TÁSSIA BARRERA DE PAULA E SILVA

Silagem de soja e de aveia preta na alimentação de vacas leiteiras

Pirassununga

2020

TÁSSIA BARRERA DE PAULA E SILVA

Silagem de soja e de aveia preta na alimentação de vacas leiteiras

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Departamento:

Nutrição e Produção Animal

Área de concentração:

Nutrição e Produção Animal

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Palma Rennó

De acordo:

Orientador

São Paulo
2020

Obs: A versão original encontra-se disponível na Biblioteca da FMVZ/USP

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T. 3949
FMVZ

Paula e Silva, Tássia Barrera de
Silagem de soja e aveia preta na alimentação de vacas leiteiras / Tássia Barrera de
Paula e Silva. – 2020.
74 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina
Veterinária e Zootecnia. Departamento de Nutrição e Produção Animal, Pirassununga,
2020.

Programa de Pós-Graduação: Nutrição e Produção Animal.

Área de concentração: Nutrição e Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Palma Rennó.

1. Desempenho animal. 2. Produção de leite. 3. Silagem. I. Título.

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Substituição parcial da silagem de milho por silagem de soja ou silagem de aveia preta na alimentação de vacas leiteiras.", protocolada sob o CEUA nº 3302101018 (ID 005923), sob a responsabilidade de **Francisco Palma Rennó e equipe; Tássia Barrera de Paula e Silva** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (CEUA/FMVZ) na reunião de 12/12/2018.

We certify that the proposal "Partial replacement of corn silage by soybean silage or black oat silage to dairy cattle.", utilizing 27 Bovines (27 females), protocol number CEUA 3302101018 (ID 005923), under the responsibility of **Francisco Palma Rennó and team; Tássia Barrera de Paula e Silva** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the School of Veterinary Medicine and Animal Science (University of São Paulo) (CEUA/FMVZ) in the meeting of 12/12/2018.

Finalidade da Proposta: [Pesquisa](#)

Vigência da Proposta: de [12/2018](#) a [02/2019](#)

Área: [Nutrição E Produção Animal](#)

Origem: [Não aplicável biotério](#)

Espécie: [Bovinos](#)

sexo: [Fêmeas](#)

idade: [6 a 9 anos](#)

N: [27](#)

Linhagem: [Holandesa](#)

Peso: [580 a 700 kg](#)

Local do experimento: As vacas serão alojadas em um confinamento tipo free stall, contendo camas individuais de areia com dimensões de 2,5 x 2,0 m (5,0 m²). Todos os procedimentos serão realizados nesta instalação, com exceção da ordenha que será realizada em instalação apropriada, localizada ao lado do referido confinamento.

São Paulo, 28 de janeiro de 2020

Prof. Dr. Marcelo Bahia Labruna

Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

Camilla Mota Mendes
Vice-Coordenador

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: SILVA, Tássia Barrera de Paula e

Título: Silagem de soja e de aveia preta na alimentação de vacas leiteiras

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____
Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____
Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____
Instituição: _____ Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

À minha avó, Maria Isabel Barrera (*in memorian*), na qual, infelizmente, não pode acompanhar de perto minha jornada até aqui, mas que sei que torce por mim e me envia forças de onde quer que esteja;

Ao meu pai, Ivan Moacir Barrera da Silva. Sempre foi e sempre será tudo por você.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da Universidade de São Paulo (USP), especialmente ao Programa de Pós Graduação em Nutrição e Produção Animal (VNP) pela oportunidade da realização da pós-graduação;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Professor Dr. Francisco Palma Rennó, em especial pela orientação, mas também pelos ensinamentos, paciência, dedicação, por apostar na minha capacidade e, não menos importante, pelo vínculo de amizade que criamos;

Aos funcionários do Laboratório em Pesquisa em Bovinos de Leite (LPBL), Diogo Martinelli, Lucas dos Santos, Dênis Poli e Carlos Alberto Schmidt que nunca mediram esforços para ajudar não só na pesquisa, mas em toda assistência que fosse precisa, juntamente com os funcionários terceirados que nos ajudam no manejo diário dos animais;

Aos animais experimentais do LPBL, que foram cedidos a mim para a realização deste estudo, na qual me proporcionaram imprescindível conhecimento e aprendizado;

Aos meus colegas pós-graduandos que estiveram comigo durante toda essa jornada, na qual sem eles nada teria sido possível: Lucas Ghizzi, Guilherme Gomes, Tiago Del Valle, Elissandra Zílio, Larissa Gheller, Júlia Marques, Mauro Dias, Alanne Tenório, Nathália Grigolletto, Rodrigo Chesini, Paulo César Júnior, Althieres Furtado e Milena Bugoni;

Aos meus pais, Ivana Márcia e Ivan Moacir, e ao meu irmão querido Túlio Barrera, que mesmo distantes me deram forças para seguir em frente e acreditar nos meus sonhos;

À minha querida e doce Jane Oliveira por não medir esforços para me ajudar, apoiar, aconselhar e amparar...hoje e sempre;

À minha avó Maria Isabel Barrera (*in memorian*), que sempre me incentivou a ser alguém melhor e acreditar em mim mesma, assim como minha avó Maria José Silva e meu avô Renato de Paula e Silva;

Às minhas queridas amigas do coração, que me presentearam com sua amizade ao longo de toda vida: Gabrielle Rodrigues, Thaís Martineli e Bruna Albuquerque;

Aos meus padrinhos Dulce Mara e Luís César Moreno, por sempre estarem de braços abertos para me receber, me acolherem e acompanharem de perto minha luta e meu crescimento, juntamente com seus filhos, meus queridos primos Renata, Heitor e Hugo Moreno e Éder Marques;

À todos que direta ou indiretamente participaram da realização e sucesso deste trabalho.

“Você nunca poderá amar uma pessoa tanto quanto pode sentir a falta dela.”

John Green

RESUMO

SILVA, T.B.P. Silagem de soja e de aveia preta na alimentação de vacas leiteiras. 2020. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020.

Objetivou-se avaliar a substituição parcial de silagem de milho por silagem de soja e de aveia preta e seus efeitos sobre o consumo de matéria seca (MS) e nutrientes e digestibilidade, parâmetros ruminais, comportamento ingestivo e desempenho produtivo de vacas leiteiras. Vinte e quatro vacas da raça Holandesa, sendo 06 vacas portadoras de cânula ruminal, com produção de leite (PL) média de 32 ± 5 kg/dia, 150 ± 84 dias em lactação e 662 ± 72 kg de peso corporal, foram distribuídas em 8 quadrados latinos 3×3 balanceados, nas seguintes dietas: 1) Silagem de milho (SM), utilização da silagem de milho como volumoso exclusivo; 2) Silagem de soja (SS), substituição de 16% da silagem de milho por silagem de planta inteira de soja; e 3) Silagem de aveia (SA), substituição de 16% da silagem de milho por silagem de aveia preta. As dietas foram formuladas de acordo com o NRC (2001) na proporção volumoso:concentrado de 48:52. A inclusão de SA e de SS reduziu o consumo de matéria seca (CMS), matéria orgânica (MO) e proteína bruta (PB) em comparação com SM ($P \leq 0,05$). A dieta com SS reduziu o consumo de fibra em detergente neutro (FDN; $P \leq 0,004$), enquanto a dieta com SA reduziu o consumo de extrato etéreo (EE; $P < 0,001$). A digestibilidade aparente total da MS e dos nutrientes não foi influenciada pela inclusão de SS ou de SA na dieta dos animais ($P > 0,05$). SM apresentou maior degradabilidade efetiva da MS nas taxas de passagem (kp) de 2, 5 e 7%/h em relação à SA e SS, sendo que SS apresentou maior degradabilidade efetiva em relação à dieta SA ($P < 0,001$). As dietas SM e SA apresentaram maior degradabilidade efetiva do FDN nas kp 2, 5 e 7%/h em relação à dieta SS ($P < 0,001$). A dieta contendo SA reduziu a PL e a proteína do leite em comparação com a inclusão de SS e SM ($P < 0,001$). As concentrações de $\text{NH}_3\text{-N}$ ruminal foram maiores para a dieta SS ($P = 0,032$). A dieta SA reduziu as concentrações de nitrogênio ureico sérico em relação a dieta SM, enquanto a dieta SS apresentou valores intermediários ($P = 0,014$). A dieta com SA aumentou o consumo de partículas menores que 4 mm em comparação com SS, enquanto SM apresentou valor intermediário ($P = 0,049$). As dietas com SS e SA aumentaram a atividade de ruminação e de mastigação dos animais ($P \leq 0,029$), mas somente SS aumentou a atividade de ruminação e mastigação por kg de FDN ingerido em comparação

à dieta controle, enquanto SA apresentou valores intermediários ($P \leq 0,004$). A substituição parcial de SM por SA influenciou negativamente o CMS e a PL dos animais. Porém, apesar de ocorrer diminuição do consumo, ao substituir SM por SS, a PL foi similar, de forma que SS pode ser fonte alternativa de forragem.

Palavras-chave: Desempenho animal. Produção de leite. Silagem.

ABSTRACT

SILVA, T.B.P. Whole soybean plant and black oat silage in dairy cows feeding. 2020. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020.

The objective of the present study was to evaluate the partial replacement of corn silage supplied to dairy cows by soybean silage or black oat silage and its effects on dry matter (DM) and nutrients intake and digestibility, ruminal parameters, feeding behavior, and productive performance of dairy cows. Twenty-four lactating Holstein cows were used, 6 ruminal cannula carriers, with average milk yield (MY) of 32 ± 5 kg/day, 150 ± 84 days in lactation and 662 ± 72 kg of body weight, were distributed in a 3 x 3 Latin square experimental design, receiving the following treatments: 1) Corn silage (CS), using corn silage as exclusive forage; 2) Soybean silage (SS), using 16% substitution of corn silage for whole soybean silage; and 3) Oat silage (OS), with 16% substitution of corn silage by black oat silage. The diets were formulated according NRC (2001), in the roughage:concentrate ratio of 48:52. Inclusion of OS and SS decreased dry matter intake, organic matter and crude protein compared to CS ($P \leq 0,009$). Diet with SS decreased neutral detergent fiber (NDF) intake ($P \leq 0,004$), while diet OS decreased ether extract intake ($P < 0,001$). Apparent total-tract digestibility of dry matter and nutrients was not influenced by the inclusion SS or OS ($P > 0,069$). CS showed higher effective degradability of DM in the passage rates of 2, 5 and 7%/h in relation to the diet with SA ($P < 0,001$). Diets CS and OS showed higher effective degradability of NDF in the passage rates of 2, 5 and 7%/h compared to the diet with SS ($P < 0,001$). OS decreased milk yield and milk protein yield compared to SS and CS ($P < 0,001$). Concentrations of rumen $\text{NH}_3\text{-H}$ were higher to diet with SS ($P = 0,032$). OS decreased serum urea nitrogen compared to CS, while diet SS showed intermediate values ($P = 0,014$). OS increased selection of particles less than 4 mm, while SS presented an intermediate value ($P = 0,049$). Diets with SS and OS increased ruminating and chewing activity ($P \leq 0,029$), but only SS increased ruminating and chewing activity (min/kg NDF intake) compared with control diet, while OS presented intermediate value ($P \leq 0,004$). Replacing CS for OS negatively influenced dry matter intake and milk yield of dairy cows. In contrast, replacing CS with SS negatively influenced dry matter intake, however milk yield was the same as CS, can be an alternative source of forage.

Key-words: Productive performance. Milk yield. Silage.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ingredientes e composição bromatológica das dietas experimentais (g/kg MS).	38
Tabela 2 - Composição bromatológica das silagens experimentais (g/kg MS).....	37
Tabela 3 - Ingredientes e composição química dos concentrados experimentais (g/kg MS).	36
Tabela 4 - Composição química dos ingredientes dos concentrados experimentais (g/kg MS).	35
Tabela 5 - Consumo de matéria seca e nutrientes e digestibilidade aparente total de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.....	49
Tabela 6 - Degradabilidade ruminal da MS e FDN de diferentes fontes de forragem ...	50
Tabela 7 - Produção e composição do leite, eficiência produtiva, ECC e peso corporal de vacas alimentadas com diferentes fontes de forragem.....	51
Tabela 8 - Índice de seleção de partículas de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.	53
Tabela 9 - PH ruminal, concentração de N-NH ₃ e perfil de ácidos graxos voláteis (AGV) de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.....	55
Tabela 10 - Nitrogênio ureico e glicose sérica e síntese de proteína microbiana de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.....	56
Tabela 11 - Balanço de nitrogênio de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.....	57
Tabela 12 - Comportamento ingestivo de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.	57

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Efeito da substituição parcial da silagem de milho por silagem de soja e silagem de aveia preta sobre o pH ruminal. 55
- Figura 2 - Efeito da substituição parcial da silagem de milho por silagem de soja e silagem de aveia preta sobre o nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) no rúmen. 55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	HIPÓTESE E OBJETIVO	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	COMPOSIÇÃO DA FIBRA.....	19
3.2	ESTRUTURA DA FIBRA	20
3.3	FIBRA COMO FONTE DE CARBOIDRATOS	22
3.4	FORRAGENS CONSERVADAS COMO FONTE DE FIBRA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES	23
3.5	SILAGEM DE MILHO	25
3.6	SILAGEM DE AVEIA	27
3.7	SILAGEM DE PLANTA INTEIRA DE SOJA.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1	LOCAL, INSTALAÇÕES E ANIMAIS	34
4.2	ANÁLISE DE ALIMENTOS	39
4.3	DIGESTIBILIDADE APARENTE TOTAL DE NUTRIENTES	39
4.5	ÍNDICE DE SELEÇÃO DE PARTÍCULAS.....	42
4.6	COMPORTAMENTO INGESTIVO.....	43
4.7	FERMENTAÇÃO RUMINAL.....	43
4.8	SÍNTESE DE PROTEÍNA MICROBIANA E BALANÇO DE NITROGÊNIO	45
4.9	PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE	46
4.1.1	Avaliação do Escore de Condição Corporal e Peso Corpóreo.....	47
4.1.2	Parâmetros Sanguíneos	47
4.1.3	Análises Estatísticas.....	47
5	RESULTADOS.....	49
6	DISCUSSÃO	58
7	CONCLUSÃO	63
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

A utilização de diferentes ingredientes para a formulação de dietas de bovinos leiteiros através da associação de alimentos volumosos e concentrados é primordial para que se possa atender as exigências nutricionais dos animais. A escolha dos alimentos volumosos é de suma importância, dado seu papel no metabolismo dos ruminantes, sendo responsáveis por estimular a mastigação, produção de saliva, ruminação e por promover condições ideais para os microrganismos ruminais. Além disso, os volumosos fornecem carboidratos aos animais, que serão utilizados pelos microrganismos do rúmen, produzindo ácidos graxos de cadeia curta, utilizados pelo animal como fonte de energia.

Em sistemas de produção de leite, normalmente, a utilização de alimentos conservados na forma de silagem, feno ou pré-secado, se torna uma alternativa para intensificar a produção, principalmente em propriedades com áreas limitadas para plantio. A prática de armazenar alimento por vários meses do ano proporciona estabilidade na oferta de nutrientes, além de garantir consumo mais homogêneo dos mesmos, quando comparado a sistemas que disponibilizam a forragem aos animais na forma de pastagens. As forrageiras cultivadas em épocas com temperatura elevada, como o verão, são comumente utilizadas para o processo de ensilagem, principalmente o milho, devido ao seu valor nutritivo após a ensilagem associada a alta produtividade de massa vegetal.

Porém, o cultivo de milho anualmente, sem rotação de culturas, pode provocar impactos ao solo, como redução dos teores de matéria orgânica e de nutrientes disponíveis para culturas seguintes, além de aumentar o potencial de erosão. Além disso, as dietas a base de silagem de milho geralmente necessitam de suplementação com concentrados proteicos, justificado pelo material ensilado desta forrageira apresentar reduzido teor de proteína bruta.

Forrageiras alternativas ao milho podem trazer benefícios à área da propriedade destinada ao plantio, como por exemplo a soja, que possui capacidade de fixar nitrogênio ao solo, e a aveia preta, recomendada para cobertura e para absorção de nutrientes em solos degradados. Além do enriquecimento ao solo, tanto a aveia preta como a planta inteira de soja podem ser utilizadas como fontes de fibra ofertadas para vacas leiteiras.

Buscar por forragens que se adaptem à períodos críticos, que preservem o solo e ainda tenham potencial nutritivo para a produção de leite é essencial. Há poucos estudos que avaliem o desempenho de vacas leiteiras alimentadas com forragens alternativas conservadas como

fontes de fibra, tornando difícil passar aos produtores os benefícios do cultivo de forrageiras que não exclusivamente o milho.

A carência de dados específicos sobre composição do leite e fermentação ruminal, além de avaliação detalhada sobre índice de seleção e o comportamento ingestivo de vacas confinadas recebendo silagem de aveia preta ou de planta inteira de soja como fonte alternativa de forragem, pode ser um dos motivos para que estas forrageiras ainda não sejam muito utilizadas na maioria das propriedades. Assim como seus efeitos após os processos fisiológicos realizados por esses animais.

2 HIPÓTESE E OBJETIVOS

A hipótese deste experimento afirma que a substituição parcial da silagem de milho pela silagem de planta inteira de soja ou pela silagem de aveia preta na dieta de vacas leiteiras em lactação não altera o consumo de nutrientes e o desempenho produtivo dos animais.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a substituição parcial da silagem de milho por silagem de planta inteira de soja ou silagem de aveia preta e seus efeitos sobre consumo e digestibilidade aparente total da matéria seca e nutrientes, fermentação e síntese de proteína microbiana ruminal, produção e composição do leite, concentrações de metabólitos sanguíneos, balanço de nitrogênio, comportamento ingestivo e índice de seleção de partículas em dietas de vacas em lactação. Além disso, também determinar a degradabilidade ruminal potencial e efetiva das silagens em estudo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 COMPOSIÇÃO DA FIBRA

As dietas de vacas leiteiras são formuladas a partir da combinação de alimentos volumosos e concentrados com o objetivo de fornecer nutrientes em quantidades suficientes para atender às exigências nutricionais dos animais (NRC, 2001). Os volumosos, ofertados nas formas de pastagem, silagem, feno ou pré-secado, desempenham o papel de fornecimento de fibras aos animais, essenciais para estimular a mastigação, produção de saliva e a ruminação. As fibras representam a fração de carboidratos de digestão lenta ou indigestível, sendo fonte de energia aos microrganismos presentes no rúmen (MERTENS, 2001).

Fibra é um termo meramente nutricional e sua definição está vinculada ao método analítico empregado em sua determinação. Quimicamente, a fibra é formada pelos componentes da parede celular dos vegetais, sendo composta por celulose, hemicelulose, lignina, pectina, proteína, compostos fenólicos e outros componentes minoritários (MERTENS, 1996), que exercem a função de fornecer suporte físico necessário para o crescimento da planta (BERCHIELLI et al., 2011).

A celulose é o principal carboidrato presente na fibra e o maior constituinte da parede celular da maioria dos vegetais, sendo o polissacarídeo mais abundante na natureza. É formada por longas cadeias lineares com alto grau de polimerização e elevado peso molecular. Essas cadeias se unem através de pontes de hidrogênio formando microfibrilas de celulose, sendo a força de ligação destas microfibrilas ou a presença de outros polímeros associados à matriz celulósica de especial importância para a avaliação das forragens, uma vez que essa interação influencia diretamente na suscetibilidade da molécula de celulose à hidrólise enzimática microbiana em nível ruminal e, conseqüentemente, na digestibilidade da fibra (VAN SOEST, 1994).

A hemicelulose é um polissacarídeo que, normalmente, está ligado à celulose, porém com grau de polimerização entre si muito inferior (VAN SOEST, 1994). De acordo com a maturidade da planta, a hemicelulose se encontra mais associada à lignina por ligações covalentes do que outros polissacarídeos, o que a torna parcialmente disponível para a digestão (BERCHIELLI et al., 2011; MACEDO JUNIOR et al., 2007).

A lignina é um componente não-carboidrato da parede celular dos vegetais, sendo formada por polímeros derivados de unidades fenilpropanóides altamente condensados e muito

resistentes à degradação. Normalmente é considerada indigestível e também inibidora da digestibilidade das plantas forrageiras, tendo sua ação acentuada à medida que o vegetal amadurece (FUKUSHIMA et al., 2000). Sabe-se que a lignina possui importante papel na resistência mecânica dos vegetais e proteção dos tecidos contra o ataque de microrganismos. A lignina realiza ligações covalentes com os polissacarídeos da parede celular, diminuindo a taxa de degradação ruminal por formar barreira mecânica que impossibilita a ação da microbiota do animal (CAMPOS et al., 2002). Sua composição, estrutura e quantidade podem variar de acordo com o tecido, os órgãos, a origem botânica, a idade da planta e fatores ambientais (MACEDO JUNIOR et al., 2007).

Já a pectina está localizada na lamela média da parede celular e funciona como substância de adesão entre as células, sendo, em parte, responsável pela rigidez dos tecidos vegetais. Apesar de estar presente na parede celular das plantas, é solúvel em água e em detergente neutro (BERCHIELLI et al., 2011).

Há três grandes grupos de proteínas que fazem parte da parede celular: as que possuem função puramente estrutural; as proteínas ricas em glicina, que estão associadas à lignificação das plantas; e as proteínas ricas em prolina, responsáveis por formar os nódulos radiculares nas leguminosas. Parte dessas proteínas permanecem como constituintes da fibra, ou seja, são indisponíveis à digestão ou à degradação bacteriana, e não são absorvidas pelo trato gastrointestinal do animal. Em técnicas de determinação da fibra de alimentos, é necessário fazer a correção do valor destas proteínas presentes na fibra através da determinação do nitrogênio presente na parede celular, denominado nitrogênio indigestível em detergente ácido (NIDA) (BERCHIELLI et al., 2011).

A estrutura e disposição da parede celular do vegetal determina a taxa de degradação e o tipo de microrganismo que se desenvolverá no rúmen. Os microrganismos que degradam as fibras são as bactérias celulolíticas, protozoários e fungos (CARVALHO e PIRES, 2008). Segundo o NRC (2001), a concentração mínima de FDN (fibra solúvel em detergente neutro) na matéria seca (MS) da dieta de ruminantes deve ser de 25%; desde que 75% do FDN total seja oriundo da forragem, ou seja, em torno de 19% partindo da fração volumosa, sendo a oferta de alimentos na forma de ração completa (TMR).

3.2 ESTRUTURA DA FIBRA

As forrageiras ofertadas como fonte de volumoso para os ruminantes compreendem dois grandes grupos: gramíneas e leguminosas. Apesar de pertencerem ao mesmo grupo de

angiospermas, possuem modificações que implicam em mudanças em suas características morfológicas. Metabolicamente, as forrageiras podem diferir em suas vias de redução do gás carbônico. Na maioria delas, a fixação de CO_2 segue o ciclo onde o primeiro composto estável é formado por três átomos de carbono, denominado como ciclo da fosfato pentose ou ciclo de Calvin-Benson. Conhecidas como plantas C3, são adaptadas a ambientes mais frios e úmidos, são menos resistentes à altas temperaturas e consomem maiores quantidades de água. Entretanto, existem plantas que fixam CO_2 através de ciclo onde o primeiro composto estável formado tem quatro átomos de carbono, conhecido como ciclo do ácido dicarboxílico C4 (VALENTE et al., 2011). As plantas C4 em comparação com as plantas C3 são mais resistentes à luz e à altas temperaturas e possuem maior taxa de crescimento de massa vegetal, utilizando menores quantidades de água para este fim. Ainda há outra rota fotossintética onde as plantas utilizam o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) que, ao contrário das outras plantas, abrem seus estômatos à noite e os fecham durante o dia. Entretanto, esse mecanismo é considerado como adaptação de plantas de regiões áridas, no sentido de minimizar a perda de água (BOWSHER et al., 2008).

Deste modo, compreendem o grupo de plantas C3 a maior parte das leguminosas, como a soja, feijão, diferentes tipos de trevo e o grupo das gramíneas temperadas, como aveia, trigo e azevém. Já a maior parte das gramíneas tropicais, como o milho, cana de açúcar, sorgo e diversas espécies de capim possuem metabolismo C4 (VALENTE et al., 2011).

Além das forrageiras de clima tropical possuírem alta proporção de estruturas com o intuito de prevenir a predação por insetos, em noites quentes, as plantas deste grupo respiram e crescem, aumentando sua lignificação. Portanto, as forrageiras de metabolismo C4 tendem a ter qualidade e valor nutritivo inferior às C3 e, conseqüentemente, menor digestibilidade (VAN SOEST, 1994). De acordo com Jung (2011), embora a lignina seja o principal fator limitante da digestibilidade das plantas, outros componentes estruturais também podem limitar seu valor nutritivo.

Apesar das espécies diferirem em suas rotas metabólicas, também é necessário que se leve em conta os dois tipos diferentes de forrageiras pertencentes ao grupo das plantas C3, as leguminosas e as gramíneas de clima temperado (neste estudo, a soja e a aveia preta, respectivamente) (VALENTE et al., 2011). Segundo Queiroz et al. (2000), plantas do mesmo grupo metabólico podem diferir anatomicamente entre as espécies, resultando em forragens com diferentes valores nutritivos.

Em relação ao tipo de estrutura da fibra, as gramíneas, em geral, apresentam estrutura denominada “arranjo tipo Kranz”, caracterizada por feixes vasculares bem desenvolvidos,

rodeados por células denominadas como bainhas dos feixes vasculares. Em volta das bainhas estão as células do mesófilo, região onde ocorrem a maior parte dos processos fisiológicos (BRITO e DESCHAMPS, 2001). De acordo com Akin (1982), o potencial de digestibilidade da forrageira pode ser relacionado com as diferentes disponibilidades de tecidos que compõe a planta.

Somado a isto, independentemente do grupo em que a planta se encontra, deve-se considerar a diferença de maturidade entre cada uma delas. Com o avanço da idade da planta, ocorre aumento na espessura da parede de células do esclerênquima de lâminas foliares (QUEIROZ et al., 2000) e, quanto maiores as quantidades de tecidos vasculares lignificados e esclerenquimáticos na planta, menores serão as taxas de digestibilidade (BRITO e DESCHAMPS, 2001).

Wilson et al. (1983) identificaram relação entre a anatomia de gramíneas e sua digestibilidade, onde a presença do complexo Kranz nas forrageiras C4 fez com que apresentassem menor digestibilidade, seguidas das gramíneas com comportamento C3/C4 e por fim, com maior digestibilidade, as gramíneas tipo C3. Ainda, ao comparar proporções da presença do mesófilo em gramíneas tropicais C4 e gramíneas temperadas C3, Wilson (1997) relata que a maior presença de mesófilo em gramíneas temperadas, por ser um tecido de rápida degradação, pode resultar em melhor desempenho dos animais em comparação com as gramíneas tropicais.

3.3 FIBRA COMO FONTE DE CARBOIDRATOS

Além de estimular a salivação, mastigação e ruminação dos animais, as fibras representam importante fonte de carboidratos. Os carboidratos representam em torno de 70% da dieta dos ruminantes e são fundamentais para o atendimento das exigências de energia, síntese de proteína microbiana, precursores da síntese de componentes do leite e podem estar relacionados diretamente com a saúde do animal, na qual depende de concentrações mínimas de fibra na dieta para assegurar a atividade de mastigação e motilidade ruminal (BERCHIELLI et al., 2011).

A fermentação dos carboidratos em nível ruminal dá origem aos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), principal fonte de energia para os ruminantes (ISHLER et al., 2000). O uso de AGCC pelos microrganismos ruminais é fator crítico para maximização da síntese de proteína microbiana e manutenção das funções ruminais (BERCHIELLI et al., 2011). Os carboidratos estruturais e solúveis se constituem como os principais substratos para a fermentação ruminal.

Estes compostos, principalmente a celulose e a hemicelulose, sofrem ação de bactérias celulolíticas produtoras de celulasas extracelulares e outras enzimas que os degradam à frações de oligossacarídeos até que cheguem à forma de glicose livre e precursores, rapidamente convertidos em piruvato através da via glicolítica e passam a ser disponíveis ao metabolismo (BERCHIELLI et al., 2011).

Os três principais AGCC produzidos no processo de fermentação são: acetato, propionato e butirato. Dentre eles, o acetato se encontra em maior concentração no rúmen e no sangue dos ruminantes em relação aos não-ruminantes. Em ruminantes, apenas pequena quantidade do acetato absorvido é utilizada pelo fígado. A maior concentração deste AGCC encontra-se incorporado ao tecido adiposo ou glândula mamária de animais lactantes (BERGMAN et al., 1990).

A rota do acetato para síntese de gordura se inicia com a oxidação do acetato em acetil CoA com o uso de 1 ATP e perda de uma molécula de água. Em seguida, o acetil CoA sofre ação da enzima acetil-CoA sintetase, armazenando a molécula como triglicérides no tecido adiposo ou na glândula mamária. A enzima lipase hormônio estimulante quebra a cadeia de triglicérides em glicerol e, em seguida, são liberados na forma de ácidos graxos livres, conhecidos como AGNE (ácidos graxos não-esterificados). Esses ácidos graxos livres serão liberados como corpos cetônicos ou irão para a síntese de VLDL endógeno, sendo substrato para produção de gordura no leite (KOZLOSKI, 2002).

O butirato é absorvido pelos epitélios ruminal e intestinais e, ao chegar no fígado, sofre ação da enzima butiril-CoA sintetase e também é convertido em acetil CoA ou corpos cetônicos. Nos tecidos periféricos, o butirato é rapidamente oxidado ou usado na lipogênese, que é sua principal função quando absorvido pela glândula mamária do animal (BERGMAN et al., 1990).

Já o propionato é o principal precursor de glicose em ruminantes. Apesar de também ser metabolizado pelo epitélio ruminal e intestinal, possui maior metabolização realizada pelo fígado. A atividade da propionil-CoA sintetase no fígado é alta, podendo até exceder a acetil-CoA sintetase. A rota usual para o metabolismo do propionato é entrar no ciclo de Krebs na forma de succinil-CoA e ser utilizado para formar glicose através da via gliconeogênica (KOZLOSKI, 2002).

3.4 FORRAGENS CONSERVADAS COMO FONTE DE FIBRA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES

Dada a contribuição nutricional da fibra para os ruminantes, a busca por volumosos de boa qualidade tem aumentado ao longo dos anos, visando atingir o máximo desempenho produtivo dos animais. Dentre as opções de fornecimento de fibra aos animais, o uso de forragens conservadas é prática imprescindível quando se visa promover a intensificação dos sistemas de produção de vacas leiteiras. Garantir estabilidade de oferta de nutrientes durante todo o ano proporciona o consumo homogêneo de nutrientes para a manutenção dos níveis de produtividade (REIS et al., 2011).

Dentre as formas de conservação da forragem, a ensilagem se apresenta de maneira mais comum entre os pecuaristas em função de sua praticidade, eficiência e manutenção da qualidade da forragem a ser conservada (REIS et al., 2011). Este processo consiste no corte e picagem da planta forrageira e posterior armazenamento da massa verde picada em condições de anaerobiose. Tal condição é ideal para que ocorra a fermentação por bactérias presentes na própria forragem, produzindo ácidos que promovem o abaixamento do pH do montante total. O pH baixo é responsável pela preservação da massa de forragem, uma vez que inibe o crescimento de microrganismos anaeróbios, como bactérias do gênero *Clostridium*, e de indivíduos aeróbios, tais como fungos e leveduras. Em suma, o principal objetivo deste processo é a produção de ácidos orgânicos responsáveis por reduzir perdas de nutrientes e manter a qualidade do material ensilado mais próximo possível do material original, garantindo o valor nutritivo da forragem e sua conservação (MEINERZ et al., 2011).

No Brasil, há predomínio das culturas de verão como forragem para serem ensiladas e utilizadas como fonte de volumoso, principalmente em períodos onde a oferta de forragens é reduzida, como no inverno (MEINERZ et al., 2011). Dentre as culturas de verão brasileiras, destacam-se o milho e o sorgo (PINTO et al., 2007). Um dos maiores desafios enfrentados é que essas forrageiras não são adaptadas aos períodos de inverno e sua “janela” de ensilagem acaba concentrando em único período do ano (MEINERZ et al., 2011).

A fim de evitar que o solo disponível para plantio fique inutilizado no período de inverno, o cultivo de espécies conhecidas como cereais de inverno, como azevém, trigo e aveia, surgem como alternativa complementar a produção da ensilagem das culturas de verão. Além de rusticidade, o material ensilado dos cereais de inverno também garante produtividade, uma vez que conferem alta quantidade de massa verde ensilada e valores nutritivos adequados para bom desempenho produtivo animal (MEINERZ et al., 2011).

Desta forma, os cereais de inverno ganham destaque, pois possibilitam o cultivo em estações do ano na qual o solo não se encontra em ocupação pela safra de culturas tradicionais típicas de verão (MEINERZ et al., 2011), evitando a ociosidade das terras e ofertando forragem

de alto valor nutritivo em épocas de escassez (FONTANELI et al., 2011). Apesar de englobar diversas espécies como a cevada, o trigo, o triticale e a aveia-branca, os cereais de inverno comumente utilizados para a ensilagem são a aveia-preta e o azevém anual (FERRAZZA et al., 2013).

Outro problema enfrentado é que as culturas de verão cortadas para ensilagem deixam poucos resíduos no solo após a colheita, podendo aumentar o potencial de erosão e reduzir os teores de matéria orgânica do solo pelo seu cultivo contínuo. Para evitar tais problemas, a rotação de culturas se faz necessária (UENO et al., 2011). A soja é uma excelente indicação para ser cultivada de maneira alternada com outras culturas de verão, pois além de aumentar a fixação de nitrogênio no solo (HUNGRIA et al., 2001), pode reduzir os custos da suplementação animal com concentrados, já que seu valor proteico é mais elevado que do milho, por exemplo, incrementando valor nutricional à biomassa resultante (OBEID 1992; EVANGELISTA et al., 2003).

Com a falta de estudos que comprovem o desempenho de vacas leiteiras alimentadas com silagens não tradicionais como fontes de fibra, torna-se cada vez mais difícil demonstrar aos produtores os benefícios do cultivo de forrageiras que se adaptem a períodos críticos e que ajudem a preservar o solo. Além de silagens de cereais de inverno, como a de aveia-preta, garantirem fonte nutritiva aos animais em períodos escassos, a realização de rotação de cultura com forragens que fixem nutrientes no solo, como por exemplo com o plantio de soja, pode amenizar a degradação do solo e ainda reduzir custos com suplementações com rações aos animais, garantindo da mesma forma nutrientes suficientes para um bom desempenho produtivo.

3.5 SILAGEM DE MILHO

O milho (*Zea mays* spp.) é classificado como cultura de verão devido ao seu período de crescimento e desenvolvimento, limitado pela água, temperatura e luminosidade. A cultura do milho necessita que os índices climáticos, especialmente a temperatura, a precipitação pluviométrica e o fotoperíodo atinjam níveis considerados ótimos para que o seu potencial genético de produção se expresse ao máximo. A temperatura ideal para o crescimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30°C. Como citado anteriormente, é uma cultura muito exigente em água, podendo chegar ao consumo de até 10mm de água por dia, sendo recomendado seu cultivo em regiões onde as precipitações vão de 250 a 500mm de chuva durante o período da cultura (EMBRAPA, 2010).

De acordo com a EMBRAPA (2010), o aumento do fotoperíodo pode fazer com que a duração da etapa vegetativa aumente e proporcione incremento no número de folhas emergidas durante a diferenciação do pendão e do número total de folhas produzidas pela planta, o que pode vir a aumentar a biomassa resultante durante a colheita. Ainda, a radiação solar é um dos parâmetros de extrema importância, uma vez que a planta de milho é uma planta C4, ou seja, altamente eficiente na utilização da luz. Uma variação de 30% na intensidade luminosa pode atrasar a maturação dos grãos e ocasionar queda na produção de massa vegetal (PEREIRA FILHO et al., 2002).

O milho é a forragem de eleição para a produção de silagem no Brasil, justificado por essa espécie de gramínea reunir diversas características positivas, como alta ensilabilidade e produtividade, excelentes indicadores de fermentação (ideal pH e N-NH₃) (PEREIRA et al., 2007) e elevado valor nutritivo, além de adaptar-se às diferentes regiões do país (BERNARDES et al., 2015). Sua inclusão na dieta de vacas leiteiras pode aumentar a ingestão de alimentos, a produção e o teor de proteína do leite (KHAN et al., 2015).

Além disso, apresenta elevada produção de massa verde (MV) por área, alcançando entre 44,9 tMV/ha (FERRARI JUNIOR et al., 2005) a 50,4 tMV/ha (PAZIANI et al., 2009) e produtividade de matéria seca ensilável, de 17,5 tMS/ha (FERRARI JUNIOR et al., 2005) a 22,5 tMS/ha (SOUZA et al., 2019). Por ocasião da ensilagem, seus teores de MS passam a ser relativamente altos, aproximadamente de 30% a 35%, apresentando também baixa capacidade tampão e níveis adequados de carboidratos solúveis para a fermentação (PEREIRA et al., 2007; ROSA et al., 2004).

Seu valor nutritivo pode variar e, apesar do teor de proteína bruta (PB) ser considerado baixo, entre 7,25% a 8,6% da MS, os valores encontrados para FDN variam entre 55% a 41%, 29,5% para fibra em detergente ácido (FDA), 4,8% a 6,5% de lignina e 29,5% para carboidratos não fibrosos (CNF) (VON PINHO et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2011; BARLOW et al., 2012; VALADARES FILHO et al., 2018).

Apesar de bem adaptado as condições ambientais do país, a época de semeadura do milho coincide com períodos de temperaturas mais elevadas, alta disponibilidade de radiação solar e dias mais longos do ano (BERNARDES et al., 2014). Os meses mais indicados para o plantio são entre setembro e dezembro, e a idade para corte aproximada é de 121 dias após o plantio, podendo variar de acordo com a cultivar (FERRARI JUNIOR et al., 2005; VON PINHO et al., 2007).

Além disso, o cultivo de milho tem grande impacto no solo, uma vez que seu repetido cultivo pode reduzir os teores de matéria orgânica e nutrientes disponíveis ao solo. A rotação de cultura se faz uma excelente opção para evitar estes tipos de degradação (UENO et al., 2011).

Apesar da silagem de milho proporcionar uma oferta contínua no fornecimento de volumoso, as dietas a base dessa forrageira necessitam de suplementação com concentrados proteicos, justificado pelo material ensilado desta forrageira apresentar reduzido teor de proteína bruta (GOBETTI et al., 2011).

3.6 SILAGEM DE AVEIA

A aveia-preta (*Avena strigosa* spp) é gramínea de duplo propósito, ou seja, destinada ao uso dos grãos ou para produção de forragem (FONTANELI et al, 2009). Ao ser comparada com outros cultivares de aveia, a aveia-preta possui maior capacidade de rendimento de MV e MS, resistência a doenças e ao pisoteio. A produção de grãos, no entanto, é reduzida e não apresenta qualidade industrial devido à sua coloração escura, menor tamanho e baixo rendimento (SÁ, 1995). Em relação ao valor nutritivo da forragem, a quantidade de PB geralmente é mais alta do que a silagem de milho, com valores entre 10 a 12% (FONTANELI et al, 2009; VALADARES FILHO et al., 2018).

Entre as lavouras de inverno, a aveia é particularmente importante na região sul do Brasil. É plantada em grandes áreas dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, devido à sua adaptação ao clima e aos solos locais, e à sua produtividade e flexibilidade quando plantada para fins de grãos, forragens ou cobertura de solo (DAVID et al., 2010). A época de seu plantio se estende de março a junho, e sua produtividade pode chegar em média a 11000 kg MS/ha (FONTANELI et al., 2011). Dependendo das condições locais de clima e fertilidade do solo, é possível a realização de dois ou três cortes (SÁ, 1995).

De acordo com Valadares Filho et al. (2018), os valores nutritivos médios demonstrados para a silagem de aveia-preta são 69% para FDN, 48,5% para FDA e 6,65% para lignina. Já para MS os valores encontrados ficam em torno de 23,36%. Fontaneli et al. (2009) avaliaram o rendimento e o valor nutritivo de seis tipos de cereais de inverno, sendo aveia branca, aveia preta, cevada, centeio, triticale e trigo e encontraram valores de 10,9% de PB e de 65 a 67% de FDN para a silagem de aveia-preta de dois cultivares diferentes (IPFA 99009 e Agro Zebu). Em estudo comparando cultivares de aveia branca com aveia preta cultivar Embrapa 139-Neblina, Fontaneli et al. (2011) encontram valores de FDN superiores para aveia

preta em relação aos cultivares de aveia branca (69 a 64% e 55 a 56%, respectivamente), porém valores semelhantes à todos cultivares para PB, de 11 a 8,7% e para FDA, entre 36 a 42%. A digestibilidade da matéria seca (DMS) estimada da aveia preta foi inferior aos demais cultivares, cerca de 56%, enquanto os cultivares de aveia branca demonstraram valores entre 62 a 67% de DMS.

A utilização da aveia-preta surge como opção para a produção de silagem de qualidade, conferindo produtividade e valor nutritivo, e se faz excelente opção ao produtor por substituir, ao menos parcialmente, a participação de silagens tradicionais no intuito de tornar a produção mais econômica (MEINERZ et al., 2011).

Porém, o valor nutritivo da aveia-preta depende do estágio de crescimento e a variação entre espécies dos cultivares, cuja variabilidade é tão grande quanto a variação entre genótipos dentro da mesma espécie (FONTANELI et al., 2009). Ferolla et al. (2008), ao avaliarem a composição bromatológica da aveia-preta sob corte e pastejo em três épocas de plantio encontraram valores distintos de PB, que variou entre 16,9% a 22,5%, e de FDN, com média de 58%. Devido ao estágio fisiológico ser fator determinante para os níveis de PB e FDN, indica-se a semeadura da aveia-preta nos meses entre abril e junho.

Meinerz et al. (2011), indicam que a colheita deve ser realizada no estágio de alongamento da planta (fase pré-reprodutiva, sem presença de panículas) e o material deve ser submetido ao pré-murchamento antes da ensilagem, devido ao elevado teor de umidade nesta fase da planta, a fim de garantir conservação da forragem. Sá (1995) recomenda atingir até 50% do teor de MS da forrageira pré-secada a ser ensilada, uma vez que o aumento no teor de MS restringe a fermentação como um todo.

Celis-Alvarez et al. (2016) avaliaram a inclusão de silagem de aveia e azevém e silagem de milho na dieta de vacas leiteiras em pastejo por 8h/dia, na inclusão de 33, 67 e 100% entre as duas silagens. Em relação à silagem, os autores relatam que os teores de PB aumentaram de acordo com a inclusão de silagem de aveia e azevém em comparação à silagem de milho, os teores de FDN foram superiores para silagem de milho (66 e 58%, para milho e aveia e azevém, respectivamente) e a digestibilidade da MS foi semelhante para ambas as silagens. Por se tratar de sistemas de produção de leite de pequena escala, o desempenho produtivo dos animais foi inferior à outros relatos semelhantes (média de produção de 15,5 kg / vaca / dia), porém foram superiores à outro estudo em pequena escala onde os animais em pastejo receberam apenas silagem de milho como fonte de silagem (média de 10,4 kg/ vaca/ dia; RAMÍREZ-MELLA et al., 2010).

Neste contexto, em análise do efeito do pastejo restringido em aveia preta sobre a produção de leite de vacas mestiças, Rodrigues et al. (1995) também encontraram maior ganho de peso para os animais que tiveram acesso ao pastejo de aveia-preta do que para os animais restringidos apenas ao fornecimento de silagem de milho. O teor de gordura do leite e a produção corrigida para 4% de gordura não foram afetados, indicando que a combinação entre esses dois tipos de forragem não influencia negativamente o desempenho dos animais.

Ao avaliarem o fornecimento de dietas com silagem de aveia ou com silagem de milho e feno de capim-braquiária, Salgado et al. (2013) não encontraram diferenças na ingestão de MS. Porém foi observado maior consumo de proteína bruta dos animais que receberam dietas a base de silagem de aveia. Além disso, houve tendência de maiores rendimentos na produção de leite corrigida para gordura dos animais consumindo silagem de aveia em relação à dieta controle à base de silagem de milho (17,3 vs. 16,3 kg / dia).

Há ainda estudos sobre o uso de cereais de inverno e da aveia-preta na alimentação de bovinos de corte (BAGGIO et al., 2008) e de leite (GONZALEZ et al., 2009), e em categorias como o desmame de bezerros leiteiros (CASTELLS et al., 2012). Porém, estudos que avaliem o desempenho produtivo de vacas leiteiras geralmente são realizados em pastejo e animais não confinados (BHANDARI et al. 2008). Tal fato acarreta em carência de dados específicos sobre composição do leite, fermentação ruminal e parâmetros sanguíneos dos animais, além de avaliação detalhada sobre índice de seleção e o comportamento ingestivo de vacas confinadas que recebem silagem de aveia preta como fonte alternativa de forragem.

3.7 SILAGEM DE PLANTA INTEIRA DE SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é leguminosa anual originalmente cultivada nos Estados Unidos e Europa como cultura forrageira para produção de feno. Porém, seu uso como feno caiu em desuso rapidamente devido à dificuldade em secá-la. Com o aumento da tecnologia para ensilagem, que reduziu a necessidade de secagem da cultura, novas variedades de soja foram surgindo ao longo dos anos, desenvolvidas especialmente para a produção de forragem (SHEAFFER et al., 2001).

Desta forma, a obtenção de variedades de soja específicas para forragem, assim como acontece com o milho, pode ser de grande utilidade aos produtores rurais, uma vez que as novas variedades são mais produtivas do que aquelas destinadas à produção de grãos, apresentando porte mais elevado, maior resistência à doenças, como podridão da raiz, maior número de vagens e folhagens, tornando-se, assim, fonte proteica interessante na formulação de dietas para

ruminantes (PEREIRA et al., 2008). A utilização da soja na forma de silagem surge como alternativa complementar e viável à silagem de milho por elevar o teor de proteína da fração volumosa da dieta (EVANGELISTA et al., 2003).

Ao ensilar uma leguminosa não se pode esperar silagens com características de fermentação semelhantes ao milho, tido como silagem padrão. Porém, observa-se que nos parâmetros definidores de qualidade, tais como o pH, ácidos orgânicos e nitrogênio amoniacal em relação ao total e à matéria seca, a silagem de soja pode ser considerada de boa fermentação (GOBETTI et al., 2011).

Além disso, as silagens de leguminosas apresentam estabilidade aeróbia. De acordo com Griffin (2000), ao avaliar silagens de leguminosas em países da União Europeia, nenhuma silagem apresentou aquecimento ou deterioração fúngica quando expostas ao ar por quatro dias, enquanto 90% das silagens ainda se mantiveram estáveis por sete dias. Ainda, o autor destaca que a mistura de leguminosas com gramíneas, na proporção de 50:50, também produz silagens com alta estabilidade aeróbia, enquanto que 90% das silagens exclusivas de gramíneas tendem a deteriorar de maneira mais rápida. Pereira et al. (2008) também verificaram positiva estabilidade em aerobiose de silagem de soja avaliadas por uma semana, com base na ausência de ocorrência de bolores.

Stella et al. (2016) avaliaram a qualidade química e fermentativa de silagens de milho e sorgo enriquecidas com planta inteira de soja nas proporções de 75, 50 e 25% de inclusão. Com o acréscimo da planta inteira de soja houve crescimento linear nos teores de proteína da dieta nas silagens de milho e sorgo e aumento no teor de FDA na silagem de milho, porém com decréscimo nos teores de FDN da silagem de sorgo e no teor energético da silagem de milho. Não foram observadas diferenças nos níveis de inclusão da planta inteira de soja em relação à digestibilidade da MS e matéria orgânica (MO). Apesar do alto poder tampão da soja, a adição da planta inteira manteve o pH em níveis aceitáveis até o nível de 50% de inclusão. Sob o ponto de vista da composição química, a planta de soja foi recomendada em até 50% de inclusão na ensilagem de milho e na ensilagem de sorgo, enriquecendo o valor nutritivo do produto final.

A colheita da soja para ensilagem pode ser realizada entre o estágio R3 (início da formação da vagem) ao R7 (início da maturidade) (UNDERSANDER et al., 2007). Muñoz et al. (1983) recomendam o estágio de desenvolvimento R6 (semente cheia) como o mais apropriado para a colheita devido aos aspectos nutricionais (valor proteico e digestibilidade da MS), como também para produção de MS. Em contraste com outros autores, Willms (2003) em estudo comparando silagem e feno de planta inteira de soja relatou que o conteúdo de nutrientes e a qualidade de forragem não mudam drasticamente com o avanço da maturidade, justificando

que a semente da planta é rica em proteína e energia. Para Coffey et al. (1995), há maior aceitabilidade da silagem de soja pelos animais quando colhidas em estágios intermediários em relação àquela colhida em estágios mais jovens.

Para Evangelista et al. (2003), quando colhida no estágio de início de enchimento de grãos (estádio R5), a silagem de planta inteira de soja pode apresentar até 18% de PB na MS da forragem. Nesse contexto, Obeid (1992) testou a consorciação da silagem de milho com a silagem de soja e evidenciaram incremento ao valor nutricional na biomassa resultante, com aumento dos teores proteicos realizados pela inclusão da silagem de soja. Lempp et al. (2000), ao realizarem estudo semelhante com diferentes cultivares de soja constataram que a mistura soja-gramínea não alterou o pH e elevou os teores de PB das silagens. Stella et al. (2016) encontraram valores de 7,31% de PB na dieta a base de silagem de milho, enquanto com a inclusão de 75% de planta inteira de soja seus valores aumentaram para 16,48%. Por meio da associação das duas espécies é possível diminuir a relação volumoso:concentrado da dieta dos animais, o que pode gerar redução no custo final da alimentação pela menor necessidade de fonte proteica advinda de um suplemento de alto custo, como o farelo de soja (STELLA et al., 2016).

A mistura no cocho de silagem de ponta de cana de açúcar com silagem de soja para cordeiros, no trabalho de Lima et al. (2013), reduziu a necessidade de suplementação com concentrado e aumentou o consumo de nutrientes dos animais. Já Martínez-García et al. (2015) avaliaram a combinação de silagem de milho com a inclusão de 35% silagem de soja na dieta de cordeiros, sendo a dieta com silagem de soja responsável por gerar a maior síntese de proteína microbiana dos animais.

De acordo com Touno et al. (2014), a silagem de soja tem valor nutritivo comparável ao farelo de trigo, podendo ser ofertada com nível de inclusão de 17% na MS da dieta total de ovinos, como fonte de proteína alternativa. Os valores de PB encontrados por Valadares Filho et al. (2018) foram de 17,79%, assim como 51,37% para FDN, 35,69% para FDA, 8,91% para lignina e 25,83% para MS na silagem de planta inteira de soja.

Assim como o milho, a soja também é uma cultura de verão, plantada entre os meses de outubro a dezembro, porém seu rendimento de MV por hectare é menor, em torno de 18 a 30 tMV/ha (EVANGELISTA et al., 2003). Mello Filho et al. (2006) em estudo conduzido envolvendo 22 variedades de soja registraram variações de rendimento de MS entre 5 a 13,5 tMS/ha.

Contudo, a incorporação da leguminosa no sistema de produção de bovinos de leite é altamente benéfica, pois a produção desta aumenta a fixação de nitrogênio ao solo (HUNGRIA

et al., 2001), reduzindo custos com fertilização nitrogenada (MENDES et al., 2007), além de ser uma opção para rotação de cultura, diminuindo a degradação causada pela cultura contínua de milho.

Apesar dos relatos de que as silagens de gramíneas possuam melhor digestibilidade ruminal que as silagens de leguminosas devido aos menores teores de lignina em sua composição, Stella et al. (2016) não observaram efeito da inclusão de 25, 50 e 75% de planta inteira de soja na digestibilidade *in vitro* da MS na dieta dos animais. Resultados semelhantes foram encontrados por Eichelberger et al. (1997), ao incluírem 50% de planta de soja na ensilagem de milho. Este fato pode estar atribuído ao maior teor de FDA na silagem com a inclusão da planta de soja, uma vez que leguminosas apresentam mais componentes lignocelulósicos que forrageiras em igual estado fenológico (EICHELBERGER et al.; 1997).

Outra propriedade da soja que deve ser levada em conta é o elevado conteúdo de extrato etéreo (aproximadamente 10%; PEREIRA et al., 2008), fato que pode ocasionar redução da digestão da fibra, ingestão de MS e a taxa de passagem, quando em níveis superiores a 7% de EE na dieta (NRC, 2001). Desta forma, a fim de evitar os impactos negativos de altos níveis de lipídios na dieta, Pereira et al. (2008) recomendam que a silagem de soja não seja ofertada única e exclusivamente para ruminantes, não excedendo, como forragem, 50% da MS total do volumoso.

Em análise de propriedades com a inclusão de 15 a 20% de silagem de soja em substituição à silagem de milho na dieta de vacas leiteiras, Undersander et al. (2007) relatam que, embora a silagem de soja geralmente apresente menor aceitabilidade do que a silagem de milho pelos animais, as proporções usadas são significativas no valor nutritivo da dieta ofertada e não influencia negativamente no consumo e no desempenho produtivo.

No Brasil, os primeiros trabalhos com silagem de soja na alimentação animal datam das décadas de 80 e 90, porém com maior destaque para a inclusão da silagem em dietas de bovinos de corte (PEREIRA et al., 2008). Em análise realizada por Pereira et al. (2008) dos estudos de Zago et al. (1985) e Obeid et al. (1992), foi observado que o ganho médio de peso de animais Nelore alimentados com silagem de soja consorciada com silagem de milho foi maior do que o ganho dos animais alimentados com silagem de milho como volumoso exclusivo, e isto foi atribuído ao maior teor proteico das silagens consorciadas. Castro e Andreo (2008) destacam que a silagem de soja pode ser incluída em rações para terminação de novilhos, permitindo a obtenção de ganho de peso diário em até 1kg.

Avaliando o desempenho produtivo de vacas leiteiras alimentadas com substituição de 72% da silagem de milho por silagem de planta inteira de soja ou de alfafa, Vargas-Bello-Perez

et al. (2008) relatam redução na produção e no CMS dos animais recebendo dieta com inclusão de silagem de planta inteira de soja. Porém, os teores de gordura do leite foram maiores nos animais que receberam silagem de soja (3,6 vs. 3,8% de gordura no leite, para milho e alfafa e para milho e soja, respectivamente). Apesar de menor produção e CMS, a produção de leite corrigida para 4% de gordura, a composição do leite (exceto para gordura), a eficiência de produção de leite e a digestibilidade total dos nutrientes foram similares para ambas as dietas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL, INSTALAÇÕES E ANIMAIS

O experimento foi conduzido entre os meses de julho a setembro de 2018, nas dependências do Laboratório de Pesquisa em Bovinos de Leite (LPBL) do Departamento de Nutrição e Produção Animal (VNP) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ-USP), em Pirassununga. As análises bromatológicas e de composição do leite foram realizadas no Laboratório de Bromatologia do LPBL. As demais análises foram realizadas nas dependências do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Animal do VNP e no Laboratório de Microbiologia Aplicada e Controle do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR).

Foram utilizadas 24 vacas da raça Holandesa, sendo 6 vacas portadoras de cânula ruminal, com 150 ± 84 dias em lactação (DEL), 662 ± 72 kg de peso vivo (PV) e 32 ± 5 kg de produção de leite diária no início do experimento. As vacas foram alojadas em estábulo tipo “free-stall”, em baias individuais de $17,5 \text{ m}^2$, com piso concretado, camas de areia, comedouro e bebedouro, e ventilação forçada. De acordo com a produção de leite, peso vivo, dias em lactação e presença ou não de cânula ruminal, os animais foram distribuídos em oito quadrados latinos (QL) 3×3 , contemporâneos e balanceados, sendo 6 compostos por vacas sem a presença de cânulas ruminais (18 vacas) e 2 compostos por vacas portadoras de cânula no rúmen (6 vacas). O experimento foi constituído por três períodos experimentais, com duração de 21 dias cada, sendo os 14 primeiros dias de adaptação às dietas e os 7 dias finais para coleta de dados e amostras.

As vacas foram distribuídas aleatoriamente aos seguintes tratamentos: (1) SM, silagem de milho como 100% do volumoso; (2) SS, substituição de 16% da SM por SS; (3) SA, substituição de 16% da SM por SA. As dietas experimentais foram formuladas de acordo com as recomendações do NRC (2001), com relação volumoso:concentrado de 48:52. Os alimentos foram misturados no cocho e fornecidos na forma de TMR, duas vezes ao dia (08h e às 13h) e os animais tiveram acesso à dieta e à água à vontade durante todo o período experimental.

Foram formulados três tipos de concentrados experimentais. Os ingredientes utilizados como base para formulação dos concentrados experimentais foram milho moído, farelo de soja, grão inteiro de soja, polpa cítrica e farelo de soja termicamente tratado ou *bypass* (Soypass®, Cargill, Uberlândia, Brasil). Suas propriedades bromatológicas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química dos ingredientes dos concentrados experimentais (g/kg MS).

<i>Composição Química</i>	Ingredientes				
	Milho moído	Farelo de soja	Grão de soja	Polpa cítrica	Farelo de soja <i>by-pass</i> ¹
Matéria seca	842	849	856	868	862
Matéria orgânica	980	930	946	927	932
Carboidrato não fibroso	726	249	144	557	177
Fibra em detergente neutro	129	202	325	299	372
Fibra em detergente ácido	39,8	118	163	192	126
Proteína bruta	109	508	415	74,2	544
PIDN ²	30,7	82,2	128	23,4	183
PIDA ³	6,6	16,4	25,6	20,3	45,2
Extrato etéreo	42,2	13,4	183	19,6	26,5
Matéria mineral	19,4	69,3	53,7	73,0	67,5
Lignina	13,1	7,00	41,2	29,6	8,70
Amido	758	41,7	34,9	90,2	40,8
FDN indigestível	24,8	17,1	21,7	53,9	21,5

¹Farelo de soja com tratamento térmico (Soypass®, Cargill, Uberlândia, Brasil).

²Proteína insolúvel em detergente neutro.

³Proteína insolúvel em detergente ácido.

Fonte: Silva (2020).

Os concentrados experimentais foram ajustados de acordo com a composição bromatológica de cada tipo de forrageira utilizada no experimento, como descrito na Tabela 2. O valor para inclusão de 16% de silagem alternativa à silagem de milho foi um valor de segurança escolhido pelos pesquisadores a fim de determinar os efeitos sobre os parâmetros avaliados nos animais, porém pode-se encontrar na literatura experimentos com valores de inclusão semelhantes ou maiores do que os utilizados neste estudo, tanto para soja (VARGAS-BELLO-PEREZ et al., 2008; GHIZZI et al., 2020) como para aveia preta (CELIS-ALVAREZ et al., 2016; BHANDARI et al., 2008).

Foram realizadas pesagens diárias das quantidades dos volumosos e concentrados fornecidos e das sobras de cada tratamento, para estimativa do consumo individual. O fornecimento de alimentos foi dimensionado para que as sobras fossem mantidas entre 5 e 10% do consumido no dia anterior para que não houvesse inibição do consumo. Assim, o consumo de alimentos foi obtido pela diferença entre o fornecimento de MS e nutrientes e a quantidade destes presentes nas sobras. Nos últimos sete dias de cada período experimental, amostras diárias de alimentos e sobras foram coletadas, para que ao final de cada período experimental

fosse obtida uma amostra composta representativa de cada vaca, que foi congelada a -20° C para posteriores análises químico-bromatológicas.

Tabela 2 - Ingredientes e composição química dos concentrados experimentais (g/kg MS).

	Concentrados experimentais		
	SM	SA	SS
<i>Ingredientes</i>			
Milho moído	352,0	360,2	379,6
Polpa cítrica	265,7	264,5	243,9
Farelo de soja	124,3	123,2	123,7
Soja grão integral	157,6	153,7	154,1
Soypass® ¹	40,8	39,4	39,6
Bicarbonato de sódio	15,8	15,4	15,4
Núcleo mineral ²	14,0	13,8	13,8
Calcário calcítico	24,8	24,8	24,8
Sal comum	5,0	5,0	5,0
<i>Composição Química</i>			
Matéria seca	854	853	853
Matéria orgânica	894	895	896
Carboidrato não fibroso	402	405	416
Fibra em detergente neutro	227	226	224
Fibra em detergente ácido	102	101	100
Proteína bruta	259	257	249
PIDN ³	59,8	59,4	58,4
PIDA ⁴	14,9	14,8	14,6
Extrato etéreo	45,4	45,4	45,8
Matéria mineral	105	104	104
Lignina	16,6	16,5	16,7
Amido	298,2	303,9	31,78
FDN indigestível	25,3	25,2	25,4

¹Soypass® (Cargill, Uberlândia, Brasil).

²Cada Kg contém: 215g de Ca; 60g de P; 20g de S; 20g de Mg; 35g de K; 70g de Na; 15mg de Co; 700mg de Cu; 600mg F; 10mg de Cr; 700mg de Fe; 40Mg de I; 1600mg de Mn; 20mg de Se; 2500mg de Zn; 200000Ui de Vit A; 50000Ui de Vit D3 e 1500UI de Vit. E.

³Proteína insolúvel em detergente neutro.

⁴Proteína insolúvel em detergente ácido.

Fonte: Silva (2020).

A composição bromatológica das silagens experimentais está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição bromatológica das silagens experimentais (g/kg MS).

	Silagens experimentais		
	Milho	Aveia	Soja
<i>Composição Química</i>			
Matéria seca	276	226	235
Matéria Orgânica	955	914	904
Carboidrato não fibroso ¹	270	123	184
Fibra em detergente neutro	578	714	548
Fibra em detergente ácido	427	541	480
Proteína bruta	84,8	56,1	126
PIDN ²	14,1	10,7	26,3
PIDA ³	11,0	9,10	25,1
Extrato etéreo	21,9	20,6	44,0
Matéria mineral	44,5	86,0	95,8
Lignina	74,5	80,2	130
Amido	205	16,4	15,6
FDN indigestível	215	306	311

¹Estimado de acordo com Hall (2000).

²Proteína insolúvel em detergente neutro.

³Proteína insolúvel em detergente ácido.

Fonte: Silva (2020).

A variedade de aveia preta utilizada para confecção da silagem foi a IAPAR 61, semeada no período entre os meses de março e abril de 2018 e colhida em ciclo tardio (da emergência ao florescimento pleno; SÁ, 1995) de 134 dias. Após a colheita, a matéria verde sofreu processo de pré-secagem até a ensilagem. A forragem foi adquirida da empresa Leffers®, localizada na cidade de Castro, Paraná. A semente utilizada para o plantio da soja foi o híbrido Agroeste 3610 I PRO, realizado em outubro de 2017. A colheita ocorreu quando a planta se encontrava caracterizada no estágio fenológico R5.5, onde há o desenvolvimento ou a presença de semente cheia (SEDIYAMA et al., 1985) e, posteriormente, a matéria verde foi ensilada até sua abertura em maio de 2018. Para a silagem de milho foram utilizadas sementes Biomatrix 3063, sendo o plantio realizado em outubro de 2017 e colheita em fevereiro de 2018, com abertura do silo após, aproximadamente, 90 dias.

Os ingredientes e a composição bromatológica das dietas experimentais estão descritas na tabela 4.

Tabela 4 - Ingredientes e composição bromatológica das dietas experimentais (g/kg MS).

	Dietas experimentais		
	SM	SA	SS
<i>Ingredientes (g/kg MS)</i>			
Silagem de milho	480	400	401
Silagem de aveia preta	-	80,0	-
Silagem de soja	-	-	80,1
Milho moído	183	187	196
Farelo de soja 46% PB	138	138	127
Polpa cítrica	82,0	80,0	80,2
Grão de soja	64,7	64,1	64,4
Farelo de soja <i>bypass</i> ¹	21,2	20,0	20,6
Núcleo mineral ²	12,9	12,9	12,9
Bicarbonato de sódio	8,30	8,10	8,00
Calcário	7,3	7,30	7,20
Sal	2,60	2,60	2,60
<i>Composição química (g/kg MS)</i>			
Matéria seca (g/kg MN)	426	404	408
Carboidratos-não-fibrosos	390	379	390
Fibra em detergente neutro	344	353	338
FDNf ³	270	278	265
Amido	245	220	227
Proteína bruta	164	164	165
Lignina	44,3	47,0	71,4
Extrato etéreo	39,0	39,0	43,0
EL _{13x} ⁴ , Mcal/kg MS	1,58	1,57	1,59
<i>Distribuição tamanho das partículas (g/kg MS)</i>			
>19 mm	80,4	123	114
19 – 8 mm	362	340	373
8 – 4 mm	245	177	217
< 4 mm	355	310	297

¹Soypass® (Cargill, Uberlândia, Brasil).

²Cada Kg contém: 215g de Ca; 60g de P; 20g de S; 20g de Mg; 35g de K; 70g de Na; 15mg de Co; 700mg de Cu; 600mg de F; 10mg de Cr; 700mg de Fe; 40Mg de I; 1600mg de Mn; 20mg de Se; 2500mg de Zn; 200000Ui de Vit A; 50000Ui de Vit D3 e 1500UI de Vit. E.

³Fibra em detergente neutro da forragem.

⁴De acordo com NRC (2001), ao nível de consumo no valor de 3 mantenças.

4.2 ANÁLISE DE ALIMENTOS

As amostras compostas de alimentos e sobras foram pré-secas em estufa de ventilação forçada, à 55°C, por 72 horas, e processadas em moinhos de facas (MA340, Marconi, Piracicaba), utilizando peneiras com poros de 1 mm e de 2 mm. Amostras moídas a 1 mm foram utilizadas para avaliação do teor de MS (método 930.15), matéria orgânica (cinzas), PB (método 984.13, $N \times 6,25$), e extrato etéreo (EE; método 920.39), de acordo com os métodos descritos pela AOAC (2000). O teor de FDN, FDA (TE-149 determinador de fibra, Tecnal Scientific Equipments, Piracicaba, SP, Brasil) e lignina (método de dissolução em ácido sulfúrico) das amostras, sendo os resultados obtidos expressos com cinzas. Para determinação do FDN foi utilizado α -amilase sem adição de sulfito de sódio (UNDERSANDER et al., 1992)

Os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram calculados de acordo com as equações do NRC (2001), e a energia líquida de lactação (EL_L) calculada de acordo com Weiss et al. (1992), sem correção para o fator de processamento para a correção da estimativa da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos. Para a mensuração de CNF, utilizou-se a seguinte equação, de acordo com Hall (2000), onde: $CNF (g/kg) = 1000 - [(PB + EE + MM + FDN)]$. As amostras também foram analisadas quanto ao teor de amido, por meio do método de degradação enzimática (Amyloglucosidase®, Novozymes, Curitiba, PR, Brasil) e as absorbâncias foram medidas pelo espectrofotômetro semiautomática (SBA-200, CELM®, São Caetano do Sul, PR, Brasil) de acordo com a metodologia de Hendrix (1993).

Para caracterização das dietas, os alimentos foram analisados ainda quanto aos teores de proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), conforme Licitra et al. (1996).

4.3 DIGESTIBILIDADE APARENTE TOTAL DE NUTRIENTES

A quantidade total de matéria seca fecal excretada foi estimada pela concentração de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) como marcador interno. Amostras de fezes foram coletadas diretamente do reto, a cada 9h, com início no 18º dia do período experimental, antes da ordenha da manhã (06h - tempo zero) e com final no 20º dia às 21h, representando uma coleta a cada 3 horas em um período de 24 horas. Após cada coleta, as amostras foram congeladas em freezer à -20°C, e no final de cada período foram homogeneizadas a fim de se obter uma amostra composta por vaca e período. Posteriormente, as amostras foram pré-secas

em estufa com ventilação forçada (55°C por 72 horas), e, em conjunto com as demais amostras de ingredientes, foram processadas em moinho de facas com peneiras de porosidade 2 mm.

Para análise de FDNi, as amostras processadas em peneira de 2 mm foram acondicionadas em sacos de tecido não-tecido (TNT-100g/m²; CASALI et al. 2008), com dimensões de 5 x 5 cm. As alíquotas foram acondicionadas em todos os sacos, segundo a relação de 20 mg de matéria seca por centímetro quadrado de superfície e incubadas no rúmen de duas vacas adaptadas à dieta controle do experimento, por um período de 12 dias ou 288 h, de acordo com os métodos descritos por Huhtanen et al., (1994).

Após retirados do rúmen, os sacos foram lavados com água corrente até o total clareamento desta e posteriormente, analisadas quanto ao teor de FDN, conforme já descrito anteriormente em equipamento analisador de fibra Tecnal® (TE-149). Ao final deste tratamento, foi obtido a fibra em detergente neutro indigestível (FDNi). O FDNi foi utilizado para estimar a excreção total de fezes (ETF) baseado na ingestão de FDNi e concentração do mesmo nas fezes, por meio da seguinte equação:

$$ETF \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) = \frac{FDNi_{\text{consumido}} \left(\frac{\text{g}}{\text{dia}} \right)}{FDNi_{\text{fezes}} \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)}$$

A digestibilidade da MS e nutrientes foi calculada através do consumo de nutrientes, a concentração dos mesmos nas fezes e sua excreção, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\text{Digestibilidade MS (\%)} = 100 - \left[100 \times \left(\frac{\% \text{ FDNi consumido}}{\% \text{ FDNi fezes}} \right) \right]$$

$$\text{Digestibilidade nutrientes (\%)} = 100 - \left[100 \times \left(\frac{\% \text{ FDNi consumido}}{\% \text{ FDNi fezes}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ nutrientes nas fezes}}{\% \text{ nutrientes na dieta}} \right) \right]$$

4.4 DEGRADABILIDADE RUMINAL IN VITRO

A técnica de degradabilidade ruminal *in vitro* foi utilizada para estimar as degradabilidades potencial (frações A + B) e efetiva das silagens em estudo (BUENO, 2002).

Antes da pesagem das amostras, saquinhos de tecido não-tecido (TNT-100g/m²; CASALI et al. 2008) de dimensões 5 x 5 cm foram identificados com tinta permanente, lavados com água destilada em temperatura de 90°C e embebidos em acetona durante três minutos. Para

secagem da acetona, as unidades filtrantes foram colocadas em estufa de ventilação forçada a 55°C, onde permaneceram por 24 horas. Após, foram retirados e colocados em estufa a 105°C por mais 2 horas. Após retirada da estufa, permaneceram em dessecador durante 40 minutos e posteriormente foram pesadas para registro de seus pesos vazios, sem a presença de amostras.

Foram separadas amostras das três silagens experimentais (milho, aveia preta e planta inteira de soja) de cada um dos três períodos experimentais, para que ao fim formassem nove amostras representativas das silagens. As amostras foram pré-secadas em estufa à 55°C e processadas em moinho de facas (MA340, Marconi, Piracicaba) com peneiras de porosidade 2 mm (BENCHAAAR et al., 2006). Em seguida, foram acondicionadas nos saquinhos na proporção de 600 mg de amostra por saquinho. Os saquinhos utilizados possuíam porosidade de 25 micras. Por fim, foram agrupadas em redes plásticas de 15 x 30cm, contendo em cada rede plástica, nove amostras representativas de cada silagem em cada período experimental, totalizando 7 redes plásticas por jarro da incubadora *in vitro* tipo Daisy (TE-150, TECNAL®, Piracicaba, Brasil).

Sendo 4 jarros de vidro na incubadora *in vitro*, as amostras agrupadas nas redes plásticas foram acondicionadas nos jarros juntamente com inóculo previamente preparado. Cada uma das sete redes plásticas com as nove amostras de silagens foi retirada da incubadora *in vitro* de acordo com horários pré-estabelecidos de incubação, sendo 3, 8, 16, 24, 48, 72 e 96 horas após a incubação (BUENO, 2002). O tempo 0 foi estimado realizando a submersão das amostras no composto preparado, tendo permanecido por cinco minutos (BENCHAAAR et al., 2006).

Para a incubação, foi realizado o preparo de dois meios contendo água destilada, solução de macro e microminerais, solução tampão e solução de rezasurim. A solução permaneceu sob constante borbulhamento de CO₂ durante 3 horas, até que a solução final mudasse de coloração, da azul para coloração rosa, indicando a ausência de O₂ no meio. Em seguida, foi mantida por 24 horas em estufa de ventilação forçada à 39°C, a fim de simular o ambiente ruminal.

Para a coleta do líquido ruminal, 4 animais portadores de cânula ruminal foram adaptados à dieta controle do experimento (SM) com início da adaptação 14 dias antes da coleta. Antes do fornecimento da alimentação da manhã, foi coletado manualmente líquido ruminal dos animais, diretamente pela cânula, de cinco pontos distintos do rúmen, tomando-se o cuidado de coletar tanto fases líquidas como sólidas, a fim de se alcançar o maior número de sítios de colonização ruminal e, conseqüentemente, que se houvesse simulação mais próxima possível do rúmen. O líquido ruminal foi acondicionado em garrafas térmicas e direcionado ao processamento.

Para o processamento do líquido ruminal, 400g de fase líquida e 400g de fase sólida foram processadas em liquidificador (Ultra®, Brasil) pelo tempo de 10 segundos a fim de se obter uma amostra homogênea. Após processamento, a amostra de líquido ruminal foi filtrada em pano de nylon com porosidade de 35 micras, como indicado por Bueno (2002). Como inóculo final para a incubação, foi utilizado 400 mL do líquido ruminal e adicionado 1600mL da solução previamente preparada, sendo então as duas soluções homogeneizadas e colocadas dentro dos jarros de vidro e, imediatamente, direcionados à incubadora *in vitro*, onde permaneceram à temperatura de 39°C.

Os resíduos da degradabilidade foram analisados quanto aos teores de MS (método 930.15; AOAC (2000)) e quanto a FDN, segundo Van Soest et al. (1991). Para o cálculo da estimativa de amostra desaparecida, foi calculada a diferença entre o peso de cada saquinho antes da incubação e o peso deste após ser retirado da incubadora *in vitro*, lavado com água corrente, seco em estufa a 55°C por 24 horas e em estufa a 105°C por 2 horas, para posterior pesagem, de acordo com a seguinte equação:

$$\%ASE = ASE/ASA \times 100$$

em que: ASE é o percentual de amostra seca em estufa; ASE é a massa de amostras seca em estufa em gramas e ASA a massa de amostra seca ao ar em gramas.

De acordo com a diferença calculada entre o substrato e o resíduo, foram obtidos dados de desaparecimento da MS e FDN durante a incubação.

4.5 ÍNDICE DE SELEÇÃO DE PARTÍCULAS

Amostras da TMR e de sobras foram coletadas no 15° e 16° dia de cada período experimental e foram analisadas para a distribuição do tamanho de partículas usando um sistema separador de partículas com peneiras estratificadoras (Penn State Particle Separator – Nasco, Fort Atkinson, WI) como descrito por Kononoff et al. (2003).

O índice de seleção foi calculado conforme descrito por Silveira et al. (2007), como o consumo efetuado pelos animais correspondentes a cada peneira (P1 a P4) expresso pela porcentagem do consumo total predito, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\text{Consumo esperado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) = \text{consumo} \left(\frac{\text{kg NM}}{\text{dia}} \right) \times P_{\text{TMR}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{Consumo observado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) = \left[\text{ofertado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) \times P_{\text{TMR}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right) \right] - \left[\text{recuso} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right) \times P_{\text{rec}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right) \right]$$

$$\text{Índice de seleção} = \frac{\text{consumo observado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right)}{\text{consumo esperado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right)}$$

onde, P_{TMR} representa o tamanho da partícula da TMR e P_{REC} o tamanho da partícula recusada. Quando o índice de seleção é igual a 1 significa que não houve seleção pelos animais, < 1 indica que os animais recusaram determinado tamanho de partícula e quando > 1 indica que os animais tiveram preferência para determinado tamanho de partícula.

4.6 COMPORTAMENTO INGESTIVO

Os dados de comportamento ingestivo foram coletados entre o 15° e 17° dia de cada período experimental. Os animais foram observados durante 48 horas, iniciando-se às 06h do 15° dia e com término às 06h do 17° dia. Os animais foram observados em intervalos de 5 minutos, utilizando-se cronômetros digitais. No período noturno foi mantida baixa intensidade luminosa dentro da instalação para que os observadores pudessem visualizar os animais nas baias, sem interferir no comportamento natural dos mesmos.

Foram observadas as atividades de: alimentação, ócio, deitado ou em pé, bebendo água e outros (inclusive tempo de ordenha; Silva et al., 2016). A ruminação diária (minutos/dia) foi registrada automaticamente por sensores acoplados a um colar utilizado pelos animais (HR Tags; SCR Dairy, Netanya, Israel). De acordo com as variáveis supracitadas, foram estabelecidos parâmetros que indicam a influência da quantidade e qualidade da dieta na atividade mastigatória dos animais, os quais são: tempo total de mastigação (soma de tempo alimentação e tempo ruminando), tempo total de ruminação e tempo total de ócio (período de 24 horas subtraído pela somatória dos tempos em que o animal se encontrava bebendo água, comendo e em ordenha).

4.7 FERMENTAÇÃO RUMINAL

Para avaliação dos parâmetros ruminais, no 21º dia de cada período experimental amostras de conteúdo ruminal foram coletadas de cinco pontos do rúmen, nos tempos 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 e 16 horas após a alimentação matinal, dos seis animais portadores de cânula ruminal. Logo após a coleta foi obtido o líquido ruminal através de pano dessorador, o qual foi submetido à análise de pH, com a utilização de pHmetro (MB-10, Marte Científica®, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil). As amostras foram armazenadas em caixas térmicas e encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia Aplicada e Controle do Centro de Ciências Agrárias da UFSCAR.

As amostras de líquido ruminal (50 mL) foram centrifugadas a $2,000 \times g$ por 15 min à temperatura ambiente. Subamostras de 1800 µL de sobrenadante de cada amostra foram congeladas com 200 µL de ácido fórmico p.a. para posterior análise de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC). Outros 1600 µL de sobrenadante de cada amostra foram armazenados com 400 µL de ácido sulfúrico (1 N), para posterior determinação de nitrogênio amoniacal (N-NH₃).

As concentrações de AGCC nas amostras foram determinadas por cromatografia gasosa utilizando um cromatógrafo Shimadzu® GC-2010 Plus equipado com injetor automático AOC-20i, coluna capilar Stabilwax-DA™ (30m, 0,25mm ID, 0,25µm df, Restek®) e detector de ionização de chama (FID), após acidificação das mesmas com 1 M de ácido fosfórico p.a. (Ref. 100573, Merck®) e fortificação com mistura de ácidos voláteis livres (Ref. 46975, Supelco®).

Uma alíquota de 1µL de cada amostra foi injetada com taxa de split de 40:1, utilizando hélio como gás de arraste à velocidade linear de 42 cm.s⁻¹, obtendo-se a separação dos analitos em uma corrida cromatográfica de 11,5 minutos. As temperaturas do injetor e do detector foram, respectivamente, 250°C e 300°C e temperatura inicial da coluna de 40 °C.

A rampa de temperatura da coluna se iniciou com um gradiente 40 até 120 °C à taxa de 40 °C.min⁻¹, seguido de um gradiente de 120 até 180 °C à taxa de 10 °C.min⁻¹ e de 180 a 240 °C à taxa de 120 °C.min⁻¹, mantendo-se a temperatura a 240 °C por mais 3 minutos ao final. Para a quantificação dos analitos, uma calibração do método foi realizada com diluições do padrão WSFA-2 (Ref. 47056, Supelco®) e de ácido acético glacial (Ref. 33209, Sigma-Aldrich®) analisadas sob as condições descritas acima. Para a determinação e a integração dos picos utilizou-se o software GCsolution v. 2.42.00 (Shimadzu®).

O NH₃-N foi determinado pelo método colorimétrico de fenol-hipoclorito (BRODERICK e KANG-MEZNARICH, 1980). Foram adicionados às amostras previamente preparadas com ácido sulfúrico a 1N, 400 µL de tungstato de sódio a 10%, e posteriormente as amostras foram centrifugadas a $1.200 \times g$ durante 15 minutos. Em seguida foram pipetados 5 µL do sobrenadante em microplaca (tipo ELISA) e nesta adicionado 100 µL do reagente de

trabalho (ácido salicílico - obtido no kit BIOCLIN® (ref. K047), com ausência da enzima urease), em seguida, colocada em banho-maria a 37°C por 5 minutos e, logo após, adicionados 100 µL do reagente oxidante (hipoclorito de sódio - obtido no kit BIOCLIN® (ref. K047). Novamente, a microplaca foi colocada em banho-maria a 37°C por 5 minutos. Após homogeneização das amostras, as mesmas adquiriram coloração verde e, posteriormente, foram analisadas na leitora de microplaca (Asys Expert Plus®) quanto a sua absorbância em 540 nm. Os resultados obtidos foram utilizados em equação de regressão para calcular a concentração em mg/dL.

4.8 SÍNTESE DE PROTEÍNA MICROBIANA E BALANÇO DE NITROGÊNIO

A estimativa da síntese microbiana foi mensurada a partir da quantificação dos derivados de purinas na urina e no leite, de acordo com metodologia descrita por Chen e Gomes (1992), considerando-se a absorção de purinas a partir da fórmula sugerida por Gonzalez-Ronquillo et al (2003).

Amostras de 100 mL de urina de todas as vacas foram obtidas através de micção estimulada por massagem, coletadas de 9 em 9h, com início no 18º e fim no 20º dia de cada período experimental, para que, desta forma, se obtivesse uma amostra representativa no período de 24 horas em cada período. Imediatamente após a coleta, a urina foi filtrada, retirando-se alíquotas de 20 mL e diluídas em 80 mL de ácido sulfúrico a 0,036N, para evitar destruição bacteriana dos derivados de purinas e a precipitação do ácido úrico, sendo então congeladas para posteriores análises.

A excreção urinária diária foi estimada a partir da concentração urinária de creatinina, considerando uma excreção diária de 0,212 mmol de creatinina por kg de peso vivo (CHIZZOTTI et al., 2008). A excreção total de derivados de purinas (DP) foi calculada pela soma das quantidades molares de alantoína e ácido úrico na urina e de alantoína no leite.

Amostras de leite, de aproximadamente 300 mL, foram coletadas no 15º dia de cada período experimental, compreendendo amostras proporcionais das ordenhas da manhã e da tarde, para a realização das análises de compostos nitrogenados totais, alantoína e uréia. Parte da amostra composta de leite foi desproteínizada com ácido tricloroacético 25% (TCA), onde 10 mL de leite foram misturados com 5 mL de TCA, filtrados em papel-filtro e armazenados a -20°C.

As purinas absorvidas (X, mmol/dia) foram calculadas a partir da excreção de derivados de purinas (DP, mmol/dia), por meio da equação $X = (DP - (0,512 PV^{0,75})) / 0,84$, em que 0,84

é a recuperação de purinas absorvidas como derivados de purinas e $0,512 \text{ PV}^{0,75}$ a contribuição endógena para excreção de purinas (GONZALEZ-RONQUILLO et al., 2003). A síntese de compostos nitrogenados microbianos no rúmen (Y, g N/dia) foi calculada em função das purinas absorvidas (X, mmol/dia), por meio da equação: $Y = \left(\frac{70 \times X}{0,83 \times 0,116 \times 1000} \right)$, em que 70 representa o conteúdo de N nas purinas (mg N/mmol); 0,83, a digestibilidade das purinas microbianas e 0,116, a relação N-purina:N total nas bactérias (CHEN e GOMES, 1992).

O balanço de compostos nitrogenados (BN) foi calculado pela diferença entre o total de nitrogênio ingerido (N-total) e o total de nitrogênio excretado nas fezes (N-fezes), na urina (N-urina) e secretado no leite (N-leite), sendo estimado como: $N\text{-total} = \text{CPB}/6,25$; $N\text{-fezes} = \text{excreção fecal} \times \text{teor de N das fezes}$; $N\text{-leite} = \text{PB leite} / 6,38$ e N-urina pelo método 984.13; AOAC, (2000).

4.9 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE

As vacas foram ordenhadas mecanicamente utilizando sistema de ordenha duplo-oito linha baixa acoplada ao sistema DeLaval Alpro® (DeLaval, Tumba, Suíça), duas vezes ao dia (6h00 e 16h00), sendo a produção de leite registrada eletronicamente. A produção de leite média do período de coleta foi utilizada nas análises estatísticas. Amostras de leite foram coletadas nos 15º, 16º e 17º dias de cada período experimental. Após as coletas do período da manhã, as amostras foram refrigeradas e misturadas de maneira proporcional (60:40) com as amostras obtidas no período da tarde. As amostras de leite foram avaliadas quanto aos teores de gordura, proteína e lactose, utilizando metodologia infravermelho (Lactoscan®, Entelbra, Londrina, PR, Brasil).

Corrigiu-se a produção de leite para 3,5% de gordura (PLCG) de acordo com a equação proposta por Sklan et al. (1992): $3,5\% \text{ PLCG} = (0,432 + 0,1625 \times \% \text{ de gordura no leite}) \times \text{produção de leite (kg/d)}$.

Alíquotas das amostras de leite (10 mL) foram desproteinizadas no dia 16 de cada período experimental, de acordo com Broderick e Clayton (1997), depois filtradas em papel filtro (poro de 14 µm), para remoção de proteínas, e congeladas. Posteriormente, essas amostras foram analisadas quanto ao teor de ureia, utilizando kits colorimétricos comerciais (Bioclin®, Belo Horizonte, MG, Brasil), com leitura sendo realizada em um analisador bioquímico semi-automático (SBA-200, CELM®, São Caetano do Sul, SP, Brasil), e quanto ao teor de alantoína,

analisadas segundo Chen e Gomes (1992), sendo a leitura realizada em um leitor de microplaca (Biochrom Asys UVM 340 Microplate Reader, Biochrom®, Cambridge, RU).

4.1.1 Avaliação do Escore de Condição Corporal e Peso Corpóreo

Durante o experimento, os animais foram avaliados em relação ao escore de condição corporal (ECC) e o peso corporal no 8º, 9º, 20º e 21º dia de cada período experimental, para avaliação da variação de peso. Os pesos dos animais foram correspondentes à média de duas pesagens sucessivas, feitas antes do fornecimento das alimentações e após a ordenha matinal, durante dois dias. As mensurações do ECC foram realizadas segundo metodologia proposta por Edmonson et al. (1989).

4.1.2 Parâmetros Sanguíneos

Foram realizadas coletas de sangue no 17º dia de cada período experimental, sempre quatro horas após o fornecimento da alimentação da manhã. As coletas ocorreram sempre por punção da artéria ou veia coccígea. As amostras foram coletadas com auxílio de vacutainer em tubos com ativador de coágulo, e imediatamente refrigerados até a centrifugação. As amostras foram centrifugadas a $1500 \times rpm$ por 10 minutos e o soro foi congelado para as análises posteriores. Os parâmetros sanguíneos analisados foram glicose e uréia plasmática. As análises foram realizadas utilizando kits de bioquímica colorimétrica (glicose: cat. n. K-082; ureia: cat. n. K-056; Bioclin®, Belo Horizonte, Brasil). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro semi-automático (SBA 200, CELM®, São Caetano do Sul, Brasil).

4.1.3 Análises Estatísticas

Os dados foram analisados utilizando o PROC MIXED do SAS 9.3 (SAS Institute, 2011), de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + Q_i + a_{j:i} + T_k + P_l + e_{ijkl}$$

Considerando: $a_{j:i} \approx N(0, \sigma_a^2)$ e $e_{ijkl} \approx N(0, \sigma_e^2)$; em que: Y_{ijkl} é o valor observado da variável resposta; μ é a média geral; Q_i é o efeito fixo de quadrado ($i = 1$ à 8); $a_{j:i}$ é o efeito aleatório de animal dentro de cada quadrado Latino ($j = 1$ à 24); T_k é o efeito fixo do tratamento

($k = 1 \text{ à } 3$); P_l é o efeito fixo do período experimental ($l = 1 \text{ à } 3$); e_{ijkl} é o erro experimental; N indica distribuição normal (Gausiana); σ_a^2 é a variância associada ao efeito aleatório de animal; e σ_e^2 é a variância residual. As diferenças entre tratamentos foram estimadas pelo teste de médias de Tukey, considerando um nível de significância de 5%. Valores entre 5% e 10% foram considerados como tendência.

Os dados de fermentação ruminal foram analisados de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + Q_i + a_{j:i} + T_k + P_l + \omega_{ijkl} + H_m + T \times H_{km} + e_{ijklm}$$

Considerando: $a_{j:i} \approx N(0, \sigma_a^2)$, $\omega_{ijkl} \approx N(0, \sigma_\omega^2)$, e $e_{ijklm} \approx MVN(0, R)$; em que: Y_{ijkl} é o valor observado da variável resposta; μ é a média geral; Q_i é o efeito fixo de quadrado ($i = 1 \text{ à } 2$); $a_{j:i}$ é o efeito aleatório de animal dentro de cada quadrado Latino ($j = 1 \text{ à } 6$); T_k é o efeito fixo do tratamento ($k = 1 \text{ à } 3$); P_l é o efeito fixo do período experimental ($l = 1 \text{ à } 3$); ω_{ijkl} é o erro experimental das parcelas (animal em cada período experimental); H_m é o efeito de tempo ($m = 1 \text{ a } 9$); $T \times H_{km}$ é o efeito de interação entre tratamento e tempo; e_{ijklm} é o erro residual; N indica distribuição normal (Gausiana); σ_a^2 é a variância associada ao efeito aleatório de animal; σ_ω^2 é a variância residual associada aos animais em cada período de avaliação; MVN indica multivariada com distribuição normal; e R é uma matriz de variância e covariância devido às medidas repetidas no tempo. Foram avaliadas as matrizes: Simetria Composta (CS), Simetria Composta Heterogênea (CSH), Autoregressiva de Primeira Ordem [AR(1)], Autoregressiva de Primeira Ordem Heterogênea [ARH(1)] Toeplitz (TOEP), Toeplitz Heterogênea (TOEPH) e Não Estruturada (UN). O critério Baisiano foi utilizado para definir a matriz a ser utilizada. Para todas as análises de fermentação ruminal foi considerado nível de significância de 5%. Valores entre 5% e 10% foram considerados como tendência.

Os dados de degradabilidade ruminal foram realizados utilizando o PROC NLMIXED do SAS 9.4. Foram considerados os valores médios de degradação obtidos a partir das amostras provenientes de cada período experimental ($n = 3$ por silagem). Foi considerada variância única e os coeficientes foram comparados utilizando a função *estimate* do mesmo procedimento. Os dados foram analisados de acordo com o seguinte modelo, sugerido por Van Milgen (1991):

$$\text{DEG (g/kg)} = B \times (1 + \lambda \times t) \times \exp^{-\lambda \times t} + C$$

As degradabilidades efetivas (DE) para as taxas de passagem (K_p) de 20, 50 e 70 g/kg/h foram estimadas de acordo com a equação sugerida por Orskov (1979):

$$DE \text{ (g/kg)} = 1000 - [C + B \times \left(\frac{k_{pb}}{k_{db} + k_p} \right)]$$

Sendo K_{pb} a taxa de passagem para a fração B e K_{db} a taxa constante de degradação. As diferenças entre os tratamentos foram estimadas pelo teste de diferença mínima significativa de Fisher (LDS) ao nível de 5% de significância. Valores entre 5% e 10% foram considerados como tendência.

5 RESULTADOS

A inclusão de SA e de SS reduziu o consumo de MS, MO, PB e o consumo de MS em relação ao peso vivo em comparação com SM ($P \leq 0,05$; Tabela 5).

Tabela 5 - Consumo de matéria seca e nutrientes e digestibilidade aparente total de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.

Item	Tratamentos			EPM ¹	<i>P</i> ^{2,3}
	SM	SA	SS		
<i>Consumo (kg/d)</i>					
Matéria seca	26,23a	25,32b	25,14b	0,653	0,009
Matéria orgânica	24,28a	23,13b	23,14b	0,570	<0,001
Fibra em detergente neutro	9,82a	9,67ab	9,47b	0,244	0,023
Proteína bruta	4,65a	4,31b	4,34b	0,102	<0,001
Extrato etéreo	0,91a	0,86b	0,90a	0,021	<0,001
<i>Consumo (%PV)</i>					
Matéria seca	4,01a	3,86b	3,82b	0,089	0,004
Fibra em detergente neutro	1,50a	1,47ab	1,44b	0,035	0,003
<i>Digestibilidade (%)</i>					
Matéria seca	67,75	66,55	67,43	0,649	0,371
Matéria orgânica	69,50	67,88	68,99	0,635	0,130
Fibra em detergente neutro	45,84	44,58	44,86	1,448	0,716
Proteína bruta	70,90x	69,16y	70,43xy	0,639	0,066
Extrato etéreo	83,83	81,46	83,14	0,988	0,164

¹Erro padrão da média.

²Médias seguidas de letras (a e b) na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

³Médias seguidas de letras (x e y) na mesma linha diferem entre si e se referem à tendência para valores de P entre $> 0,05$ e $\leq 0,10$.

Fonte: Silva (2020).

A inclusão de silagem de soja reduziu o consumo de FDN e o consumo de FDN em relação ao peso vivo em comparação com a inclusão de silagem de aveia preta e a silagem de milho ($P \leq 0,05$). A inclusão de silagem de aveia preta reduziu o consumo de EE em comparação com a silagem de milho e a inclusão de silagem de soja ($P \leq 0,05$). Houve tendência da digestibilidade aparente total de PB ser maior para a dieta com uso exclusivo da silagem de milho em relação à dieta com inclusão de silagem de aveia preta ($P = 0,066$). A digestibilidade aparente total da MS, MO, FDN e EE não foram afetadas pela inclusão de silagem de aveia preta ou de silagem de soja ($P > 0,05$).

As dietas SM e SA apresentaram maior fração potencialmente degradável (B) em relação à dieta SS ($P \leq 0,05$; Tabela 6).

Tabela 6 - Degradabilidade ruminal da MS e FDN de diferentes fontes de forragem

Item	Silagens experimentais			P ¹
	SM	SA	SS	
Matéria seca				
B, g/kg ²	415 ^A ± 21,7	393 ^A ± 21,6	334 ^B ± 20,2	0,008
Potencialmente digestível, g/kg ³	734 ^A ± 19,5	574 ^B ± 19,8	579 ^B ± 15,4	<0,001
C, g/kg ⁴	266 ^A ± 19,5	426 ^B ± 19,8	421 ^B ± 15,4	<0,001
Kdb, g/kg/h ⁵	63,7 ± 6,83	64,9 ± 7,72	85,7 ± 9,72	0,068
<i>Degradabilidade efetiva, g/kg⁶</i>				
kp= 20 g/kg/h	634 ^A ± 11,1	482 ^C ± 11,1	516 ^B ± 10,4	<0,001
kp= 50 g/kg/h	551 ^A ± 8,4	403 ^C ± 8,4	456 ^B ± 8,4	<0,001
kp= 70 g/kg/h	517 ^A ± 8,1	370 ^C ± 8,1	429 ^B ± 8,2	<0,001
Fibra em detergente neutro				
B, g/kg	616 ^A ± 39,0	504 ^A ± 45,2	371 ^B ± 37,0	<0,001
C, g/kg	394 ^A ± 35,7	412 ^A ± 44,0	641 ^B ± 31,8	<0,001
Kdb, g/kg/h	60,6 ± 7,69	49,6 ± 8,12	67,4 ± 13,09	0,251
<i>Degradabilidade efetiva, g/kg</i>				
kp= 20 g/kg/h	453 ^A ± 19,7	444 ^A ± 21,6	274 ^B ± 19,0	<0,001
kp= 50 g/kg/h	328 ^A ± 14,7	335 ^A ± 14,8	201 ^B ± 14,7	<0,001
kp= 70 g/kg/h	276 ^A ± 14,2	293 ^A ± 14,1	170 ^B ± 14,2	<0,001

¹Médias seguidas de letras (a e b) na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Fisher (LDS).

²B: fração potencialmente degradável.

³Fração potencialmente degradável associada à fração imediatamente degradada.

⁴C: fração indigestível.

⁵Kdb: taxa de degradação da fração B.

⁶Degradabilidade efetiva considerando taxas de passagem de 2, 5 e 7%/h.

Fonte: Silva (2020).

SM apresentou maior fração potencialmente digestível (fração B associada à fração considerada imediatamente solúvel) e menor fração indigestível (C) em comparação com as dietas SA e SS ($P \leq 0,05$). Houve tendência para maior taxa de degradação da fração B (Kdb) da MS para dieta SS em relação às demais ($P = 0,068$). SM também apresentou maior degradabilidade efetiva da MS nas taxas de passagem (kp) de 2, 5 e 7%/h em relação à SA e SS, sendo que SS apresentou maior degradabilidade efetiva em relação à dieta SA ($P \leq 0,05$). A fração B da FDN e a fração C da SS foram menores do que a fração das dietas SM e SA ($P \leq 0,05$). Não houve diferenças quanto à taxa de degradação da fração B do FDN ($P = 0,251$). As dietas SM e SA apresentaram maior degradabilidade efetiva nas taxas de passagem 2, 5 e 7%/h em relação à dieta SS ($P \leq 0,05$).

A inclusão de SA reduziu a produção de leite e de proteína do leite em comparação com a inclusão de SS e de SM ($P \leq 0,05$; Tabela 7). Houve tendência à menor PLCG para dieta contendo silagem de aveia preta em relação a dieta com silagem de milho exclusivo ($P = 0,062$). A produção de lactose do leite foi reduzida pela inclusão de silagem de aveia preta e de soja, apresentando o menor resultado com a inclusão de silagem de aveia preta ($P \leq 0,05$). No entanto, a inclusão de silagem de soja aumentou a eficiência de produção de leite (PL/CMS) em comparação com a silagem de aveia ($P \leq 0,05$). O teor de gordura do leite apresentou tendência a ser maior para dieta contendo silagem de aveia preta em relação à dieta contendo silagem de soja ($P = 0,090$). A inclusão das silagens alternativas à silagem de milho não influenciou a produção de gordura do leite, assim como os teores de proteína e lactose do leite e a eficiência de PLCG ($P > 0,05$). O escore de condição corporal e o peso corporal dos animais não diferiram entre os tratamentos durante todos os períodos experimentais ($P > 0,05$).

Tabela 7 - Produção e composição do leite, eficiência produtiva, ECC e peso corporal de vacas alimentadas com diferentes fontes de forragem.

Item	Tratamentos			EPM ¹	P ^{2,3}
	SM	SA	SS		
<i>Produção (kg/d)</i>					
PL ⁴	32,89a	31,12b	32,10a	0,661	<0,001
PLCG ⁵	34,27a	33,00b	33,40ab	0,946	0,062
Gordura	1,23	1,20	1,20	0,045	0,335
Proteína	1,08a	1,01b	1,05a	0,025	<0,001
Lactose	1,61a	1,52c	1,56b	0,018	<0,001
<i>Composição (%)</i>					
Gordura	3,76xy	3,87x	3,72y	0,107	0,090
Proteína	3,28	3,27	3,27	0,024	0,705
Lactose	4,91	4,90	4,88	0,036	0,283
<i>Eficiência produtiva</i>					
PL/CMS ⁶	1,26ab	1,24b	1,28a	0,015	0,046
PLCG/CMS	1,31	1,31	1,32	0,027	0,681
ECC ⁷	2,51	2,52	2,49	0,044	0,566
PC ⁸	648,1	652,6	650,6	12,26	0,515

¹Erro padrão da média.²Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.³Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si e se referem à tendência para valores de P entre $> 0,05$ e $\leq 0,10$ (letras x e y).⁴Produção de leite.⁵Produção de leite corrigida para 3,5% de gordura.⁶Relação entre produção de leite e consumo de matéria seca.⁷Escore de condição corporal.⁸Peso corporal.

A inclusão de silagem de aveia preta aumentou o consumo de partículas menores do que 4 mm em comparação com a inclusão de silagem de soja ($P \leq 0,05$; Tabela 8). Os tratamentos não influenciaram o consumo de partículas maiores do que 19 mm, entre 19 e 8 mm e entre 8 a 4 mm ($P > 0,05$).

Tabela 8 - Índice de seleção de partículas de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.

Item	Tratamentos			EPM ¹	<i>P</i> ²
	SM	SA	SS		
Consumo (kg/d)					
>19 mm	0,991	1,004	0,999	0,007	0,417
19 – 8 mm	1,025	1,032	1,031	0,002	0,153
8 – 4 mm	1,033	1,034	1,034	0,003	0,942
< 4 mm	1,054ab	1,059a	1,049b	0,002	0,049

¹Erro padrão da média.²Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Houve tendência a maior concentração (%) de AGCR para a dieta com inclusão de silagem de soja em comparação com à dieta a base de silagem de milho, enquanto a dieta com inclusão de silagem de aveia preta apresentou valor intermediário ($P = 0,051$; Tabela 9). A inclusão de silagem de soja ou de aveia preta na dieta dos animais não influenciou a produção de AGCC, AGCR, o total de AGCC final, a concentração de AGCC, a relação acetato:propionato e o perfil de ácidos graxos ruminais ($P > 0,05$). Ademais, houve efeito de tempo para todas as variáveis analisadas, com exceção da concentração de isovalerato ($P = 0,155$) e a tendência ($P > 0,05$) para a relação acetato:propionato. Não houve interação tempo x tratamento nas variáveis analisadas, apenas tendência para as concentrações de $\text{NH}_3\text{-N}$ ($P = 0,087$).

Tabela 9 - pH ruminal, concentração de N-NH₃ e perfil de ácidos graxos voláteis (AGV) de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.

Item	Tratamentos			EPM ¹	<i>P</i> ^{2,3,4}		
	SM	SA	SS		TRAT	T	INT
pH	6,08b	6,21a	6,10ab	0,03	0,005	<0,001	0,828
NH ₃ -N (mg/dL)	14,29ab	13,22b	17,11a	1,12	0,032	<0,001	0,087
<i>AGCC</i> ⁵ (mmol/L)							
Acético	71,92	68,85	70,51	2,84	0,410	<0,001	0,495
Propiônico	23,98	22,44	23,40	1,26	0,317	<0,001	0,678
Butírico	15,83	14,85	15,67	0,97	0,122	<0,001	0,632
Isobutírico	1,00	0,98	1,09	0,06	0,386	<0,001	0,173
Valérico	1,67	1,61	1,74	0,09	0,578	<0,001	0,632
Isovalérico	2,11	2,17	2,24	0,15	0,549	0,155	0,625
AGCR ⁶	4,04	4,76	5,07	0,27	0,378	0,003	0,441
AGCC Total	111,65	106,15	109,57	4,91	0,273	<0,001	0,549
<i>AGCC</i> (%)							
Acético	64,55	65,01	64,6	0,62	0,539	<0,001	0,582
Propiônico	21,55	21,04	21,2	0,33	0,569	0,026	0,408
Butírico	14,00	13,96	14,17	0,46	0,401	<0,001	0,605
Isobutírico	0,92	0,95	1,00	0,05	0,122	<0,001	0,599
Valérico	1,46	1,50	1,58	0,05	0,245	<0,001	0,775
Isovalérico	1,92	2,07	2,08	0,10	0,178	<0,001	0,644
AGCR	4,30y	4,53xy	4,71x	0,14	0,051	<0,001	0,412
A:P ⁷	3,04	3,10	3,07	0,07	0,665	0,065	0,336

¹Erro padrão da média.

²Efeito de tratamento; efeito de tempo; efeito de interação entre tratamento e tempo. ³Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey. ⁴Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si e se referem à tendência para valores de P entre $\geq 0,05$ e $\leq 0,10$ (letras x e y).

⁵Ácidos graxos de cadeia curta.

⁶Ácidos graxos de cadeia ramificada.

⁷Relação acetato:propionato.

Fonte: Silva (2020).

O pH ruminal aumentou com a inclusão de silagem de aveia preta em relação ao uso exclusivo de silagem de milho ($P \leq 0,05$; Figura 1).

Figura 1 - Efeito da substituição parcial da silagem de milho por silagem de soja e silagem de aveia preta sobre o pH ruminal.

SM: Silagem de milho; SA: Silagem de aveia preta; SS: Silagem de planta inteira de soja; Probabilidades (P): Tratamento: $P = 0.015$; Tempo $P < 0.001$; Tratamento vs. Tempo: $P = 0.850$. Fonte: Silva (2020).

Houve aumento da concentração de nitrogênio amoniacal com a inclusão de silagem de soja em relação à inclusão de silagem de aveia preta ($P \leq 0,05$; Figura 2).

Figura 2 - Efeito da substituição parcial da silagem de milho por silagem de soja e silagem de aveia preta sobre o nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) no rúmen.

SM: Silagem de milho; SA: Silagem de aveia preta; SS: Silagem de planta inteira de soja; Probabilidades (P): Tratamento: $P = 0.033$; Tempo $P < 0.001$; Tratamento vs. Tempo: $P = 0.087$. Fonte: Silva (2020).

A inclusão de silagem de aveia preta reduziu o nível de nitrogênio ureico sérico em comparação com o uso da silagem de milho ($P \leq 0,05$; Tabela 10). Houve tendência ao aumento da eficiência de síntese de proteína microbiana para a dieta com inclusão de silagem de aveia preta em comparação com a silagem de soja ($P = 0,062$). Os tratamentos não afetaram os níveis de nitrogênio ureico do leite, de glicose sérica, as excreções de derivados de purina e a síntese de proteína microbiana ($P > 0,05$).

Tabela 10 - Nitrogênio ureico e glicose sérica e síntese de proteína microbiana de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.

Item	Tratamentos			EPM	$P^{1,2}$
	SM	SA	SS		
NUL ³ (mg/dL)	9,64	9,54	9,60	0,25	0,969
NUS ⁴ (mg/dL)	41,39a	38,76b	40,53ab	1,06	0,014
Glicose (mg/dL)	57,11	57,01	56,74	0,93	0,923
Excreção (mmol/d)					
Alantoína do leite	9,65	8,35	12,65	2,16	0,354
Alantoína da urina	419,03	420,50	390,39	28,00	0,438
Ácido úrico da urina	92,29	90,67	83,63	4,30	0,237
Derivados de purina	535,88	535,55	496,10	35,72	0,445
SPM ⁵ (kg/d)	1,76	1,76	1,63	0,11	0,445
Eficiência ⁶	0,097xy	0,110x	0,090y	0,007	0,062

¹Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si ($P < 0,005$) pelo teste de Tukey. ²Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si e se referem à tendência para valores de P entre $\geq 0,05$ e $\leq 0,10$ (letras x e y).

³Nitrogênio ureico do leite.

⁴Nitrogênio ureico sérico.

⁵Síntese de proteína microbiana

⁶SPM (kg/d) / digestibilidade matéria orgânica consumida (kg/d).

Fonte: Silva (2020).

O consumo de nitrogênio foi reduzido com a inclusão de silagem de planta inteira de soja e com a de silagem de aveia preta em comparação com a dieta a base de silagem de milho ($P \leq 0,05$; Tabela 11). Já a excreção de nitrogênio no leite foi reduzida com a inclusão de silagem de aveia preta em relação ao uso exclusivo de silagem de milho, enquanto a inclusão de SS não diferiu entre os tratamentos ($P \leq 0,05$). A dieta com uso exclusivo da silagem de milho apresentou a maior balanço de nitrogênio em relação a dieta com inclusão de silagem de aveia preta ($P \leq 0,05$). A excreção de nitrogênio fecal e urinário não foram influenciados pela inclusão de silagens alternativas à silagem de milho ($P > 0,05$).

Tabela 11 – Balanço de nitrogênio de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.

Item	Tratamento			EPM	$P^{1,2}$
	SM	SA	SS		
:Consumo N (g/d)	743,6a	690,3b	694,4b	16,43	<0,001
N fecal (g/d)	199,8	198,7	193,1	7,31	0,523
N urinário ³ (g/d)	178,9	180,1	159,8	11,41	0,157
N leite ⁴ (g/d)	168,7a	158,9b	164,1ab	3,90	<0,001
Balanço de N (g/d)	196,9a	152,6b	177,5ab	15,31	0,016

¹Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey. ²Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si e se referem à tendência para valores de P entre $\geq 0,05$ e $\leq 0,10$ (letras x e y).

³Nitrogênio ureico excretado na urina.

⁴Nitrogênio ureico excretado no leite.

Fonte: Silva (2020).

As inclusões de silagem de soja e de silagem de aveia preta aumentaram a atividade de ruminação e de mastigação dos animais em comparação com o uso de silagem de milho ($P \leq 0,05$; Tabela 12).

Tabela 1 - Comportamento ingestivo de vacas leiteiras alimentadas com diferentes fontes de forragem.

Item	Tratamentos			EPM	P ¹
	SM	SA	SS		
<i>Atividades (min/dia)</i>					
Ingestão de água	25,78	26,77	24,58	2,57	0,804
Ingestão de comida	309,01	316,35	317,08	7,94	0,668
Deitado	734,79	746,46	717,81	15,15	0,310
Em pé	204,62	185,10	212,81	13,24	0,313
Ruminando	529,53b	554,20a	543,37a	12,59	<0,001
Ócio ²	935,25	924,90	928,02	8,63	0,636
Mastigação ³	839,06b	871,25a	860,46a	16,65	0,029
<i>Atividade min/kg de FDN consumido</i>					
Ingestão de comida	32,08y	33,13xy	34,45x	1,39	0,099
Ruminando	54,87b	57,47ab	58,96a	1,84	0,002
Mastigação	87,00b	90,61ab	93,41a	3,01	0,004

¹Médias seguidas de letras na mesma linha diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

²Ócio: 24h – (tempo de ingestão de água + ingestão de comida + tempo de ordenha).

³Mastigação: tempo de ingestão de comida + tempo ruminando.

Fonte: Silva (2020).

Além disso, a inclusão de silagem de soja aumentou a atividade de ruminação e mastigação por kg de FDN ingerido em comparação com o uso de silagem de milho, enquanto a inclusão de silagem de aveia preta apresentou valores similares aos demais tratamentos ($P \leq 0,05$). Houve tendência para o aumento do tempo de consumo por kg de FDN consumido para a dieta contendo silagem de planta inteira de soja em relação à dieta com uso de silagem de milho exclusivo ($P = 0,099$). Os tratamentos não influenciaram no tempo em que os animais realizaram ingestão de água e de alimento, e no tempo em que se encontravam deitados ou em ócio ($P > 0,05$).

6 DISCUSSÃO

O consumo de MS diminuiu com a inclusão de SA e SS nas dietas. Resultados semelhantes foram encontrados por Vargas-Bello-Perez et al. (2008) e Ghizzi et al. (2020), que relataram redução no CMS com a inclusão de silagem de planta inteira de soja na dieta de vacas leiteiras. Além disso, dentre as silagens utilizadas neste experimento, a SS possui teor superior de EE quando comparada à SA e SM (44, 21,9 e 20,6 g/kg MS, respectivamente). O teor mais elevado de lipídeo na composição da forragem pode ter influenciado na redução do consumo de nutrientes, assim como relatado por Barletta et al. (2016). Ainda, foi relatado por Celis-Alvarez et al. (2016) redução do CMS de vacas leiteiras alimentadas com diferentes níveis de silagem de aveia e azevém na dieta em substituição à silagem de milho. Esta redução do CMS pode ser justificada pela menor qualidade da fibra da aveia em relação à do milho, e maiores teores de FDN em sua composição (577, 714 e 578 g/kg MS, para milho, aveia preta e soja, respectivamente), o que pode ter reduzido a taxa de passagem da digesta, aumentando o preenchimento ruminal e, conseqüentemente, reduzido o consumo (OBA e ALLEN, 1999). Segundo Waldo (1986), os teores de FDN da forragem influenciam o consumo de nutrientes. De acordo com os valores encontrados para o consumo de nutrientes associados à composição bromatológica de cada forragem ofertada, justifica-se a redução no consumo de FDN e no consumo de FDN em relação ao peso vivo para a dieta contendo silagem de planta inteira de soja, e menor consumo de EE pelos animais que receberam SA em suas dietas.

A digestibilidade total dos nutrientes não foi impactada pela inclusão de silagem de soja e de aveia preta à silagem de milho, exceto pela tendência de maior digestibilidade da PB para dieta SM em relação à dieta SA. Apesar da silagem de aveia preta apresentar quantidades inferiores de proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN; 10,7 e 14,1 g/kg MS, para aveia preta e milho, respectivamente), o que acarretaria em maior digestibilidade da PB para a dieta

SA, provavelmente, a maior degradabilidade dos nutrientes para a silagem de milho e menor para a silagem de aveia preta podem ter favorecido os resultados encontrados. Também leva-se em consideração que as plantas C3 tendem a apresentar maiores valores de lignina em sua composição (neste estudo: 80,2 e 74,5 g/kg MS para aveia preta e milho, respectivamente) e que, uma parte da proteína presente na planta pode estar associada à ela, fazendo que com a digestibilidade da PB seja inferior ou esteja menos disponível (Fukushima et al., 2000). Com exceção da digestibilidade da PB, os resultados deste estudo são semelhantes ao de Celis-Alvarez et al. (2016), que não encontraram diferenças na digestibilidade de silagens de milho e de aveia preta e azevém. Segundo Phillips et al. (1996), o desempenho de animais alimentados com silagem de aveia preta é usualmente menor que o obtido por animais alimentados com silagem de milho ou sorgo, devido à menor digestibilidade da fibra da aveia preta e ao menor consumo de MS dos animais.

Dependendo da qualidade da fibra da silagem de soja, essa leguminosa pode apresentar maior digestibilidade em relação à silagem de milho, como relatado por Baghdadi et al. (2016), ou menor digestibilidade, segundo Vargas-Bello-Perez et al., (2008) e Ghizzi et al., (2020). Porém, neste estudo as digestibilidades encontradas foram semelhantes para ambas as silagens, e estas diferenças de resultados podem ser explicadas por variações de acordo com o estágio vegetativo de colheita da forragem entre os estudos (SPANGHERO et al., 2015).

Apesar de encontrada maior degradabilidade da fração B da MS para a dieta SM e para a dieta SA, a degradabilidade efetiva nas taxas de passagem de 2, 5 e 7%/h de SA foram inferiores às degradabilidades efetivas de SM e SS. Assim como encontrado por Pires et al. (2006), provavelmente estes resultados se devam à maior quantidade de parede celular apresentada na forragem de aveia preta, ou seja, os elevados teores de FDN da planta resultou em menores quantidades de nutrientes a serem degradados juntamente com a MS, o que pode ter influenciado a queda do desempenho produtivo dos animais recebendo a dieta SA.

Em relação à degradabilidade do FDN, Mustafa et al. (2007) relatam que os maiores teores de lignina ou a maior extensão da ligação cruzada da lignina com carboidratos da parede celular da soja são possíveis razões para que se tenha menor degradação e, consequentemente, menor taxa de degradabilidade da FDN. Possivelmente, situação semelhante possa ter ocorrido neste estudo, uma vez que a degradabilidade da fração B e a taxa de degradabilidade efetiva do FDN nas taxas de passagem 2, 5 e 7%/h foram inferiores para SS quando comparada à SM e à SA. Partindo desta premissa da lignina, também vale ressaltar a participação da fração insolúvel C da SS, que se apresentou maior do que para as forragens de aveia preta e de milho.

Não foram encontradas diferenças na produção de leite entre as dietas SM e SS. Em contrapartida, a inclusão de SA reduziu a produção de leite. Segundo Ghizzi et al., (2020), a substituição de até 16% de SM por SS não afetou a produção de leite, concordando com os resultados deste estudo. Pode-se dizer que a inclusão de 16% de SS não afeta negativamente a produção de leite quando comparada à utilização de apenas silagem de milho e mantém a eficiência produtiva, podendo assim ser utilizada. Celis-Alvarez et al. (2016) reportou que a inclusão de 33%, 67% e 100% de silagem de aveia diminuiu a produção de leite das vacas. Resultados diferentes foram encontrados por Salgado et al. (2013), no qual a inclusão de silagem de aveia preta em substituição de 34% à silagem de milho aumentou a produção de leite. Essa diferença pode ser explicada devido ao fato de diferentes épocas de maturação da forragem de aveia preta entre os estudos, uma vez que os nutrientes disponíveis, como CNF, FDN, PB, EE e cinzas podem variar de acordo com a época de plantio e ponto de corte da forragem (FEROLLA et al., 2008). A degradabilidade da MS superior para silagem de milho e silagem de planta inteira de soja em relação à de aveia preta também acarretam em maior disponibilidade de nutrientes ao animal e, conseqüentemente, maior desempenho produtivo.

A produção de proteína do leite foi menor para os animais alimentados com silagem de aveia preta, o que pode ser explicado pelo menor CMS, pela tendência de maior digestibilidade de PB para as dietas SM e SS e pela degradabilidade da MS inferior para a silagem de aveia preta. As vacas tratadas com SM ingeriram mais nutrientes e, conseqüentemente, obtiveram maior concentração de nitrogênio disponível em nível ruminal, o que pode ter contribuído para síntese de proteína no leite.

O mesmo pode ter acontecido para os animais que receberam a dieta com inclusão de silagem de soja, pois segundo Muck (1987), silagens de leguminosas de alta qualidade contém bons valores de NNP (N não proteico) disponíveis. Em 19 ensaios realizados com silagens de alfafa, Broderick (1995) relata valores em torno de 54% de NNP da PB da forragem. De acordo com o autor, o NNP da forragem consiste em oligopeptídeos, aminoácidos livres, compostos de amônio e outras moléculas pequenas que contribuem rapidamente para o pool de amônia ruminal. Possivelmente, o acúmulo de PB na composição da soja contribuiu disponibilizando maiores teores de N e influenciando a maior síntese de proteína no leite. Partindo desta premissa, justifica-se o fato de que as concentrações de N-NH₃ ruminais encontradas neste estudo sejam superiores para a dieta SS em comparação às demais.

Desta forma, espera-se que os níveis séricos, ruminais e de excreção de N sejam superiores para as dietas contendo inclusão de silagem de planta inteira de soja quando comparada à dieta SA, e níveis superiores ou iguais quando comparados com a dieta SM. Neste

estudo, não foram encontradas diferenças para níveis sanguíneos de N e de N ureico excretado no leite para animais que receberam dietas SS e SM, assim como o balanço de N total. Para animais que receberam SA os níveis foram inferiores, o que pode ser explicado pelo menor consumo de nutrientes dos animais recebendo esta dieta.

Segundo Fukushima e Savioli (2011), embora as gramíneas, como o milho e a aveia preta, apresentem menor concentração de lignina em sua composição do que as leguminosas, aparentemente, a lignina das gramíneas pode inibir acentuadamente a digestão da forragem, por possuírem maior proporção de lignina ligada às células da parede celular da planta. Ainda, as variações histoquímicas e estruturais da aveia preta em comparação com o milho tem efeito importante no processo de digestão e, conseqüentemente, na absorção de nutrientes (ELIZALDE et al., 1992), o que provavelmente ocorreu com os animais recebendo a dieta SA.

Em relação à composição de leite, houve tendência ao aumento nos teores de gordura do leite dos animais alimentados com a dieta com silagem de aveia preta em comparação com a silagem de soja. Embora esteja relatado diminuição linear nos teores de gordura, proteína e lactose de acordo com o nível de inclusão de silagem de soja e a redução do consumo linear da dieta (GHIZZI et al., 2020), neste estudo, os animais recebendo a dieta SS apresentaram menor ingestão de FDN (kg/d) em relação à dieta SA, o que, acredita-se, possa ter levemente influenciado à tendência ao aumento dos teores de gordura secretados no leite. A produção de lactose do leite reduzida para as dietas SS e SA também está relacionada com a menor ingestão de nutrientes em comparação à dieta SM e, conseqüentemente, a menor excreção de sólidos no leite.

Foi observada pequena alteração no índice de seleção de partículas onde os animais que receberam a dieta com silagem de aveia preta selecionaram mais partículas < 4 mm em relação à dieta SS. Acredita-se que a seleção realizada pelos animais que receberam SA seja em função das características da mistura do trato total ofertado ou pela diferença no tamanho de partículas entre as forragens (tamanho de partículas < 19mm para SM, SA e SS, respectivamente: 80,4; 123 e 114). Desta forma, a presença de maiores partículas longas na silagem de aveia preta pode ter auxiliado os animais a selecionarem partículas menores. Ghizzi et al. (2020) não encontraram diferenças de seleção de partículas < 4 mm pelos animais recebendo diferentes níveis de inclusão de silagem de soja à dieta a base de silagem de milho. Provavelmente, os elevados teores de gordura na composição da soja podem ter contribuído para maior aderência das pequenas partículas às partículas maiores, estimulando os animais a ingerirem a dieta como um todo.

Os valores de pH ruminal encontrados foram menores para os animais alimentados apenas com silagem de milho como volumoso em relação àqueles alimentados com inclusão de silagem de aveia preta, provavelmente em decorrência do maior consumo de nutrientes da dieta SM em relação à dieta SA. A menor ingestão de nutrientes resultou em menor ingestão de carboidratos e, desta forma, manteve o pH ruminal mais elevado. Segundo Van Soest (1994), o nível de consumo, juntamente com a taxa de passagem, o tempo após a alimentação e a natureza da dieta tem efeito direto sobre o pH do rúmen. Berchielli et al. (2011) explicam que o pH ruminal pode variar de 5,5 a 7,2, sendo detectados valores mais baixos de pH após a alimentação dos animais com dietas ricas em concentrado.

Em contrapartida, a eficiência de SPM foi superior para a dieta com silagem de aveia preta em relação à dieta SS. Isto se justifica provavelmente porque, apesar de valores semelhantes de SPM para ambas as dietas, o pH ruminal da dieta com inclusão de silagem de aveia preta se manteve mais alto, criando ambiente ruminal ideal para melhor eficiência de síntese. Segundo Berchielli et al. (2011) valores de pH ruminal inferiores a 6,2 inibem a taxa de digestão e aumentam o tempo de colonização para a degradação da parede celular, reduzindo a síntese de proteína microbiana. Apesar de melhor eficiência com menor CMS com a inclusão de silagem de aveia preta, as características da forrageira utilizada neste estudo não se mostraram suficientes para impedir a queda do desempenho produtivo.

Os animais apresentaram maior tempo de mastigação e de ruminação, tanto para a dieta com inclusão de silagem de aveia preta como para de planta inteira de soja em relação à dieta a base de silagem de milho. Provavelmente os animais recebendo a dieta com inclusão de silagem de aveia preta passaram mais tempo mastigando e ruminando devido aos teores elevados de FDN presentes na silagem. Zebeli et al., (2006) ao analisarem quantitativamente a ingestão de FDN nas respostas fisiológicas de vacas leiteiras, relatam que parâmetros como pH ruminal, digestibilidade da fibra e atividades (como ruminação e mastigação) são mais sensíveis e estão mais relacionados aos teores de FDN ingeridos pelo animal.

Além da composição bromatológica, acredita-se que as características, a anatomia e a composição estrutural das forragens também possam ter influenciado. As maiores concentrações de FDN, associada à colheita da aveia preta em ciclo tardio e à presença da estrutura “arranjo Kranz” podem justificar a necessidade do animal em passar mais tempo quebrando fisicamente a fibra da silagem de aveia preta. De acordo com Akin (1989) e Stryer (1996), a presença da estrutura conhecida como “complexo Kranz” nas gramíneas (que incluem o milho e a aveia preta) pode acarretar em maior tempo de ingestão, mastigação e de ruminação do animal, buscando maior degradação física da gramínea.

Os animais que receberam SS apresentaram maior tempo para ingestão de alimentos, ruminação e mastigação por kg de FDN ingerido em comparação com a silagem de milho. Ghizzi et al. (2020) demonstraram que os animais passaram mais tempo ruminando de acordo com o nível de inclusão de silagem de planta inteira de soja na dieta, provavelmente devido a maior presença de partículas maiores da SS em relação à silagem de milho e, também, pela menor digestibilidade de FDN. Neste estudo, os teores de lignina encontrados para silagem de soja foram superiores às demais forrageiras (74,5; 80,2 e 130 g/kg MS, para milho, aveia preta e soja, respectivamente). Segundo Van Soest (1994), mesmo que apresentem baixos teores de parede celular, as leguminosas geralmente apresentam altos teores de lignina. Possivelmente, a maior concentração de lignina na silagem de planta inteira de soja possa ter influenciado na taxa de passagem, tornando-a mais lenta, ocasionando preenchimento ruminal e acarretando em maior necessidade de quebra física do material e, conseqüentemente, aumentando o tempo de mastigação e ruminação (OBA e ALLEN, 1999).

Os resultados do presente estudo demonstraram que houve redução do CMS com a inclusão de forrageiras alternativas à silagem de milho e, no caso da inclusão de silagem de aveia preta, queda na produção. Em relação a esta forrageira, provavelmente a redução do consumo está associada à qualidade da fibra da forragem. A colheita da aveia preta em ciclo tardio de 134 dias pode ter acarretado em maiores concentrações de FDN em sua composição, o que, conseqüentemente, reduziu a qualidade da forragem, tornou-a menos degradável e com menor quantidade de nutrientes disponíveis aos animais, reduzindo assim o desempenho produtivo.

O menor consumo de nutrientes com níveis produtivos semelhantes para os animais recebendo dieta com inclusão de silagem de soja em relação à dieta com silagem de milho exclusivo indicam a boa qualidade da fibra desta leguminosa. Mesmo com maiores teores de extrato etéreo e lignina em sua composição, a inclusão de 16% da silagem na fração volumosa da dieta de vacas leiteiras foi eficiente no aporte de nutrientes disponíveis para manterem os níveis produtivos, podendo ser recomendada.

7 CONCLUSÃO

De acordo com nossa hipótese, a substituição parcial de silagem de milho por silagem de planta inteira de soja ou de aveia preta não altera o consumo e o desempenho produtivo dos animais. Diante dos nossos resultados, a silagem de aveia preta, nas condições bromatológicas deste estudo, alterou o consumo e se mostrou com baixo valor nutritivo, prejudicando o desempenho produtivo dos animais. Por sua vez, a substituição parcial de silagem de milho por silagem de planta inteira de soja

também alterou o consumo dos animais, porém apresentou adequados valores nutritivos para que não houvesse alterações no desempenho produtivo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIN, D.E. Histological and physical factors affecting digestibility of forages. **Agron J.** 81:17-25. 1989.

AKIN, D.E. Section to slide technique for study of forage anatomy and digestion. **Crop Sci.** 22:444-6. 1982.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** 15. ed. Arlington: AOAC. p. 1298. 1990.

BAGGIO, C. **et al.** Padrões de uso do tempo por novilhos em pastagem consorciada de azevém anual e aveia-preta. **Revista Brasileira de Zootecnia.** Viçosa. MG. Vol. 37. n. 11 (nov. 2008). p. 1912-1918. 2008.

BAGHDADI, A. **et al.** Fermentation characteristics and nutritive value of corn silage intercropped with soybean under different crop combination ratios. **The J. Anim. Plant Sci.** 427 26:1710–1717. 2016.

BARLETTA, R.V. **et al.** High levels of whole raw soya beans in dairy cow diets: digestibility and animal performance. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 100, n. 6, p. 1179-1190, 2016.

BARLOW. J. S.; BERNARD. J. K.; MULLIS. N. A. Production response to corn silage produced from normal. brown midrib. or waxy corn hybrids. **Journal of dairy science.** v. 95. n. 8. p. 4550-4555. 2012.

BENCHAAR, C. **et al.** Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows. **Journal of dairy science**, v. 89, n. 11, p. 4352-4364, 2006.

BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de ruminantes.** 2^a ed. Jaboticabal: Funep. 616 p. 2011

BERGMAN, E.N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiological Reviews**, 70:567, 1990.

BERNARDES. T. F.; SCHMIDT. P.; DANIEL. J. L. P. An overview of silage production and utilization in Brazil. 2015. Piracicaba - SP. **Proceedings...XVII Internacional Silage Conference**. p. 123-144. 2015.

BERNARDES. T. F.; DO RÊGO. A. C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**. v. 97. n. 3. p. 1852-1861. 2014.

BHANDARI. S. K. **et al.** Effects of the chop lengths of alfalfa silage and oat silage on feed intake, milk production, feeding behavior, and rumen fermentation of dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v. 91. n. 5. p. 1942-1958. 2008.

BOWSHER, C., STEER, M.; TOBIN, A. Photosynthetic carbon assimilation. In: **Plant biochemistry**. New York, NY: Garland Science. p. 93-141. 2008.

BRITO, C.J.F.A., DESCHAMPS, F.C. Caracterização anatômica em diferentes frações de cultivares de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.). **Rev Bras Zootec**. 30:1409- 17. 2001.

BRODERICK. G.A.; CLAYTON. M.K. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. **Journal of Dairy Science**. v. 80. p. 2964-2971. 1997.

BRODERICK. G.A.; KANG. J.H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid in vitro media. **Journal of Dairy Science**. v. 63. p. 64-75. 1980.

BRODERICK, G. A. Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminants. **J. Anim. Sci.** 73:2760–2773. 1995.

BUENO, I. C. S. **Cinética digestiva e síntese microbiana ruminal em ovinos alimentados com feno de três qualidades distintas**. 2002. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” (ESALQ/USP), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 10 de fev. de 2002.

- CAMPOS, F. P. **et al.** Degradabilidade do capim-elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método in vitro de produção de gás. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 2, p. 217-225, 2002.
- CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. Organização dos tecidos de plantas forrageiras e suas implicações para os ruminantes. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, p. 13-28, 2008.
- CASALI, A. O. **et al.** Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.37. n.2. p.335- 342. 2008.
- CASTELLS, L.I. **et al.** Effect of different forage sources on performance and feeding behavior of Holstein calves. **Journal of Dairy Science**. v. 95. n. 1. p. 286-293. 2012.
- CASTRO, H.; ANDREO, N. T. **Evaluacion del silage de soja como suplemento proteico en dietas de terminacion a corral de novillos holando**, 2008.
- CELIS-ALVAREZ, M.D. **et al.** Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 6, p. 1129-1134, 2016.
- CHEN, L. **et al.** The effects of replacement of whole-plant corn with oat and common vetch on the fermentation quality, chemical composition and aerobic stability of total mixed ration silage in Tibet. **Animal Science Journal**, v. 86, n. 1, p. 69-76, 2015.
- CHEN, X. B.; GOMES, M. J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives - an overview of technical details. (Occasional publication) **INTERNATIONAL FEED RESEARCH UNIT**. Bucksburnd. Aberdeen:Rowett Research Institute. p. 21. 1992.
- CHIZZOTTI, M.L. **Avaliação da casca de algodão para novilhos de origem leiteira e determinação da excreção de creatinina e produção de proteína microbiana em novilhas e vacas leiteiras**. 2004. 132 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa (UFV). Minas Gerais: 2004.
- CHIZZOTTI, M.L. **et al.** Determination of creatinine excretion and evaluation of spot urine sampling in Holstein cattle. **Livestock Science** 113, 218–225. 2008.

COFFEY. K.P.; GRANADE. G.V.; MOYER. J.L. In vitro digestibility and preference by sheep for silages made from whole-plant soybeans. **The Professional Animal Scientist**. 11:81-87. 1995.

DAVID, D.B. **et al.** Nutritional value of black and white oat cultivars ensiled in two phenological stages. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39. n. 7. p. 1409-1417. 2010.

EDMONSON. A.J. **et al.** A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v. 72. n. 1. p. 68-78. 1989.

EICHELBERGER, L; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Efeitos da inclusão de níveis crescentes de forragem de soja e uso de inoculante na qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, p.867-874, 1997.

ELIZALDE, J.C; REARTE, D.H.; SANTINI, F.J. Corn silage supplementation of cows grazing winter oats. Dynamics of digestion and ruminal environment. **Animal feed science and technology**, v. 38, n. 2-3, p. 161-174, 1992.

EVANGELISTA. A. R.; RESENDE. P. M.; MACIEL. G. A. **Uso da soja [*Glycine max (L.) Merrill*] na forma de forragem**. Lavras: UFLA. p. 36. 2003.

FEROLLA, F.S. **et al.** Composição bromatológica e fracionamento de carboidratos e proteínas de aveia-preta e tritcale sob corte e pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 37. n. 2. p. 197-204. 2008.

FERRARI JÚNIOR, E. **et al.** Características agronômicas. composição química e qualidade de silagem de oito cultivares de milho. **Boletim de Indústria Animal**. v. 62. n. 1. p. 19-27. 2005.

FERRAZZA, J.M. **et al.** Dinâmica de produção de forragem de gramíneas anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. **Ciência Rural**. v. 43. n. 7. p. 1174-1181. 2013.

FONTANELI. R.S. **et al.** Rendimento e valor nutritivo de cereais de inverno duplo propósito: forragem verde e silagem ou grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.38. n.11. p.2116-2120. 2009.

FONTANELI, R.S. **et al.** Ensilagem de cereais de inverno: biomassa e valor nutritivo. **Anais.... REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE**. 5.. 2011. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 2011.

FUJIHARA, S.; YAMAGUCHI, M. Effects of allopurinol 4-hydroxypyrazolo(3.4-d)pyrimidine on metabolism of allantoin in soybean plants. **Plant Physiology**. v. 62. n. 1. p. 134-138. 1978.

FUKUSHIMA, R.S. **et al.** Extração da lignina e emprego da mesma em curvas de calibração para a mensuração da lignina em produtos vegetais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 5, p. 1302-1311, 2000.

FUKUSHIMA, R.S.; SAVIOLI, N.M.F. Correlação entre digestibilidade In vitro da parede celular e três métodos analíticos para a avaliação quantitativa da lignina. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 30. n. 2. p. 302-309. 2001.

GHIZZI, L.G. **et al.** Partial replacement of corn silage with soybean silage on nutriente digestibility, ruminal fermentation and milk fatty acid profile of dairy cows. **Animal Feed Science and Techonology**. Accepted for publication on 24 april 2020.

GOBETTI, S. T. C. **et al.** Produção e Utilização da silagem de planta inteira de soja (*Glicine max*) para ruminantes. **Ambiência**. v.7. n. 3. p. 603-616. 2011.

GONZALEZ, H.L. **et al.** Milk quality of Jersey cows kept on winter pasture supplemented or not with concentrate. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 38. n. 10. p. 1983-1988. 2009.

GONZALEZ-RONQUILLO, M. **et al.** Purine derivative excretion in dairy cows: Endogenous excretion and the effect of exogenous nucleic acid supply. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 4, p. 1282-1291, 2003.

GRIFFIN, T. Soybean silage as an alternative silage. 2000.
In:http://www.umaine.edu/livestock/Publications/soybean_silage.htm (Consultado em 18/10/2019).

HALL, M. B. **et al.** A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 79. n. 15. p. 2079-2086. 2000.

HENDRIX, D.L. Rapid Extraction and Analysis of Nonstructural Carbohydrates in Plant Tissues. **Crop Science** **33**, 1306–1311. 1993.

HUHTANEN, P., KAUSTELL, K., JAAKKOLA, S. The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. **Anim. Feed Sci. Technol.** **48**, 211–227. 1994

HUNGRIA. M.; CAMPO. R. J.; MENDES. C. I. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Circular Técnica 35**. Londrina – PR. EMBRAPA Soja. p. 48. 2001.

ISHLER, V.; HEINRICHS, J.; VARGA, G. From feed to milk: Understanding rumen function. **Extesion Circular 422**. 2000.

JUNG, H.G. Forage digestibility: The intersection of cell wall lignification and plant tissue anatomy. Em: **Anais do III Simpósio Internacional Avanços em técnicas de pesquisa em nutrição de ruminantes**. 2011. Pirassununga – SP. v. 1, cp. 6, p. 137-160.

KHAN, N.A. **et al.** Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 95. n. 2. p. 238-252. 2015.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; BUCKMASTER, D. R. Modification of the Penn State Particle Separator and the effects of moisture content on its measurements. **Journal of Dairy Science**. v. 86. p. 1858– 1863. 2003.

KOZLOSKI, G.V. Bioquímica dos ruminantes. Santa Maria: Editora UFSM. 2002. 139p.

LEMPP. B.; MORAIS. M. G.; SOUZA. L. C. F. Produção de milho em cultivo exclusivo ou consorciado com soja e qualidade de suas silagens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 52. n. 3. p. 243-249. 2000.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 57, n. 4, p. 347-358, 1996.

LIMA, J. A. **et al.** Soybean silage and sugarcane tops silage on lamb performance. **Ciência Rural**. 2013.

MACEDO JÚNIOR, G. L. M. **et al.** Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes. **Ciência Animal**, v. 17, n. 7, 2007.

MARTÍNEZ-GARCÍA, C.G. **et al.** Effect of different combinations of soybean-maize silage on its chemical composition, nutrient intake, degradability, and performance of Pelibuey lambs. **Tropical Animal Health and Production**, v.47, p.1561–1566, 2015.

MCDUGALL, E. I. Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical journal**, v. 43, n. 1, p. 99, 1948.

MEINERZ, G.R. **et al.** Silagem de cereais de inverno submetidos ao manejo de duplo propósito. **Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**. 2011.

MELLO FILHO, O.L. **Avaliação de variedades e progênie de soja para a produção de silagem**. 2006. 72p. Tese de Doutorado (Genética e Melhoramento) - Universidade Federal Viçosa, Viçosa, 2006.

MENDES, I. C. **et al.** Adubação nitrogenada suplementar tardia na soja cultivada em latossolo do cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** **187**. Planaltina – DF. EMBRAPA Cerrados. p. 18. 2007.

MERTENS, D. R. Formulating dairy rations: using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: **Information conference with dairy and forage industries**. Madison: US Dairy Forage and Research Center, 1996.

MERTENS, D.R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: Simpósio Internacional de Bovinocultura Leiteira. 2.. 2001. Lavras. **Anais do 2º Simpósio Internacional em Bovinocultura Leiteira**. Lavras:UFLA-FAEPE. p.25-36. 2001.

MUCK, R. E. Dry matter level effects on alfalfa silage quality. 1. Nitrogen transformations. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 30:7. 1987.

MUÑOZ, A.; HOLT, E.; WEAVER, R. Yield and quality of soybean hay as influenced by stage of growth and plant density. **Agronomy Journal**. 75. p.147-149. 1983.

MUSTAFA, A.F. **et al.** Chemical composition, ensiling characteristics and ruminal degradability of forage soybean cultivars. **Canadian journal of animal science**, v. 87, n. 4, p. 623-629, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), 2001. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**, 7th revised edition. National Academic Science, Washington, DC, USA.

NOCEK, J. E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility. A review. **Journal of Dairy Science**. v. 71. p. 2051-2069. 1988.

OBA, M.; M. S. ALLEN. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. **J. Dairy Sci.** 1999.

OBEID, J. A. **et al.** Silagem consorciada de milho (*Zea mays*, L.) com leguminosas: produção e composição bromatológica. **Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 21, n. 1, p. 33-38. 1992.

OLIVEIRA, A.S. **et al.** Meta-análise do impacto da fibra em detergente neutro sobre o consumo, a digestibilidade e o desempenho de vacas leiteiras em lactação. **R. Bras. Zootec.** v. 40, n. 7, p. 1587-1595. 2011.

ORSKOV, E. R.; MCDONALD, I. The estimate of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **J. Agric. Sci. (Camb.)** 1979.

PAZIANI, S.F. **et al.** Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 411-417, 2009.

PEREIRA, E.S. **et al.** Avaliação da qualidade nutricional de silagens de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Caatinga**, Mossoró, RG, v. 20, n.3, p. 08-12. 2007.

PEREIRA, O.G. **et al.** Otimização de dietas à base de silagem de soja. **Anais do VI Simpósio de Produção de Gado de Corte**, v.1, p. 213-243. Viçosa/MG. Maio/2008.

PEREIRA FILHO, I.A. O cultivo do milho verde. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**. 217p. 2002.

PHILLIPS, W. A. **et al.** Annual cool-season grasses. **Cool-Season Forage Grasses**, v. 34, p. 781-802, 1996.

PINTO, A.P. **et al.** Avaliação da silagem de bagaço de laranja e silagem de milho em diferentes períodos de armazenamento. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 29, n. 4, p. 371-377. 2007.

PIRES, A.J.V. **et al.** Degradabilidade ruminal da matéria seca, da fração fibrosa e da proteína bruta de forrageiras. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 4, p. 643-648, 2006.

QUEIROZ, D.S.; GOMIDE, J. A.; MARIA J. Avaliação da folha e do colmo de topo e base de perfilhos de três gramíneas forrageiras. 2. Anatomia. **Rev Bras Zootec.** 2000; 29:61-8.

RAMÍREZ-MELLA, M. **et al.** Productive response of grazing dairy cows to fresh chopped maize supplementation under a small farming system in the Mexican Highlands. **Tropical animal health and production**, v. 42, n. 7, p. 1377-1383, 2010.

REIS, R.A. **et al.** Avanços recentes na ensilagem de milho e gramíneas tropicais. **SIMPÓSIO INTERNACIONAL AVANÇOS EM TÉCNICAS DE PESQUISA EM NUTRIÇÃO DE RUMINANTES**. v. 1. cp. 7. p. 161-180. 2011.

RODRIGUES, A.A. **et al.** Efeito do pastejo restringido em aveia preta sobre a produção de leite. Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**. 32.. 1995. Brasília. Anais... Brasília: SBZ. 1995.. 1995.

ROSA, J.R.P. **et al.** Avaliação do comportamento agrônomo da planta e valor nutritivo da silagem de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*. L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 33. n. 2. p. 302-312. 2004.

SÁ, J.P.G. Utilização da aveia na alimentação animal. **Londrina: IAPAR Circular**. v.87. 20 p. 1995.

SAS Institute. 2011. SAS/STAT 9.4 User's Guide. No. Cary, NC. SAS Institute Inc., Cary, NC.

SALGADO, P. **et al.** Oats (*Avena strigosa*) as winter forage for dairy cows in Vietnam: an on-farm study. **Tropical animal health and production**. v. 45. n. 2. p. 561-568. 2013.

SEDIYAMA. T. **et al.** Cultivar de Soja para Cerrado do Brasil Central. **Revista Ceres**. v. 32. n. 184. p. 525-530. 1985.

SHEAFFER. C.C. **et al.** Yield and quality of forage soybean. **Agronomy Journal**. 93:99-106. 2001.

SILVA. T.H. **et al.** Effects of dietary fibrolytic enzymes on chewing time, ruminal fermentation and performance of mid-lactating dairy cows. **Animal Feed Science and Technology** 221, 35–43. 2016.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador. 235p. 2002.

SILVEIRA, C. **et al.** Selection of Barley Grain Affects Ruminal Fermentation, Starch Digestibility, and Productivity of Lactating Dairy Cows. **J. Dairy Sci.** 90, 2860–2869. 2007.

SKLAN, D. **et al.** Fatty Acids, Calcium Soaps of Fatty Acids, and Cottonseeds Fed to High Yielding Cows. **J. Dairy Sci.** 75, 2463–2472. 1992.

SOUZA, L. A. **et al.** Avaliação de diferentes alturas de corte na ensilagem de milho. **PUBVET**, v. 14, p. 128, 2019.

SPANGHERO, M. **et al.** Effects of plant vegetative stage and field drying time on chemical composition and in vitro ruminal degradation of forage soybean silage. **Animal Feed Science and Technology**. 2015.

STELLA, L.A. **et al.** Composição química das silagens de milho e sorgo com inclusão de planta inteira de soja. **Boletim de Indústria Animal**. v. 73. n. 1. p. 73-79. 2016.

STRYER, L. **Bioquímica**. 4º ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1996.

TOUNO, E. **et al.** Evaluation of feeding value of forage soybean silage as a substitute for wheat bran in sheep. **Animal Science Journal**, v.85, p.46–52, 2014.

UENO. R.K. **et al.** Dinâmica dos nutrientes do solo em áreas destinadas à produção de milho para forragem. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**. v.4. n.1. p.182-203. 2011.

UNDERSANDER, D., MERTENS, D. R., THEIX, N. Forage Analysis. In: National Forage Testing Association, USA. National Forage Testing Association, Omaha, NE, p. 139. 1992.

UNDERSANDER, D., JAREK, K., ANDERSON, T. A guide to making soybean silage. **Forage and Grazinglands**, v. 5, n. 1, p. 0-0, 2007.

VALADARES. R.F.D. **et al.** Effect of replacing alfafa of silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. **Journal of Dairy Science**. v.82. n.12. p.2686:2696. 1999.

VALADARES FILHO. S.C.; MACHADO. P.A.S.; CHIZZOTTI. M.L. CQBAL 3.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos. Disponível em www.ufv.br/cqbal. Acesso em 15 de agosto de 2018.

VALENTE, T.N.P. **et al.** Anatomia de plantas forrageiras e a disponibilidade de nutrientes para ruminantes: revisão. **Veterinária e Zootecnia**, p. 347-358, 2011.

VAN SOEST, P. J.; MASON, V. C. The influence of Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. **Animal Feed Science and Technology**. v.32. n.1. p. 45-53. 1991.

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

VARGAS-BELLO-PÉREZ, E.; MUSTAFA, A. F.; SEGUIN, P. Effects of feeding forage soybean silage on milk production, nutrient digestion, and ruminal fermentation of lactating dairy cows. **Journal of dairy science**. v. 91. n. 1. p. 229-235. 2008.

VON PINHO, R.G. **et al.** Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**. v. 66. n. 2. p. 235-245. 2007.

WALDO, D. R. 1986. Effect of forage quality on intake and forage concentrate interactions. **J. Dairy Sci.** 69:617–631.

WILLMS, C. L. Drought Contingency Plan: Using Soybeans as Forage – Silage or Hay. 2003. P.A.S. http://www.beeflinks.com/soybean_silage.htm (Consultado em 29/01/2020).

WILLIAMS, B. A. Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. **Forage evaluation in ruminant nutrition**, p. 189-213, 2000.

WILSON, J.R. Structural and anatomical traits of forages influencing their nutritive value for ruminants. In: **Anais do Simpósio Internacional sobre Produção Animal em Pastejo**. Viçosa. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1997. p. 173-208. 1997.

WILSON, J.R.; BROWN, R.H.; WINDHAM, W.R.; Influence of leaf anatomy on the dry matter digestibility of C3, C4 and C3 / C4 intermediate types of Panicum species. **Crop Science**. 1983; 23:141-6.

ZEBELI, Q. **et al.** Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 2, p. 651-668, 2006.