. 2nd ed., Mallow: Chalcombe Publications, 340 p.

MELLO R, NORNBORG JL, ROCHA MG, DAVID DB. 2003. Análise produtiva e qualitativa de um híbrido de sorgo interespecífico submetido a dois cortes. RBMS, 2: 20-33.

MERTENS DR. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. J Dairy Sci, 80: 1463-1481.

NEUMANN M, RESTLE J, SOUZA ANM, PELLEGRINI LG, ZANETTE PM, NORNBORG JL, SANDINI IE. 2010. Desempenho vegetativo e qualitativo do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) em manejo de cortes. RBMS, 9: 10-15.

OBA M, ALLEN MS. 2000. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. J Dairy Sci, 83: 1333-1341.

OLIVER AL, PEDERSEN JF, GRANT RJ, KLOPFENSTEIN TJ. 2005. Comparative effects of the sorghum *bmr-6* and *bmr-12* genes: I. Forage Sorghum Yield and Quality. Crop Sci, 45: 2234-2239.

ØRSKOV ER, MCDONALD I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J Agric Sci, 92: 499-503.

PIRES AJV, REIS RA, CARVALHO GGP, SIQUEIRA GR, BERNARDES TF, RUGGIERI AC, ROTH MTP. 2010. Degradabilidade ruminal da matéria seca, da proteína bruta e da fração fibrosa de silagens de milho, de sorgo e de *Brachiaria brizantha*. Arq Bras Med Vet Zootec, 62: 391-400.

RIBEIRO JUNIOR GO, TEIXEIRA AM, VELASCO FO, FARIA JUNIOR WG, PEREIRA LGR, CHAVES AV, GONÇALVES LC, MCALLISTER TA. 2014a. Production, nutritional quality and *in vitro* methane production from *Andropogon gayanus* grass harvested at different maturities and preserved as hay or silage. Asian Australas J Ani Sci, 27: 330-341.

RIBEIRO JUNIOR GO, VELASCO FO, FARIA JUNIOR WG, TEIXEIRA AM, MACHADO FS, MAGALHÃES FA, JAYME DG, GONÇALVES LC. 2014b. *In situ* degradation kinetic of *Andropogon gayanus* grass silages harvested at three stages of maturity. Arq Bras Med Vet Zootec, 66: 1883-1890.

RODRIGUES ALP, SAMPAIO IBM, CARNEIRO JC, TOMICH TR, MARTINS RGR. 2004. Degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais obtidas em diferentes épocas de corte. Arq Bras Med Vet Zootec, 56: 658-664.

RODRIGUES JAS. 2010. Cultivo do Sorgo. 6th ed., Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/index.htm>. Acesso em: jan. 2015.

ROBERTSON JB, VAN SOEST PJ. 1981. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: JAMES HPT, THEANDER O. The analysis of dietary fiber in food. New York: Marcel Dekker, p. 123-158.

SANTOS HG, JACOMINE PKT, ANJOS LHC, OLIVEIRA VA, OLIVEIRA JB, COELHO MR, LUMBRERAS JF, CUNHA TJF. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2nd ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p.

SCHIMID AR, GOODRICH RD, JORDAN RM, MARTEN GC, MEISKE JC. 1976. Relationships among agronomic characteristics of corn and sorghum cultivars and silage quality. Agron J, 68: 403-406.

SILVA LFP, CASSOLI LD, ROMA JUNIOR LC, RODRIGUES ACO, MACHADO PF. 2008. *In situ* degradability of corn stover and elephant-grass harvested at four stages of maturity. Sci Agric, 65: 595-603.

TAMMINGA S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. J Anim Sci, 74: 3112-3124.

TEIXEIRA AM, RIBEIRO JUNIOR GO, VELASCO FO, FARIA JUNIOR WG, RODRIGUEZ NM, RODRIGUES JAS, MCALLISTER T, GONÇALVES LC. 2014. Intake and digestibility of sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench) silages with different tannin contents in sheep. R Bras Zootec, 43: 14-19.

TILLEY JMA, TERRY RAA, 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J Br Grass Soc, 18: 104-112.

TOMICH TR, GONÇALVES LC, MAURÍCIO RM, PEREIRA LGR, RODRIGUES JAS. 2003. Composição química e cinética de fermentação ruminal de híbridos de sorgo com capim-sudão. Arq Bras Med Vet Zootec, 55: 747-755.

TOMICH TR, RODRIGUES JAS, TOMICH RGP, GONCALVES LC, BORGES I. 2004. Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim-sudão. Arq Bras Med Vet Zootec, 56:258-263.

TOMICH TR, TOMICH RGP, GONÇALVES LC, BORGES I, RODRIGUES JAS. 2006. Valor nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão em comparação ao de outros volumosos utilizados no período de baixa disponibilidade das pastagens. Arq Bras Med Vet Zootec, 58: 1249-1252.

TSURUTA S, EBINA M, KOBAYASHI M, AKASHI R, KAWAMURA O. 2010. Structure and expression profile of the cinnamyl alcohol dehydrogenase gene and its association with lignification in the sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) *bmr-6* mutant. Breed Sci, 60: 314-323.

VAN SOEST PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed., Ithaca: Cornell University Press, 476 p.

VAN SOEST PJ, ROBERTSON JB, LEWIS BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J Dairy Sci, 74: 3583-3597.

VENDRAMINI JMB, SOLLENBERGER LE, ADESOGAN AT, DUBEUX JR JCB, INTERRANTE SM, STEWART RL, ARTHINGTON JD. 2008. Protein fractions of Tifton 85 and Rye-Ryegrass due to sward management practices. Agron J, 100: 463-469.

WEDIG CL, JASTER EH, MOORE KJ, MERCHEN NR. 1987. Rumen turnover and digestion of normal and brown midrib sorghum sudangrass hybrid silages in dairy cattle. J Dairy Sci, 70: 1220-1227.

WILSON JR, HATFIELD RD. 1997. Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: consequences for fiber degradation by rumen microflora. Aust J Agric Res, 48: 165-180.

WILSON JR, MERTENS DR. 1995. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. *Crop Sci*, 35: 251-259.

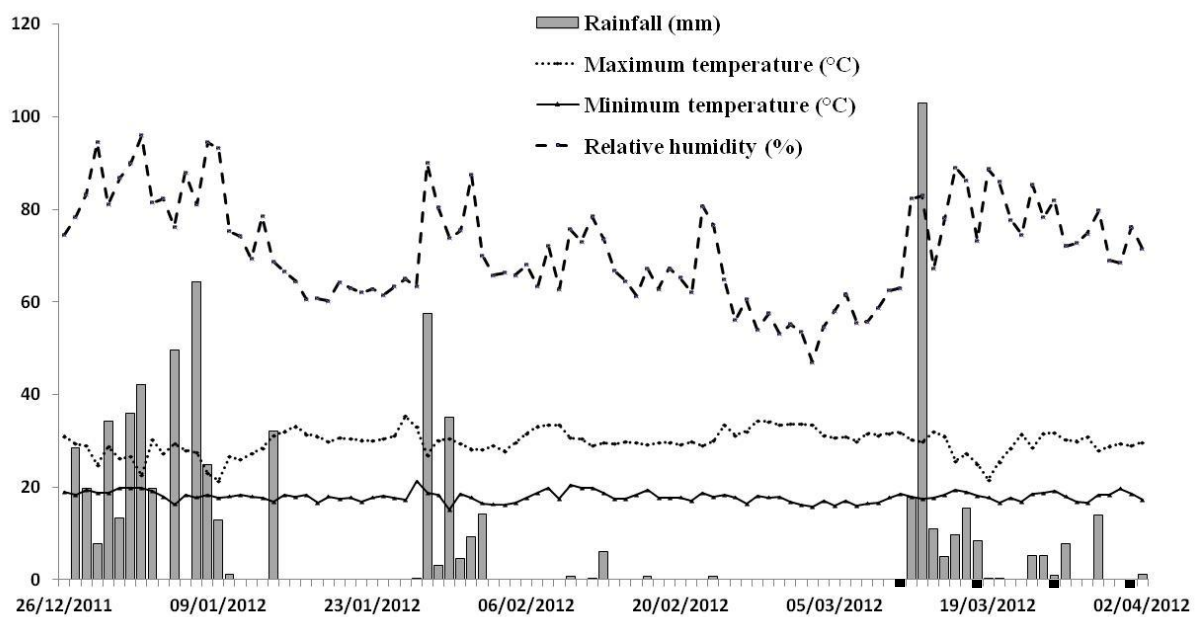


Figure 1 - Rainfall, minimum and maximum temperatures and relative humidity during the experiment. The harvest dates are highlighted with a black rectangle.

Table 1 - Agronomic traits of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities

Item	Days after sowing (D)				Regression Equation	CV
	77	84	91	98		
Plant height (m)	1.52	1.67	2.05	2.29	$Y = -1.50 + 0.04 D$ ($R^2=97.7$; $P<0.01$)	5.0
Green matter yield (t ha ⁻¹)	35.4	52.2	54.5	51.4	$Y = -785.8 + 18.5 D - 0.10 D^2$ ($R^2=97.6$; $P<0.01$)	18.6
Dry matter yield (t ha ⁻¹)	5.1	6.4	7.1	7.8	$Y = -4.1 + 0.12 D$ ($R^2=97.0$; $P<0.01$)	16.8
Digestible dry matter yield (t ha ⁻¹)	4.0	4.6	4.8	5.0	$Y = 0.42 + 0.05 D$ ($R^2=93.6$; $P<0.05$)	17.0
Proportion of stems (%, DM basis)	49.6	54.8	52.8	57.5	$Y = 25.8 + 0.32 D$ ($R^2=71.3$; $P<0.01$)	6.8
Proportion of leaves (%, DM basis)	50.5	41.4	34.8	29.8	$Y = 125.3 - 0.98 D$ ($R^2=98.3$; $P<0.01$)	7.9
Proportion of panicles (%, DM basis)	0	3.8	12.3	12.7	$Y = -51.2 + 0.67 D$ ($R^2=90.6$; $P<0.01$)	16.0

Table 2 - Dry matter and ash content of the whole plant, stems, leaves and panicles of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities

Item	Plant Fraction	Days after sowing (D)				Regression Equation	CV
		77	84	91	98		
Dry matter (DM, %)	Whole plant	14.5	12.3	13.0	15.2	$Y = 177.8 - 3.82 D + 0.02 D^2$ ($R^2=98.8$; $P<0.01$)	5.0
	Stems	8.2	8.9	9.4	11.4	$Y = -3.5 + 0.15 D$ ($R^2=90.7$; $P<0.01$)	10.9
	Leaves	18.6	19.3	21.2	25.1	$Y = -5.6 + 0.30 D$ ($R^2=89.9$; $P<0.01$)	2.6
	Panicles	-	12.6	19.6	28.4	$Y = -82.9 + 1.13 D$ ($R^2=99.6$; $P<0.01$)	13.7
Ash (% of DM)	Whole plant	7.9	8.1	7.3	6.5	$Y = 13.9 - 0.07 D$ ($R^2=80.2$; $P<0.01$)	7.4
	Stems	7.3	7.5	5.9	5.7	$\hat{Y} = 6.6$ ($P>0.05$)	20.8
	Leaves	7.2	7.5	6.5	6.8	$\hat{Y} = 7.0$ ($P>0.05$)	5.4
	Panicles	-	6.7	4.5	3.8	$Y = 24.3 - 0.21 D$ ($R^2=92.8$; $P<0.01$)	18.6

Table 3 - Neutral detergent fiber, acid detergent fiber and acid detergent lignin content of the whole plant, stems, leaves and panicles of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities

Item (% of DM)	Plant Fraction	Days after sowing (D)				Regression Equation	CV
		77	84	91	98		
Neutral detergent fiber	Whole plant	59.1	66.6	67.1	68.4	$Y = 30.1 + 0.40 D$ ($R^2=75.5$; $P<0.01$)	6.7
	Stems	61.1	69.8	72.7	67.4	$Y = -503.1 - 12.8 D + 0.07 D^2$ ($R^2=99.7$; $P<0.01$)	8.0
	Leaves	64.2	69.2	67.6	63.1	$Y = -299.3 - 8.5 D + 0.05 D^2$ ($R^2=97.2$; $P<0.01$)	2.6
	Panicles	-	61.7	68.2	68.9	$\hat{Y} = 66.3$ ($P>0.05$)	8.9
Acid detergent fiber	Whole plant	34.3	38.6	36.0	38.4	$\hat{Y} = 36.8$ ($P>0.05$)	7.0
	Stems	35.8	41.2	43.3	41.1	$\hat{Y} = 40.4$ ($P>0.05$)	13.1
	Leaves	31.5	32.1	31.5	30.8	$\hat{Y} = 31.5$ ($P>0.05$)	6.9
	Panicles	-	29.0	32.3	32.3	$\hat{Y} = 31.2$ ($P>0.05$)	9.8
Acid detergent lignin	Whole plant	2.9	3.8	4.3	4.4	$Y = -2.80 + 0.08 D$ ($R^2=91.1$; $P<0.01$)	18.9
	Stems	3.2	3.9	3.9	4.4	$Y = -0.68 + 0.05 D$ ($R^2=90.2$; $P<0.01$)	20.2
	Leaves	2.2	2.7	3.7	3.3	$\hat{Y} = 3.0$ ($P>0.05$)	35.1
	Panicles	-	3.2	3.3	3.5	$\hat{Y} = 3.3$ ($P>0.05$)	27.7

DM = dry matter.

Table 4 - Crude protein content and *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) of the whole plant, stems, leaves and panicles of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities

Item (% of DM)	Plant Fraction	Days after sowing (D)				Regression Equation	CV
		77	84	91	98		
Crude protein	Whole plant	10.0	9.1	11.9	9.9	$\hat{Y} = 10.2$ (P>0.05)	4.6
	Stems	10.7	6.3	6.3	6.5	$Y = 200.2 - 4.26 D + 0.02 D^2$ (R ² =94.3; P<0.01)	12.4
	Leaves	18.3	16.0	17.6	17.6	$\hat{Y} = 17.4$ (P>0.05)	3.1
	Panicles	-	13.8	13.2	11.4	$Y = 28.9 - 0.18 D$ (R ² =91.7; P<0.01)	6.0
IVDMD	Whole plant	75.9	71.3	67.7	64.9	$Y = 115.7 - 0.52 D$ (R ² =98.9; P<0.01)	2.9
	Stems	73.7	63.6	58.7	60.6	$Y = 119.4 - 0.63 D$ (R ² =73.0; P<0.01)	3.7
	Leaves	68.9	63.5	63.4	63.1	$Y = 84.7 - 0.23 D$ (R ² =54.2; P<0.01)	2.6
	Panicles	-	70.0	67.0	62.0	$Y = 118.2 - 0.57 D$ (R ² =97.9; P<0.01)	5.2

DM = dry matter.

Table 5 - *In situ* degradation kinetics of dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF) and crude protein (CP) of the whole plant of a *bmr* mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at four maturities

Item	Days after sowing (D)				Regression Equation	CV
	77	84	91	98		
DM						
Fraction A (%)	29.8	27.6	27.3	28.7	$\hat{Y} = 28.4$ (P>0.05)	3.5
Fraction B (%)	52.0	53.5	49.6	48.4	$Y = 69.5 - 0.21 D$ (R ² =68.9; P<0.05)	4.1
Fraction C (%)	18.1	18.9	23.0	22.9	$Y = -2.36 + 0.26 D$ (R ² =84.7; P<0.01)	10.7
Disappearance rate (% h ⁻¹)	3.16	2.74	2.87	2.64	$Y = 4.61 - 0.02 D$ (R ² =66.2; P<0.05)	7.8
Effective degradability* (%)	61.3	58.1	56.3	55.4	$Y = 82.3 - 0.28 D$ (R ² =93.3; P<0.01)	1.8
NDF						
Fraction A (%)	0	0	0	0	-	-
Fraction B (%)	73.6	77.1	75.1	62.6	$\hat{Y} = 72.1$ (P>0.05)	9.6
Fraction C (%)	26.4	22.9	24.9	37.4	$\hat{Y} = 27.9$ (P>0.05)	28.1
Disappearance rate (% h ⁻¹)	3.07	2.19	2.00	2.13	$Y = 4.61 - 0.02 D$ (R ² =66.2; P<0.01)	17.3
Effective degradability* (%)	46.1	42.2	41.1	35.1	$Y = 83.8 - 0.49 D$ (R ² =93.2; P<0.01)	9.0
CP						
Fraction A (%)	46.3	49.9	48.0	44.2	$Y = -226.1 + 6.42 D - 0.04 D^2$ (R ² =96.2; P<0.01)	3.1
Fraction B (%)	40.9	35.2	34.4	33.8	$Y = 64.0 - 0.32 D$ (R ² =76.6; P<0.01)	7.5
Fraction C (%)	12.7	14.9	17.6	22.1	$Y = -21.5 + 0.44 D$ (R ² =97.2; P<0.01)	9.8
Disappearance rate (% h ⁻¹)	4.47	4.31	3.57	3.64	$Y = 8.00 - 0.05 D$ (R ² =82.4; P<0.05)	11.3
Effective degradability* (%)	74.6	73.8	69.8	65.5	$Y = 109.9 - 0.45 D$ (R ² =93.0; P<0.01)	1.0

A = soluble fraction, B = slowly degradable fraction and C = undegradable fraction. * Effective degradability calculated with ruminal particulate passage rate assumed to be 2% h⁻¹.

CAPÍTULO III

Intake, digestibility and nitrogen utilization by sheep fed a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at different maturities

ABSTRACT

The use of sorghum-sudangrass hybrids contributes to the development of systems that produce high-quality forages year-round. The objective of this research was to determine the effect of maturity stage of the brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid BR007Abmr x TX2785Rbmr on the intake, digestibility and nitrogen (N) utilization by sheep. The hybrid was harvested at 77, 84, 91 and 98 d after sowing. 20 crossbred adult sheep were used in a completely randomized metabolism study. Dry matter (DM), digestible DM, crude protein (CP), digestible CP, neutral detergent fiber (NDF) and digestible NDF intake ranged from 76.8 to 54.0, 49.0 to 31.6, 9.40 to 6.02, 5.86 to 2.88, 45.5 to 32.1 and 27.1 to 17.0 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹, respectively, and decreased linearly with advancing maturity. DM, CP and NDF digestibility ranged from 63.5 to 52.3, 61.9 to 45.1 and 59.2 to 47.3%, respectively, and decreased linearly along the harvest ages. The digestible energy content of this hybrid ranged from 2.50 to 2.10 Mcal kg⁻¹ DM and decreased linearly with advancing maturity. N intake, urinary N, retained N and the ratio between retained N and N intake ranged from 23.1 to 15.0 g d⁻¹, 7.25 to 4.14 g d⁻¹, 7.11 to 2.67 g d⁻¹ and 30.7 to 17.6%, respectively, and also decreased linearly along time. Fecal N was not influenced by the maturity stage and presented a mean value of 8.21 g d⁻¹. The hybrid evaluated herein presents high nutritional value, but it declines with advancing maturity. If high productivity per animal is pursued, this hybrid should be harvested at 77 days after sowing.

Key words: nutritional value, *Sorghum bicolor*, *Sorghum sudanense*, ruminants, tropical forage.

INTRODUCTION

The use of sorghums in many areas of the globe has increased because of new high yielding hybrid varieties, restrictions on corn acreage and the existence of environmental conditions unfavorable to high corn yields, which are expected to be aggravated under climatic change scenarios. The hybrids of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) with sudangrass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), used mainly for grazing and green chop, have achieved great farmer acceptance because they have good flexibility of planting seasons, drought tolerance, high yield potential and quick establishment, therefore, its use contributes to the possibility of developing systems that produce high-quality forages year-round.

The nutritional quality of forage has been defined as the product of voluntary intake, digestibility and efficiency of nutrient use by the animal (Reid, 1994). These parameters are associated with plant anatomic-histological characteristics and its chemical composition, which varies with species, cultivars, climate, soil, crop and storage conditions but, mainly, stage of plant growth (Buxton and Fales, 1994; Van Soest, 1996). The efficiency of ruminant production systems based on forage as the main protein and energy source are highly dependent on forage maturity, which is often considered to be the primary factor that determines its nutritional quality (Nelson and Moser, 1994). Although Ademosum et al. (1968) observed decrease on the nutritional value of a sorghum-sudangrass (SSG) hybrid with advancing maturity and this is the most frequent response observed in tropical forages, data is limited on the nutritive value of this crop with respect to maturity, especially when obtained *in vivo*.

The brown midrib (*bmr*) mutation was originally induced and described in sorghum by Porter et al. (1978). This trait is associated with reduced lignin content, altered composition of lignin monomers and increased forage digestibility expressed in both sorghum and sudangrass (Fritz et al., 1981) and their hybrids (Fritz et al., 1990). *In vitro* (Ferreira et al., 2015), *in situ* (Beck et al., 2007) and *in vivo* (Astigarraga et al., 2014) digestion studies have shown that *bmr* mutant SSG hybrids have greater extent of fiber digestion than their conventional counterparts, which result in greater voluntary feed intake and animal performance (Oba and Allen, 1999b).

The genetic breeding program for forage crops carried out by the Brazilian Agricultural Research Corporation is developing new SSG hybrids, including *bmr* mutant genotypes, which must be evaluated for use as ruminant feed before recommending it for commercial use. Thus, this research was designed to determine the effect of maturity stage on the voluntary intake, digestibility and nitrogen utilization by sheep fed a new *bmr* mutant SSG hybrid.

MATERIAL AND METHODS

A new *bmr*-6 mutant SSG hybrid (BR007A*bmr* x TX2785R*bmr*) with seeds supplied by the sorghum breeding program of the Brazilian Agricultural Research Corporation was examined. Planting was carried out at the Corn and Sorghum Research Center, located in Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil, between coordinates 19°28' S (latitude) and 44°15' W (longitude). The seeds were sown at a depth of 5 cm with 35 cm centres. Fertilization was performed based on soil analysis and crop requirements. 400 kg ha⁻¹ of the formula 8-28-16 (N:P:K) + 0.5% Zinc were applied at sowing and 100 kg ha⁻¹ of urea were used as topdressing 25 d after sowing. The hybrid was harvested and chopped (10-25 mm) at 77, 84, 91 and 98 d after sowing at 5 cm above ground level. Immediately after harvesting and chopping forage was placed in bags (10-15 kg) and stored at -18°C.

Adult crossbred sheep (n = 20; 39.5 kg \pm 7.6) were used in a completely randomized metabolism study conducted at the Department of Animal Science in the Veterinary School at Federal University of Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. Sheep were housed in individual metabolic cages with slatted floors equipped with containers for collection of urine and feces. Sheep were adapted to diets for 21 d prior to total collection of urine and feces over 5 d. Sheep were weighed at the beginning and at the end of the adaptation and experimental periods. Frozen forage was taken out of the refrigerating chamber 14 h before feeding to assure that it was at room temperature when fed to the animals. Forage was fed twice daily (07:00 and 17:00) at a level that ensured a daily refusal of at least 20%. Sheep had free access to fresh water and a trace mineral salt mixture throughout the experiment. Orts and feces were weighed daily and a subsample (20%) was stored at -18°C from each sheep each day. Volatilization of urinary nitrogen was prevented by daily addition of 100 mL of 2N HCl to each urine collection container. Urine was collected daily and a 10% aliquot was stored at -18°C. After 5 d of collection, samples of Orts, feces, urine, and offered forage were composited for each sheep and stored at -18°C.

Samples of feces, offered forage and Orts were dried in a forced air oven at 55°C for 72 h and ground through a 1 mm screen in a Wiley mill (Thomas Model 4, Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA). Samples were analyzed for dry matter (DM) at 105°C and nitrogen (N) by the Kjeldahl method with crude protein (CP) being calculated as $N \times 6.25$ (AOAC, 1990). Neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined by the sequential method described by Van Soest et al. (1991) using the fiber analyzer ANKOM 220 (Ankom Technology, Macedon, NY, EUA). Heat-stable α -amylase and sodium sulphite were not used during the NDF procedure and NDF and ADF levels were expressed inclusive of residual ash. Acid detergent lignin (ADL) analysis was performed on ADF residues using the direct sulphuric acid method (Robertson and Van Soest, 1981).

Gross energy was determined by combustion in adiabatic bomb calorimeter PARR model 2066 (PARR Instrument Company, Moline, IL, USA). N content of urine was determined as described above. Retained N was calculated by subtracting total fecal and urinary N from total N intake.

Only samples of the offered forage were examined for *in vitro* DM digestibility (IVDMD) according to the two-stage procedure described by Tilley and Terry (1963) and adapted by Holden (1999) using a rumen simulator (Daisy^{II}, Ankom Technology, Macedon, NY, USA). On these samples, ash content was determined by combustion at 550°C (AOAC, 1990) and organic matter (OM) content determined by difference. All procedures used in this experiment were approved by UFMG Ethics Committee on Animal Experimentation under the protocol number 191/2011.

Data were analysed as a completely randomized design and subjected to variance and regression analyses. When there was a significant effect ($P < 0.05$) of maturity stage, linear and quadratic models were tested and the one that best fit the data according to the level of significance ($P < 0.05$), biological meaning and coefficient of determination (R^2) was used and presented. The statistical model is described below:

$$Y_{ij} = \mu + H_i + \epsilon_{ij}$$

where Y_{ij} = observation “j” in the the age “i”, μ = overall mean, H_i = effect of the age at harvest ($i = 77, 84, 91$ and 98 d after sowing) and ϵ_{ij} = residual error.

RESULTS AND DISCUSSION

DM content of the forage ranged from 13.2 to 16.2% (Table 1). The lower values obtained at 84 and 91 days after sowing are probably related to the heavy rainfall that occurred during these harvests. CP content ranged from 10.3 to 12.2%, which is far above the minimum necessary to meet the N requirements of the rumen microbial population (Van Soest, 1994). These values are close to those obtained by Ferreira et al. (2015), who observed

a linear decrease on CP content of a *bmr-6* mutant SSG hybrid with advancing maturity (ranging from 10,8 to 12,0%).

NDF, ADF and ADL contents ranged from 61.4 to 63.8%, 33.7 to 37.0% and 3.36 to 4.28%, respectively. ADL values obtained herein are lower than those observed by Tomich et al. (2003) for 25 SSG hybrids (ranging from 3.8 to 6.5%), especially considering that the hybrids were harvested at a much less mature stage (57 d after sowing). Ferreira et al. (2015) compared the ADL content of a SSG isogenic pair (normal vs. *bmr-6* mutant) and obtained 43.7% less ADL on the mutant hybrid. Taking that into account, the low ADL levels obtained herein are probably related to the *bmr-6* mutation.

IVDMD ranged from 62.6 to 70.9%. These values can be considered high when compared with other studies. Jayme et al. (2007) found IVDMD of the SSG hybrids AG-2501C, Sordan 79, CMSXS751, CMSXS752 e CMSXS753 (harvested 60 d after sowing) equal to 55.7, 59.1, 57.5, 56.3 and 59.8%, respectively. These results are also higher than those obtained for sorghum silage (Teixeira et al., 2014), corn silage (Di Marco et al., 2005), *Andropogon gayanus* silage and hay (Ribeiro Jr et al., 2014), stockpiled Marandu and signalgrass, sugarcane, coast-cross and Tifton 85 hay (Tomich et al., 2006) and, along with the high CP and low ADL content obtained, demonstrate the high nutritional value of this forage crop.

DM and digestible DM intake ranged from 76.8 to 54.0 and 49.0 to 31.6 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹, respectively, and decreased linearly (P<0.01) with advancing maturity (Table 2). Even the lowest DM intake value obtained in the present study was higher than that suggested by AFRC (1993) (51.02 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹) and NRC (1985) (53.19 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹) for adult sheep on maintenance. Ademosum et al. (1968) obtained DM intake by goats of 50.6, 48.3, 44.7 and 41.0 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹ of a SSG hay harvested at 76, 79, 82 and 85 d after sowing

and, contrary to the observed herein, the nutritive value of the forage was limited by its low voluntary feed intake.

DM and digestible DM intake observed in the first and second harvests of the present study were also substantially higher than that obtained for sorghum silage (digestible DM intake ranging from 23.9 to 32.2 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹; Machado et al., 2011), corn silage (digestible DM intake of 31.6 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹; Balwani et al., 1969), sunflower silage (DM intake of 62.3 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹; Mizubuti et al., 2002) and *Andropogon gayanus* silage (DM intake ranging from 51.8 to 57.0 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹; Ribeiro Jr et al., 2015).

DM digestibility ranged from 63.5 to 52.3% and decreased linearly (P<0.01) with advancing maturity (Table 2). This is in accordance with Ademosum et al. (1968) who observed a decrease on DM digestibility from 63.0 to 55.8% on SSG hybrid hay harvested between 76 and 85 days after sowing, respectively. Such trend is expected on tropical forages and is explained by the increase in stem-to-leaf ratio, increase on cell wall content, greater lignification of tissues and reduction of stem nutritional quality (Jung and Deetz, 1993; Nelson and Moser, 1994; Wilson and Hatfield, 1997). The increase on NDF, ADF and ADL contents with time observed in this study corroborates with this. In addition, the rate of decline in DM digestibility obtained in the present study (0.50 percent units d⁻¹) indicates the similarity in decline in DM digestibility with maturity between SSG hybrids and perennial forages (Baumgardt et al., 1964; Minson et al., 1960).

NDF and digestible NDF intake ranged from 45.5 to 32.1 and 27.1 to 17.0 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹, respectively, and decreased linearly (P<0.01) with advancing maturity (Table 2). NDF digestibility ranged from 59.2 to 47.3% and also decreased linearly (P<0.01) along the harvest ages. Again, the results obtained in the first and second harvests of the present study were higher than that observed for other forage resources with similar NDF content. As an example, Machado et al. (2011) obtained NDF intake, digestible NDF intake and NDF

digestibility of the silages of three sorghum hybrids ensiled at three maturity stages ranging from 29.0 to 34.7 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹, 11.5 to 16.7 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹ and 35.0 to 48.9%, respectively. The maximum NDF intake by sheep suggested by NRC (2007) is 1.4% of BW but in the present study higher values were observed, except on the third harvest (1.83, 1.70, 1.30 and 1.47% of BW when forage was harvested at 77, 84, 91 and 98 days after sowing, respectively). This may be explained by the high NDF digestibility obtained, especially in the first and second harvests.

It seems that NDF quality was more important than its amount on determining the reduction of DM intake with advancing maturity observed herein, because NDF content increase was very subtle (3.9% of increase from the first to the last harvest) while NDF digestibility decrease was very high (20.1% of decrease from the first to the last harvest). This may be explained by an increase in lignification of the cell wall tissues with time, since lignin is the primary factor limiting cell wall digestibility (Van Soest, 1994). The higher rate of decline in FDN digestibility (0.57 percent units d⁻¹) than in DM digestibility (0.50 percent units d⁻¹) and the increase on ADL content with maturity observed corroborate with this.

NDF digestibility is an important parameter of forage quality. Fibrous fractions of feeds have a greater effect on ruminal fill than do nonfiber fractions because fiber ferments slowly and is retained in the rumen longer (Oba and Allen, 1999a). Enhanced NDF digestibility increases DM intake when the maximum DM intake is limited by ruminal fill. A faster disappearance of the NDF fraction from the rumen because of an increased rate of digestion or passage may reduce physical fill in the rumen and allow greater voluntary feed intake (Dado and Allen, 1995). Besides that, a more digestible fiber fraction increases the energy density of the diet and the amount of substrate available for microbial protein synthesis. The high NDF digestibility observed herein, which determined high NDF and DM

intake, may be explained by the presence of the *bmr-6* mutation and demonstrates the high nutritional value of this crop, especially when harvested between 77 and 84 d after sowing.

GE and digestible energy (DE) intake ranged from 305 to 215 and 193 to 123 kcal kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹ and decreased linearly (P<0.01) with advancing maturity (Table 2). GE digestibility ranged from 63.1 to 52.7% and also decreased linearly (P<0.01) over time. DE intake on the first and second harvests were higher than those observed by Ademosum et al. (1968), who obtained DE intake by goats of 131, 119, 103 and 95 kcal kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹ of a SSG hay harvested at 76, 79, 82 and 85 d after sowing. DE intake obtained in the first and second harvests (77 and 84 d after sowing) were also higher than that recommended by NRC (1985) as the requirement for sheep in maintenance (146 kcal kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹).

DE content ranged from 2.50 to 2.10 Mcal kg⁻¹ DM and decreased linearly (P<0.01) with advancing maturity (Table 2). The factors responsible for this decrease are the same reported here for the decrease on DM and NDF digestibility with advancing maturity. Despite the decrease on DE content over time, it can be considered satisfactory at all evaluated stages of maturity and is similar to the obtained by Teixeira et al. (2014) for sorghum silage (ranging from 2.15 to 2.44 Mcal kg⁻¹ DM).

CP and digestible CP intake ranged from 9.40 to 6.02 and 5.86 to 2.88 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹, respectively, and decreased linearly (P<0.01) with advancing maturity (Table 2). CP digestibility ranged from 61.9 to 45.1% and also decreased linearly (P<0.01) over time. The high CP intake and digestibility observed in the present study resulted on high digestible CP intake compared with sorghum silage (ranging from 0.58 to 1.74 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹; Machado et al., 2011) and corn silage (ranging from 2.44 to 3.08 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹; Freitas et al., 2003). Even the lowest digestible CP intake - obtained for the forage harvested 98 d after sowing - was higher than the requirement of digestible CP for sheep in maintenance informed by AFRC (1993) (2.46 g kg⁻¹ BW^{0.75} d⁻¹).

As expected due to the high digestible CP intake observed, sheep remained in positive N balance at all maturity stages evaluated. Retained N ranged from 7.11 to 2.67 g d⁻¹ (Table 3) and linearly decreased with advancing maturity (P<0.01). These values are similar to that observed for corn and sunflower silages (5.38 and 5.32 g d⁻¹, respectively; Mizubuti et al., 2002) and higher than that observed for sorghum silage (2.53 g d⁻¹; Mizubuti et al., 2002) and *Andropogon gayanus* silage (ranging from 0.6 to 1.8 g d⁻¹; Ribeiro Jr et al., 2015). The ratio between retained N and N intake ranged from 30.7 to 17.6% and also decreased linearly along time (P<0.01), indicating that, similarly to what happened with DM, NDF and energy, N was utilized more efficiently when forage was harvested at less mature stages.

N intake and urinary N ranged from 23.1 to 15.0 and 7.25 to 4.14 g d⁻¹, respectively, and decreased linearly with advancing maturity (P<0.01), while fecal N (8.21 g d⁻¹) was not influenced by the maturity stage (P>0.05). N in feces is the sum of undigested dietary N, microbial fecal N and endogenous N, while urinary N excretion is a combined consequence of the absorption of ammonia N from the rumen and recycling of that N back into the gut, which is in turn related to the composition of the diet and the ruminal utilization efficiency of dietary N (Moorby et al., 2006). The linear decrease in urinary N rather than in fecal N in the present study indicates that the main route for output of dietary N in excess of animal requirements was via urine.

The elevated loss of N via urine (31.4, 33.1, 33.1 and 27.6% of ingested N respectively for forage harvested at 77, 84, 91 and 98 d after sowing) may be related to an energy shortage relative to nitrogen, which reduces ruminal digestive efficiency (Broderick, 1985; Tamminga, 1996; Vendramini et al., 2008). In a study conducted by Kebreab et al. (2002) the imbalance of N availability and N capture by microbes in diets with excessive rumen-degradable protein resulted in surplus N in the rumen which was converted to urea and excreted via urine, which may also have occurred in the present study. Further studies should

be conducted on the nature of the nitrogenous fractions of this SSG hybrid, in order to determine the best energy sources that should be used as supplement to improve synchronization of N and energy availability in the rumen and increase the digestive and metabolic efficiency.

CONCLUSIONS

The hybrid evaluated herein presents high nutritional value, but it declines with advancing maturity. If high productivity per animal is pursued, it should be harvested at 77 days after sowing.

Consumo, digestibilidade e balanço de nitrogênio em ovinos alimentados com um híbrido de sorgo com capim-sudão mutante *bmr* colhido em diferentes idades

RESUMO

A utilização de híbridos de sorgo com capim-sudão contribui com o desenvolvimento de sistemas de produção baseados na utilização de forragem de alta qualidade durante o ano todo. O objetivo desse estudo foi determinar o efeito do estágio de maturação sobre o consumo, digestibilidade e utilização do nitrogênio (N) por ovinos alimentados com o híbrido de sorgo com capim-sudão portador da mutação *bmr* (*brown midrib*) BR007A*bmr* x TX2785R*bmr*. O híbrido foi avaliado aos 77, 84, 91 e 98 d após a semeadura. Foram utilizados 20 carneiros adultos sem raça definida em um estudo de metabolismo em delineamento inteiramente casualizado. Os consumos de matéria seca (MS), MS digestível, proteína bruta (PB), PB digestível, fibra em detergente neutro (FDN) e FDN digestível variaram de 76,8 a 54,0; 49,0 a 31,6; 9,40 a 6,02; 5,86 a 2,62; 45,5 a 32,1 e 27,1 a 17,0 g kg⁻¹ PV^{0.75} d⁻¹, respectivamente, e reduziram linearmente com o avanço da maturidade. As digestibilidades da MS, PB e FDN variaram de 63,5 a 52,3; 61,9 a 45,1 e 59,2 a 47,3%, respectivamente, e diminuíram linearmente ao longo das idades ao corte. O conteúdo de energia digestível desse híbrido variou de 2,50 a 2,10 Mcal kg⁻¹ MS e diminuiu de forma linear com o avanço da maturidade. O N ingerido, N urinário, N retido e a razão entre N retido e N ingerido variaram de 23,1 a 15,0 g d⁻¹; 7,25 a 4,14 g d⁻¹; 7,11 a 2,67 g d⁻¹ e 30,7 a 17,6%, respectivamente, e também diminuíram de forma linear ao longo do tempo. O N fecal médio foi 8.21 g d⁻¹, sem efeito do estágio de maturação. O híbrido avaliado apresenta elevado valor nutricional, mas ocorre redução com o avanço do estágio de maturação.

Quando o objetivo for obter alta produtividade por animal, esse híbrido deve ser colhido aos 77 dias após a semeadura.

Palavras-chave: foragem tropical, ruminantes, *Sorghum bicolor*, *Sorghum sudanense*, valor nutricional.

REFERENCES

- ADEMOSUM AA, BAUMGARDT BR, SCHOLL JM. 1968. Evaluation of a sorghum-sudangrass hybrid at varying stages of maturity on the basis of intake, digestibility and chemical composition. *J Anim Sci*, 27: 818-823.
- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC. Energy and protein requirements of ruminants. 1993. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 159p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official methods of analysis. 1990. 15th ed., Arlington: AOAC, v.1, 1117 p.
- ASTIGARRAGA L, BIANCO A, MELLO R, MONTEDÓNICO D. 2014. Comparison of brown midrib sorghum with conventional sorghum forage for grazing dairy cows. *Am J Plant Sci*, 5: 955-962.
- BALWANI TL, JOHNSON RR, MCCLURE KE, DEHORITY BA. 1969. Evaluation of green chop and ensiled sorghums, corn silage and perennial forages using digestion trials and VFA production in sheep. *J Anim Sci*, 28: 80-97.
- BAUMGARDT BR, BYER WJ, JUMAH HF, KRUEGER CR. 1964. Digestion in the steer, goat, and artificial rumen as measures of forage nutritive value. *J Dairy Sci*, 47: 160-164.
- BECK PA, HUTCHINSON S, GUNTER SA, LOSI TC, STEWART CB, CAPPS PK, PHILLIPS JM. 2007. Chemical composition and *in situ* dry matter and fiber disappearance of sorghum x sudangrass hybrids. *J Anim Sci*, 85: 545-555.
- BUXTON DR, FALES SL. 1994. Plant environment and quality. In: FAHEY JR GC, COLLINS M, MERTENS DR, MOSER LE. Forage quality, evaluation, and utilization. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p. 155-199.
- BRODERICK GA. 1985. Alfalfa silage or hay versus corn silage as the sole forage for lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 68: 3262-3271.
- DADO RG, ALLEN MS. 1995. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. *J Dairy Sci*, 78: 118-133.

DI MARCO ON, AELLO MS, ARIAS S. 2005. Digestibility and ruminal digestion kinetics of corn silage. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 57: 223-228.

FERREIRA PDS, GONÇALVES LC, RODRIGUES JAS, JAYME DG, SALIBA EOS, PIRES NETO OS, CRUZ DSG, MAGALHÃES FA, RIBEIRO JÚNIOR GO, VELASCO FO. 2015. Valor nutricional de híbridos de sorgo para corte e pastejo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) em diferentes fases fenológicas. *Semina: Ci Agrárias*, 36: 377-390.

FREITAS GAR, COELHO SG, GONÇALVES LC, RODRIGUES JAS, BORGES I. 2003. Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca, proteína e energia bruta, e balanço de nitrogênio das silagens de cinco genótipos de milho. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 55: 443-449.

FRITZ JO, CANTRELL RP, LECHTENBERG VL, AXTELL JD, HERTEL JM. 1981. Brown midrib mutants in sudangrass and grain sorghum. *Crop Sci*, 21: 706-709.

FRITZ JO, MOORE KJ, JASTER EH. 1990. Digestion kinetics and cell wall composition of brown midrib sorghum x sudangrass morphological components. *Crop Sci*, 30: 213-219.

HOLDEN LA. 1999. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. *J Anim Sci*, 68: 3832-3842.

JAYME DG, PIRES DAA, GUIMARÃES JUNIOR R, GONÇALVES LC, RODRIGUES JAS, RODRIGUEZ NM, BORGES ALCC, BORGES I, SALIBA EOS, JAYME CG. 2007. Composição bromatológica e perfil de fermentação das silagens de cinco híbridos de capim-sudão (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*). *RBMS*, 6: 351-363.

JUNG HG, DEETZ DA. 1993. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG HG, BUXTON DR, HATFIELD RD, RALPH J. *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*. 1st ed., Madison: ASA-CSSA-SSSA, p. 315-346.

KEBREAB E, FRANCE J, MILLS JAN, ALLISON R, DIJKSTRA J. 2002. A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. *J Anim Sci*; 80: 248-259.

MACHADO FS, RODRÍGUEZ NM, GONÇALVES LC, RODRIGUES JAS, RIBAS MN, PÔSSAS FP, GUIMARÃES JR R, JAYME DG, PEREIRA LGR. 2011. Consumo e

digestibilidade aparente de silagens de sorgo em diferentes estádios de maturação. Arq Bras Med Vet Zootec, 63: 1470-1478.

MINSON DJ, RAYMOND WF, HARRIS CE. 1960. Studies in the digestibility of herbage. VIII. The digestibility of S37 cocksfoot, S23 ryegrass and S24 ryegrass. J Br Grassl Soc, 15: 174-180.

MIZUBUTI IY, RIBEIRO ELA, ROCHA MA, SILVA LDF, PINTO AP, FERNANDES WC, ROLIM MA. 2002. Consumo e digestibilidade aparente das silagens de milho (*Zea mays L.*), sorgo (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) e girassol (*Helianthus annuus L.*). R Bras Zootec, 31: 267-272.

MOORBY JM, DEWHURST RJ, EVANS RT, DANELÓN JL. 2006. Effects of dairy cow diet forage proportion on duodenal nutrient supply and urinary purine derivative excretion. J Dairy Sci, 89: 3552-3562.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient Requirements of sheep. 1985. 6th ed., Washington DC: National Academic Press, 99p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL- NRC. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and New World camelids. 2007. Washington DC: National Academy Press, 384p.

NELSON CJ, MOSER LE. 1994. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY JR GC, COLLINS M, MERTENS DR, MOSER LE. Forage quality, evaluation, and utilization. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p. 115-154.

OBA M, ALLEN MS. 1999a. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on dry matter intake and productivity of high yielding dairy cows. J Dairy Sci, 82: 135-142.

OBA M, ALLEN MS. 1999b. Evaluation of the importance of digestibility of NDF from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. J Dairy Sci, 82: 589-596.

PORTER KS, AXTELL JD, LECHTENBERG VL, COLENBRANDER VF. 1978. Phenotype, fiber composition, and in vitro dry matter disappearance of chemically induced brown midrib (bmr) mutants of sorghum. Crop Sci, 18: 205-208.

REID RL. 1994. Milestones in forage research (1969-1994). In: FAHEY JR GC, COLLINS M, MERTENS DR, MOSER LE. Forage quality, evaluation, and utilization. Madison: ASA, CSSA, SSSA, p. 1-58.

RIBEIRO JUNIOR GO, TEIXEIRA AM, VELASCO FO, FARIA JUNIOR WG, JAYME DG, MAURÍCIO RM, GONÇALVES LC, MCALLISTER TA. 2015. Methane production and energy partitioning in sheep fed *Andropogon gayanus* grass ensiled at three regrowth stages. Can J Ani Sci, 95: 103-110.

RIBEIRO JUNIOR GO, TEIXEIRA AM, VELASCO FO, FARIA JUNIOR WG, PEREIRA LGR, CHAVES AV, GONÇALVES LC, MCALLISTER TA. 2014. Production, nutritional quality and *in vitro* methane production from *Andropogon gayanus* grass harvested at different maturities and preserved as hay or silage. Asian Australas J Ani Sci, 27: 330-341.

ROBERTSON JB, VAN SOEST PJ. 1981. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: JAMES HPT, THEANDER O. The analysis of dietary fiber in food. New York: Marcel Dekker, p. 123-158.

TAMMINGA S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. J Anim Sci, 74: 3112-3124.

TEIXEIRA AM, RIBEIRO JUNIOR GO, VELASCO FO, FARIA JUNIOR WG, RODRIGUEZ NM, RODRIGUES JAS, MCALLISTER T, GONÇALVES LC. 2014. Intake and digestibility of sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench) silages with different tannin contents in sheep. R Bras Zootec, 43: 14-19.

TILLEY JMA, TERRY RAA, 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J Br Grass Soc, 18: 104-112.

TOMICH TR, GONÇALVES LC, MAURÍCIO RM, PEREIRA LGR, RODRIGUES JAS. 2003. Composição química e cinética de fermentação ruminal de híbridos de sorgo com capim-sudão. Arq Bras Med Vet Zootec, 55: 747-755.

TOMICH TR, TOMICH RGP, GONÇALVES LC, BORGES I, RODRIGUES JAS. 2006. Valor nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão em comparação ao de outros volumosos utilizados no período de baixa disponibilidade das pastagens. Arq Bras Med Vet Zootec, 58: 1249-1252.

VENDRAMINI JMB, SOLLENBERGER LE, ADESOGAN AT, DUBEUX JR JCB, INTERRANTE SM, STEWART RL, ARTHINGTON JD. 2008. Protein fractions of Tifton 85 and Rye-Ryegrass due to sward management practices. *Agron J*, 100: 463-469.

VAN SOEST PJ, ROBERTSON JB, LEWIS BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci*, 74: 3583-3597.

VAN SOEST PJ. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed., Ithaca: Cornell University Press, 476 p.

VAN SOEST PJ. 1996. Environment and forage quality. In: *Proceedings of Cornell nutrition conference for food manufacturers*, 58. Ithaca: Cornell University Press, p. 1-9.

WILSON JR, HATFIELD RD. 1997. Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: consequences for fiber degradation by rumen microflora. *Aust J Agric Res*, 48: 165-180.

Table 1 - Chemical composition and *in vitro* dry matter digestibility of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at different maturities

Item	Days after sowing			
	77	84	91	98
Dry matter (DM, %)	14.8	13.2	13.5	16.2
Organic matter (% of DM)	92.8	91.8	92.8	93.2
Crude protein (% of DM)	12.2	12.1	11.3	10.3
Neutral detergent fiber (% of DM)	61.4	62.6	63.2	63.8
Acid detergent fiber (% of DM)	33.7	36.6	36.7	37.0
Acid detergent lignin (% of DM)	3.36	3.43	3.70	4.28
<i>In vitro</i> DM digestibility (% of DM)	70.9	67.7	62.6	62.7

Table 2 - Intake, digestibility and energy content of a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at different maturities

Item	Days after sowing (D)				Regression Equation	CV
	77	84	91	98		
Intake						
DM (g kg ⁻¹ BW ^{0.75} d ⁻¹)	76.8	69.6	54.0	59.9	Y = 147.8 - 0.95 D (R ² =71.5; P<0.01)	15.6
Digestible DM (g kg ⁻¹ BW ^{0.75} d ⁻¹)	49.0	41.7	31.8	31.6	Y = 116.2 - 0.89 D (R ² =90.6; P<0.01)	15.7
CP (g kg ⁻¹ BW ^{0.75} d ⁻¹)	9.40	8.51	6.08	6.02	Y = 23.2 - 0.18 D (R ² =89.5; P<0.01)	16.7
Digestible CP (g kg ⁻¹ BW ^{0.75} d ⁻¹)	5.86	5.10	3.41	2.88	Y = 17.6 - 0.15 D (R ² =96.0; P<0.01)	17.7
NDF (g kg ⁻¹ BW ^{0.75} d ⁻¹)	45.5	42.9	32.1	36.5	Y = 86.4 - 0.54 D (R ² =64.6; P<0.01)	16.9
Digestible NDF (g kg ⁻¹ BW ^{0.75} d ⁻¹)	27.1	24.3	17.0	17.5	Y = 66.8 - 0.52 D (R ² =86.3; P<0.01)	18.8
GE (kcal kg ⁻¹ BW ^{0.75} d ⁻¹)	305	272	215	238	Y = 577.8 - 3.66 D (R ² =70.8; P<0.01)	15.5
Digestible energy (kcal kg ⁻¹ BW ^{0.75} d ⁻¹)	193	162	123	127	Y = 448.8 - 3.40 D (R ² =87.1; P<0.01)	15.2
Digestibility						
DM (%)	63.5	60.0	58.8	52.3	Y = 102.3 - 0.50 D (R ² =92.3; P<0.01)	6.6
CP (%)	61.9	60.1	55.8	45.1	Y = 124.1 - 0.78 D (R ² =87.8; P<0.01)	8.3
NDF (%)	59.2	56.4	52.6	47.3	Y = 103.5 - 0.57 D (R ² =98.1; P<0.01)	8.8
GE (%)	63.1	59.7	57.3	52.7	Y = 100.2 - 0.48 D (R ² =98.5; P<0.01)	6.0
Energy content						
Digestible energy (Mcal kg ⁻¹ DM)	2.50	2.35	2.28	2.10	Y = 3.90 - 0.02 D (R ² =97.4; P<0.01)	5.9

Table 3 - Nitrogen (N) utilization by sheep fed a brown midrib mutant sorghum-sudangrass hybrid harvested at different maturities

Item	Days after sowing (D)				Regression Equation	CV
	77	84	91	98		
N Intake (g d ⁻¹)	23.1	21.8	15.3	15.0	$Y = 57.2 - 0.44 D$ ($R^2=87.2$; $P<0.01$)	17.3
Fecal N (g d ⁻¹)	8.73	9.06	6.84	8.21	$\hat{Y} = 8.21$ ($P>0.05$)	23.8
Urinary N (g d ⁻¹)	7.25	7.21	5.06	4.14	$Y = 20.3 - 0.16 D$ ($R^2=89.7$; $P<0.01$)	12.9
Retained N (g d ⁻¹)	7.11	5.51	3.35	2.67	$Y = 24.0 - 0.22 D$ ($R^2=96.6$; $P<0.01$)	33.2
Retained N / N Intake (%)	30.7	24.3	22.0	17.6	$Y = 75.5 - 0.59 D$ ($R^2=96.7$; $P<0.01$)	21.6

CAPÍTULO IV - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesse trabalho demonstram que o híbrido de sorgo com capim-sudão avaliado tem potencial para ser utilizado no campo e contribuir com o aumento dos índices de produtividade necessários para que o Brasil continue se destacando no setor agropecuário. O híbrido estudado apresentou, apesar da presença da mutação *bmr*, elevado potencial produtivo nas condições avaliadas. Independente da idade ao corte o valor nutricional desse híbrido pode ser considerado satisfatório e semelhante ou superior ao da maioria dos recursos forrageiros utilizados nos períodos de escassez de forragem.

Com o avanço do estágio de maturação ocorre aumento linear da produtividade de matéria seca e matéria seca digestível, ao passo que os principais parâmetros que determinam o valor nutricional (consumo e digestibilidade dos nutrientes, teor de energia digestível, balanço de nitrogênio, etc.) apresentam redução linear com o aumento da idade ao corte. Dessa forma, a decisão quanto ao melhor momento para utilização desse material depende dos objetivos do sistema de produção e da categoria animal em questão. Se o interesse for obter elevados índices de produtividade animal individual, recomenda-se utilizá-lo próximo aos 77 dias após o plantio. No entanto, se o objetivo for maximizar a produtividade por unidade de área ou se a categoria animal for de menor exigência nutricional, pode-se utilizá-lo em estádios de maturação mais avançados, ou seja, próximo aos 98 dias após o plantio.

Por fim, o teor proteico relativamente alto desse híbrido e a natureza de sua fração nitrogenada - caracterizada por apresentar elevadas solubilidade, taxa de degradação e degradabilidade efetiva - indicam que a suplementação com fontes energéticas de natureza semelhante seja recomendada, com o objetivo de maximizar a eficiência digestiva e metabólica nos animais que se alimentam dele.