

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE
MILHO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE

Autor: Igor Quirrenbach de Carvalho
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim
Coorientador: Prof. Dr. Júlio Cesar Damasceno

MARINGÁ
Estado do Paraná
novembro – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE
MILHO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE

Autor: Igor Quirrenbach de Carvalho
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim
Coorientador: Prof. Dr. Júlio Cesar Damasceno

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de Concentração Pastagens e Forragicultura

MARINGÁ
Estado do Paraná
novembro – 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C331t	<p>Carvalho, Igor Quirrenbach de Tecnologia da produção de silagem de milho em sistemas de produção de leite/. -- Maringá, 2013. 82 f. il. : figs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Pastagens e Forragicultura, 2013.</p> <p>1. Silagem do milho. 2. Produção de leite. 3. Dieta. 4. Compactação. 5. Perdas. I. Jobim, Clóves Cabreira, orient. II. Damasceno, Júlio Cesar, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Área de Concentração Pastagens e Forragicultura. IV. Título.</p> <p>CDD 22. ED.636.0862</p>
-------	--



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE MILHO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE LEITE

Autor: Igor Quirrenbach de Carvalho
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim

TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Pastagem e
Forragicultura

APROVADA em 14 de novembro de 2013.

Prof. Dr. Geraldo Tadeu
dos Santos

Prof.ª Dr.ª Paula Adriana Grande

Prof. Dr. João Ricardo
Alves Pereira

Prof. Dr. Éder Paulo Fagan

Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

À Universidade Estadual de Maringá, pela possibilidade de realizar este curso.

Ao Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim, pela orientação, ensinamentos, incentivo e amizade.

Ao Prof. Dr. Júlio Cesar Damasceno, pela coorientação, auxílio com as análises multivariadas e interpretação dos resultados.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UEM, pelos valiosos ensinamentos.

À empresa Fundação ABC, pela oportunidade oferecida e apoio para a realização deste trabalho.

Aos colegas de trabalho que auxiliaram na realização dos trabalhos de campo, laboratório e correções da tese.

Aos técnicos das cooperativas Capal, Batavo e Castrolanda, pelo apoio e fornecimento de dados.

À Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa, pelo fornecimento de dados.

Aos colegas de curso, pela amizade, apoio e espírito de equipe.

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

BIOGRAFIA

IGOR QUIRRENBACH DE CARVALHO, filho de Mauro Luiz de Carvalho e Gertrud Quirrenbach de Carvalho, nasceu em Ponta Grossa, Paraná, no dia 5 de fevereiro de 1980.

Em dezembro de 1997, concluiu o curso Técnico em Agropecuária pelo Colégio Instituto Cristão.

Em maio de 2004, concluiu o curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Paraná.

Em setembro de 2004, foi contratado pela empresa Fundação ABC, onde exerce a função de pesquisador e coordenador do Setor de Forragicultura.

Em junho de 2007, obteve o título de Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Em março de 2010, iniciou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, área de concentração Pastagens e Forragicultura, na Universidade Estadual de Maringá, realizando estudos na área de conservação de forragens.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
I – INTRODUÇÃO	1
1.1 A silagem	2
1.2 Vantagens da produção de silagem	3
1.3 Cuidados na produção de silagem	3
1.4 Fermentação da silagem	4
1.4.1 Fase 1 – Fase aeróbia inicial	4
1.4.2 Fase 2 – Fase de fermentação	4
1.4.3 Fase 3 – Fase estável	5
1.4.4 Fase 4 – Fase de retirada	6
1.5 Silagem de milho	6
1.6 O cultivo do milho para silagem	7
1.6.1 Adubação	8
1.6.2 Escolha do híbrido	8
1.6.3 População de plantas e espaçamento entre fileiras	9
1.6.4 Controle de doenças das plantas	9
1.7 O processo de ensilagem	10
1.7.1 Teor de matéria seca	10
1.7.2 Tamanho de partículas	12
1.7.3 Densidade da silagem	15

1.7.4 Aditivos	17
1.7.5 Vedação	18
1.7.6 Desensilagem	20
1.8 Perdas de silagem	20
1.8.1 Perdas de matéria seca	20
1.8.2 Temperatura da silagem	22
1.8.3 Perdas por efluente	23
Referências	24
II – OBJETIVO GERAL	31
III – PERDAS FÍSICAS EM SILAGEM DE MILHO EM RELAÇÃO À TECNOLOGIA DE ENSILAGEM, QUALIDADE DA SILAGEM, DIETA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DO LEITE	32
Resumo	32
Abstract	33
Introdução	34
Material e Métodos	35
Resultados e Discussão	37
Conclusões	43
Referências	44
IV – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA SILAGEM DE MILHO EM RELAÇÃO À TECNOLOGIA DE ENSILAGEM, QUALIDADE DA SILAGEM, DIETA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DO LEITE	48
Resumo	48
Abstract	49
Introdução	50
Material e Métodos	51
Resultados e Discussão	53
Conclusões	61
Referências	62
V – ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE SILAGEM DE MILHO NA REGIÃO CENTRO- ORIENTAL PARANAENSE	65
Resumo	65

Abstract	66
Introdução	67
Material e Métodos	68
Resultados e Discussão	71
Conclusões	77
Referências	78
VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

LISTA DE TABELAS

		Página
I – INTRODUÇÃO		
Tabela 1	Potencial de produção de massa e grãos, conforme graus de maturidade da planta de milho	11
Tabela 2	Distribuição adequada de partículas nas peneiras Penn Stat	15
Tabela 3	Estimativas de perdas de silagem na colheita, armazenamento e Utilização	21
III – PERDAS FÍSICAS EM SILAGEM DE MILHO EM RELAÇÃO À TECNOLOGIA DE ENSILAGEM, QUALIDADE DA SILAGEM, DIETA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DO LEITE		
Tabela 1	Frequência e magnitude das perdas de silagem	37
Tabela 2	Teste Exato de Fisher (Qui-quadrado χ^2) para relacionar as tecnologias de ensilagem com as perdas de silagem	38
Tabela 3	Frequência de perdas pela camada deteriorada de silagem abaixo da lona em função do tipo de silo, cobertura da lona e retirada da silagem	38
Tabela 4	Frequência de perdas por descarte de silagem em função do tipo de máquina empregada na colheita do milho	39
Tabela 5	Correlação entre os agentes de perdas com as características físicas e químicas da si.....	40
Tabela 6	Correlação entre os agentes de perdas com as dietas fornecidas aos animais, produção e qualidade do leite	42

IV – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA SILAGEM DE MILHO EM RELAÇÃO À TECNOLOGIA DE ENSILAGEM, QUALIDADE DA SILAGEM, DIETA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DO LEITE

Tabela 1	Teor de matéria seca e características físicas de silagens de milho ...	53
Tabela 2	Probabilidade dos efeitos ($P>F$) das tecnologias de ensilagem sobre as características físicas da silagem pela análise de variância múltipla	54
Tabela 3	Efeito do tipo de máquina utilizada na colheita sobre as características físicas da silagem	54
Tabela 4	Correlações entre as características físicas em silagens de milho. Coeficientes de determinação e nível de significância	56
Tabela 5	Correlações entre as características físicas e químicas das silagens de milho. Coeficientes de determinação e nível de significância	57
Tabela 6	Correlações entre as características físicas das silagens e composição das dietas para vacas em lactação. Coeficientes de determinação e nível de significância	59
Tabela 7	Correlações entre as características físicas das silagens com a produção e qualidade do leite. Coeficientes de determinação e nível de significância	60

V – ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE SILAGEM DE MILHO NA REGIÃO CENTRO- ORIENTAL PARANAENSE

Tabela 1	Variáveis coletadas, descrição, frequência e coeficientes de variação observados em 108 silos	71
Tabela 2	Coeficientes de correlação entre as variáveis e dois componentes principais	72
Tabela 3	Variáveis físicas e químicas das silagens de milho para cada grupo de silos	75
Tabela 4	Características do sistema de produção, composição da dieta, produção e composição do leite relativo aos grupos de silos	76

LISTA DE FIGURAS

	Página
I – INTRODUÇÃO	
Figura 1 Fases de uma fermentação normal da silagem	5
IV – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA SILAGEM DE MILHO EM RELAÇÃO À TECNOLOGIA DE ENSILAGEM, QUALIDADE DA SILAGEM, DIETA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DO LEITE	
Figura 1 Densidade da matéria seca (DEMS) conforme o tipo de silo	55
Figura 2 Densidade da matéria seca (DEMS) conforme a forma de desensilagem	55
V – ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE SILAGEM DE MILHO NA REGIÃO CENTRO- ORIENTAL PARANAENSE	
Figura 1 Distribuição espacial dos silos de acordo com dois componentes principais	73

RESUMO

Objetivou-se identificar os sistemas de produção e os fatores que afetam a qualidade da silagem, a dieta dos animais, a produção e a qualidade do leite. Foram coletadas amostras de silagens de milho de 108 silos em propriedades da região Centro-oriental paranaense, sendo obtidas informações referentes à lavoura, processo de ensilagem, características dos silos, dietas dos animais, produção e qualidade do leite. As perdas de silagem foram avaliadas de forma qualitativa para camada superficial deteriorada, descarte de silagem e efluente. As avaliações físicas realizadas na silagem foram densidade da matéria natural (DEM_N), densidade da matéria seca (DEM_S), teor de matéria seca (MS) e tamanho de partículas. As perdas por efluentes foram maiores em silagens com menor teor de matéria seca. Houve maiores perdas por camada deteriorada quando os silos eram do tipo superfície, não houve cobertura da lona com terra e a retirada da silagem foi realizada por trator com concha. Os maiores descartes de silagem ocorreram quando a colheita foi realizada com máquina automotriz, o tamanho de partículas era maior e a densidade da silagem menor. Não houve relação das perdas com a composição química da silagem e da dieta, bem como com a produção e a qualidade do leite. A DEM_S teve relação positiva com o valor nutricional da silagem e produção de leite e negativa com os teores de gordura e sólidos. O teor de MS teve relação positiva com o valor nutricional da silagem e negativa com os teores de gordura e sólidos do leite. O tamanho de partículas não teve efeito sobre o valor nutricional da silagem, dieta, produção e qualidade do leite. Propriedades com maiores investimentos na produção de silagem e sistemas mais intensivos de produção possuem silagem de melhor qualidade e produzem mais leite.

Palavras-chave: compactação, dieta, física, perdas, silo, sistema

ABSTRACT

This study aimed to identify production systems and factors affecting silage quality, diet of the animals, production and milk quality. Samples of corn silage were collected in 108 silos from farms in the Parana State and were collected data about crop, silage process, and characteristics of silos, diets, production and milk quality. The silage losses were evaluated qualitatively for surficial deteriorated layer, discard of silage and effluent. The physical evaluations were natural matter density (NMD), dry matter density (DMD), dry matter content (DM) and particles size. The effluent losses were higher in silages with lower dry matter content. There were greater losses by layer deteriorated when silos were the surface type, without cover with soil and removal of silage was with scoop tractor. The highest discard of silage occurred when the silage was harvested by self-propelled machine, the particle size was larger and the density of the silage was lower. There was no relationship between silage losses and chemical composition of silage and diet as well as the production and milk quality. The DMD had positive relationship with the nutritional value of silage and milk production and negative with milk fat and solids. The DM content had positive relationship with the nutritional value of the silage and negative with milk fat and solids. The particle size had no effect on the nutritional value of the silage, diet, milk production and quality. Farms that invest more in silage production have better silage quality and produce more milk.

Key Words: compaction, diet, losses, physical, silo, system

I - INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de leite, sendo superado apenas por Estados Unidos, Índia e China (FAO, 2011). Apesar de grande produtor, a produtividade no Brasil é baixa (1.417 L/vaca/ano). Entre os Estados, o Paraná é o terceiro em volume de produção (4,0 bilhões L/ano), com produtividade de 2.455 L/vaca/ano. Entre os municípios do Brasil, Castro tem o maior volume de produção (227 milhões L/ano), com produtividade de 7.510 L/vaca/ano, muito superior à média brasileira e paranaense (IBGE, 2012).

O que caracteriza a região de Castro (Centro-oriental paranaense) é o emprego de alta tecnologia na produção de leite, com grandes investimentos em genética e manejo dos animais. Mas sem dúvida, o principal fator responsável pela alta produtividade de leite nessa região é a alimentação dos animais, na qual a silagem de milho é o alimento utilizado em maior quantidade (Janssen, 2009).

A grande adoção dessa forragem pelos produtores se dá pela alta produção por área, alta qualidade nutricional, baixo custo por quilo de matéria seca e possibilidade de armazenagem por longo período de tempo (Penn State, 2004).

Nos últimos anos as técnicas de cultivo de milho para silagem evoluíram bastante. Algumas delas como época de semeadura correta, escolha de híbridos de alta produção e qualidade, fertilização em níveis adequados, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, redução do espaçamento entre fileiras e aumento da população de plantas, permitiram grande aumento na produção de massa (Embrapa, 2001; Lauer et al., 2001). Regionalmente, a produtividade de milho na safra 2010/2011, safra na qual foi realizado o presente trabalho, foi de 9.325 kg/ha (SEAB, 2012). Considerando que os híbridos cultivados atualmente apresentam em média 500 g/kg de grãos na matéria seca da parte aérea (Embrapa, 2001), tem-se uma produtividade de 18.650 kg/ha de matéria seca de

silagem de alta qualidade. Com essa produtividade, a silagem produzida no Grupo ABC (10.812 ha) é suficiente para alimentar em torno de 70.000 vacas durante um ano (Fundação ABC, 2011).

Contudo, a cadeia de produção da silagem de milho não compreende somente a fase de campo. É necessário que a massa produzida seja colhida, ensilada, armazenada e utilizada de maneira adequada, garantindo que os nutrientes das plantas cheguem aos animais com o mínimo de perdas. Por isso, é fundamental o estudo das etapas de ensilagem e utilização.

A qualidade química da silagem influencia a disponibilidade de nutrientes para os animais, o balanceamento das dietas, o consumo de matéria seca, a produção e a qualidade do leite (NRC, 2001; Linn, 2003).

A qualidade da silagem de milho é bastante variável nas propriedades da região Centro-oriental paranaense, conforme análises de laboratório da Fundação ABC em Castro. Isso ocorre pelos distintos níveis tecnológicos na produção de silagem.

Neste contexto, as hipóteses do presente trabalho são

- a redução das perdas e a melhora nas características físicas da silagem são obtidas com melhores tecnologias de ensilagem, resultando em silagens com melhor qualidade, que favorece o balanceamento da dieta, a produção e a qualidade do leite, e
- sistemas intensivos de produção de silagem resultam em forragem de melhor qualidade, permitindo maior inclusão na dieta e maior produção e qualidade do leite.

Considerando que há variabilidade na qualidade da silagem, objetivou-se identificar os sistemas de produção e os fatores que afetam a qualidade da silagem, a dieta dos animais, a produção e a qualidade do leite.

1.1 A silagem

Silagem é um processo de conservação de forragem através da fermentação dos açúcares da forragem em ácidos orgânicos em ambiente anaeróbio (Allen et al., 2003).

Após a colheita, a forragem passa a ser substrato para desenvolvimento de diversos microrganismos que podem degradar nutrientes que seriam utilizados pelos animais (Muck, 2010). Entretanto, a ensilagem limita o desenvolvimento microbiano pela combinação de ambiente anaeróbio com a fermentação natural dos açúcares da forragem a ácidos orgânicos que reduzem o pH, inibindo o desenvolvimento de outros microrganismos anaeróbios indesejados (Jobim et al., 2007).

O objetivo da ensilagem é conservar a máxima quantidade de matéria seca, nutrientes e energia da cultura, para posterior alimentação dos animais (Kung, 2013).

Em geral, a resposta do animal à silagem é dependente do padrão de fermentação que por sua vez afeta a forma e a concentração dos nutrientes e a ingestão. Em razão disso, torna-se imprescindível a avaliação da qualidade da silagem para adequada formulação da ração animal. Portanto, deve-se ter presente que “qualidade da forragem” é uma expressão utilizada como referência ao valor nutritivo da massa de forragem em interação com o consumo efetuado pelo animal e com o potencial de desempenho do animal (Jobim et al., 2007).

1.2 Vantagens da produção de silagem

As forragens conservadas são componentes essenciais em dietas para ruminantes quando pastagens não estão disponíveis. Em sistemas de confinamento, as forragens conservadas na forma de silagem e/ou feno fazem parte da alimentação diária dos animais, reduzindo a flutuação da quantidade e qualidade da forragem fornecida.

Em várias partes do mundo, a produção de silagem tem se popularizado em relação ao feno, pois é menos dependente das condições ambientais e possibilita a colheita da forrageira na fase de maior produção de nutrientes digestíveis por área. Também requer menor quantidade de operações e equipamentos que a produção de feno (Pahlow et al., 2003).

Hoje, praticamente todo o processo de ensilagem é mecanizado, com reduzida necessidade de mão de obra. Em algumas regiões do Brasil, há possibilidade de contratar todos os serviços de ensilagem, com máquinas de última geração, sem necessidade de imobilizar capital com estes equipamentos (Pereira, 2011).

1.3 Cuidados na produção de silagem

O processo de fermentação resulta em perdas de matéria seca e também qualidade nutricional. Isso exige que todo o processo de ensilagem seja feito da melhor forma possível a fim de minimizar tais perdas (Muck, 1988). Também, durante a fase de utilização, a remoção da silagem deve ser muito bem feita, a fim de evitar deterioração por fungos e leveduras, bem como contaminação por micotoxinas (Borreani & Tabacco, 2010).

Haverá custos com estocagem, tanto pelo capital investido na construção dos silos como pelo capital imobilizado na própria forragem, que será utilizada ao longo do ano. É necessário um capital de giro inicial e o produtor deve ter fluxo de caixa suficiente para tal (Penn State, 2004).

A silagem é um produto de comércio limitado. Uma vez ensilada, a forragem fica comprometida a ser usada na propriedade ou vendida aos produtores vizinhos (Putnam, 2011).

1.4 Fermentação da silagem

O processo de fermentação da silagem foi dividido em quatro principais fases, de diferentes durações e intensidades, que não podem ser precisamente separadas uma das outras (Barnett, 1954).

1.4.1 Fase 1 – Fase aeróbia inicial

Quando a temperatura do ambiente está ao redor de 20°C, esta fase dura poucas horas e é caracterizada pela rápida redução do oxigênio (O₂) atmosférico. O O₂ contido na massa da forragem mantém a respiração das plantas e microrganismos, sendo acompanhado por geração de calor. As enzimas das plantas continuam ativas. Proteases iniciam a quebra de proteínas em aminoácidos e carboidrases aumentam a quantidade de carboidratos solúveis disponíveis para fermentação. Além das atividades das plantas, microrganismos aeróbicos ou aeróbicos facultativos como mofos, leveduras e algumas bactérias, também estão ativos, promovendo respiração e geração de calor.

Se a forragem for bem picada, bem compactada e o silo vedado rapidamente, esta fase pode ser minimizada (McDonald et al., 1991; Muck, 2010).

1.4.2 Fase 2 – Fase de fermentação

Esta fase dura em torno de três semanas. Após o consumo do O₂ do ambiente, cessa a respiração das plantas e o desenvolvimento de bactérias aeróbias e inicia o desenvolvimento das bactérias anaeróbias produtoras de ácido lático. As bactérias ácido lácticas irão fermentar os açúcares da forragem, produzindo ácido lático e acético,

responsáveis pela queda do pH. O pH baixo é necessário para inibir a atividade das enzimas das plantas e o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis.

O processo de fermentação é afetado pelo teor de matéria seca da forrageira, tamanho de partículas, exclusão do ar, conteúdo de carboidratos na forrageira e população bacteriana natural ou suplementar (Penn State, 2004).

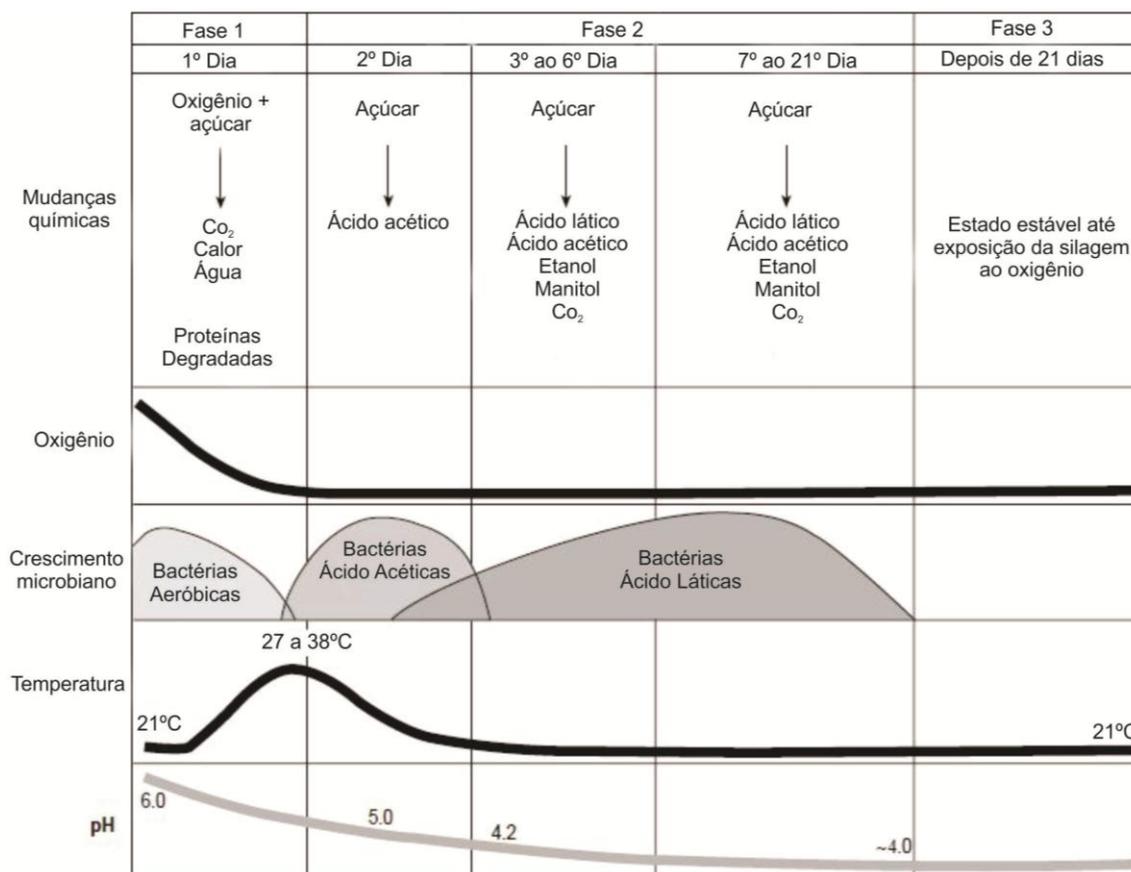


Figura 1 - Fases de uma fermentação normal da silagem (Penn State, 2004).

1.4.3 Fase 3 – Fase estável

Após o processo de fermentação, vem a fase estável ou de estocagem, em que poucas reações ocorrem se o silo permanecer bem vedado ao O₂. Algumas enzimas ácido tolerantes continuam ativas, causando leve hidrólise de carboidratos estruturais. A população de bactérias lácticas cai pelo baixo pH. As leveduras ácido tolerantes sobrevivem em estado de dormência, enquanto clostrídeos e enterobactérias sobrevivem através da formação de esporos, em concentrações de 10² a 10⁷ ufc/g (Drouin & Lafrenière, 2012).

1.4.4 Fase 4 – Fase de retirada

Nesta fase, o O₂ volta a ter acesso à forragem, penetrando até uma profundidade em torno de 1 m no painel do silo, dependendo da densidade da silagem e forma de descarga do silo (Honig, 1991). O fluxo de O₂ permite o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis como leveduras, bactérias acéticas e fungos. Esses microrganismos consomem nutrientes da silagem, principalmente açúcares residuais e lactato, causando elevação do pH, redução do valor nutricional e quebra da estabilidade aeróbia da silagem (Borreani & Tabacco, 2010).

A perda da estabilidade aeróbia resulta em deterioração da silagem e envolve geração de calor, perda de açúcares e liberação de CO₂ e NH₃ (Muck et al., 2003). A deterioração aeróbia é mais frequente em silagens bem preservadas que silagens de baixa qualidade com altas concentrações de ácido butírico e NH₃ (Woolford, 1990).

A metodologia para avaliação da estabilidade aeróbia foi descrita por Moran et al. (1996). Amostras de silagem em duplicata eram deixadas em caixas expostas ao ar, em temperatura ambiente de 25°C, por oito dias, sendo avaliados o pH e a temperatura. Foram observadas diferenças relativas entre as silagens para em (i) número de dias para a temperatura subir 2°C acima da temperatura referência, (ii) temperatura máxima atingida e (iii) soma da temperatura acima da referência nos cinco primeiros dias. A temperatura referência foi avaliada em água no mesmo tipo de caixa.

1.5 Silagem de milho

A silagem de milho é a principal forragem utilizada na alimentação de vacas leiteiras na Europa, Estados Unidos e Brasil (Johnson et al., 1999; Borreani & Tabacco, 2010; Bernardes, 2012).

A cultura do milho para silagem é uma das mais produtivas em termos de energia digestível por área, pela sua alta produção de massa e qualidade nutricional (Penn State, 2004). Este fato possibilita explorações pecuárias intensivas, com alta produtividade animal por área, mesmo em pequenas propriedades.

Pelo teor alto de energia e baixo de proteína, a silagem de milho é normalmente utilizada para gado de corte em crescimento ou terminação, como energia suplementar na produção de bezerros e novilhas e para as vacas em lactação, geralmente acompanhada de uma forragem rica em proteína (Allen et al., 2003).

Apesar do alto custo para implantação, condução e colheita do milho, a silagem de milho torna-se um alimento de baixo custo por quilo de matéria seca, pela sua alta produção de massa (Embrapa, 2005).

Como o estágio de colheita do milho para silagem ocorre antes do estágio de colheita de grãos, são menores os riscos climáticos no final do ciclo da cultura, bem como ocorrência de pragas e doenças. Outra vantagem é que a qualidade do milho não reduz tão rápido com o passar do tempo quanto a outras culturas, podendo ser colhido num período de até duas semanas (Allen et al., 2003).

A colheita e a manipulação da silagem de milho podem ser altamente mecanizadas, sendo reduzidos os custos de colheita e mão de obra, já que é colhido apenas uma vez em comparação às outras culturas. O milho é uma cultura flexível, que permite ao produtor decidir próximo à época de colheita, quanto da área vai colher para silagem ou deixar para colheita de grãos (Penn State, 2004).

Um potencial problema em áreas de cultivo de milho para silagem é seu efeito no solo. O milho para silagem deixa pouco resíduo no solo após a colheita, aumentando o potencial de erosão. O cultivo contínuo de milho para silagem pode reduzir os teores de matéria orgânica do solo. Se a colheita ocorre com o solo úmido, pode haver compactação pelo tráfego de máquinas e caminhões. A rotação de culturas e o correto manejo do solo são necessários para evitar estes problemas (Ueno et al., 2011).

Embora a silagem de milho ofereça oferta contínua de alimento volumoso, a qualidade é afetada pelo híbrido, ambiente, maturidade na colheita e processo de ensilagem, que variam bastante entre fazendas e anos (Allen et al., 2003).

1.6 O cultivo do milho para silagem

Muitos dos princípios aplicados no cultivo de milho para grãos podem ser empregados no cultivo de milho para produção de silagem. Boas práticas de manejo como controle de plantas daninhas, pragas, doenças, época adequada de semeadura e colheita devem ser adotadas em ambos os cultivos, visando maior produção e também qualidade no caso da silagem (Allen et al., 2003).

1.6.1 Adubação

produção de silagem de milho, toda a planta é colhida, sendo a remoção de nutrientes da área muito maior que na colheita de grãos, principalmente P e K. Essa maior exportação de nutrientes implica em maiores necessidades de adubação. Por outro lado, é uma excelente oportunidade para reciclagem dos nutrientes aplicados via esterco (Ueno et al., 2011).

A adubação nitrogenada é realizada através de curvas de resposta, sendo indicados em torno de 150 a 200 kg/ha de N, dependendo da cultura anterior e aplicação de esterco (Allen et al., 2003).

Na região Central do Paraná, houve aumento linear da produção de massa seca de milho com doses de N variando de 0 a 135 kg/ha (Neumann et al., 2005a). No Sudoeste, houve aumento linear da produção de massa seca e do teor de PB da silagem com doses de 0 a 240 kg/ha de N (Menezes et al., 2013).

Já que a silagem exporta muitos nutrientes da área e que adubações orgânicas pesadas ocorrem em algumas dessas áreas, devem-se monitorar os teores de nutrientes via análise de solo. A falta de nutrientes à cultura do milho pode resultar em perda de produção e qualidade da silagem (Coelho, 2006). Já o excesso de nutrientes, além do custo desnecessário, pode causar problemas nutricionais nos animais (Correa et al., 2009), além de contaminação ambiental (Piovesan et al., 2009).

1.6.2 Escolha do híbrido

Historicamente, o melhoramento genético de milho foi direcionado para maiores produtividades de grãos e características relacionadas. Isso resultou em híbridos com maior produção de massa e índice de colheita, e efeitos indiretos na qualidade da silagem (Lauer et al., 2001). Os mesmos autores avaliaram a evolução genética de genótipos de milho nos últimos 70 anos nos EUA e encontraram aumento de 150 kg/ha/ano na produção de massa e 50 kg/ha/ano na produção de colmos. O teor de FDN reduziu 8,9 g/kg/ano e a DIVMS aumentou 5,8 g/kg/ano. Porém, não houve diferença do teor de FDN e DIVMS do colmo dos genótipos, indicando que os ganhos vieram da maior produção de grãos e não da qualidade dos colmos. Assim, os melhoristas têm grande oportunidade para melhorar a qualidade nutricional das plantas de milho, através da seleção para através da seleção para qualidade de colmo.

Agrônomos, nutricionistas e melhoristas normalmente se preocupam com a interação genótipo x ambiente (G x A), pois precisam identificar híbridos mais estáveis em diferentes condições ambientais. Contudo, diferenças de qualidade entre híbridos ocorrem e são frequentes, mas interações G x A não têm ocorrido em estudos de longa duração (Deinum, 1988). Portanto, devem-se escolher híbridos de alta produção e qualidade e manter dentro do possível um ambiente adequado ao desenvolvimento das plantas.

1.6.3 População de plantas e espaçamento entre fileiras

As respostas em produção com o aumento da população de plantas em milho têm sido de 75 a 200 g/kg maior em milho para silagem que para grãos (Cox, 1997). A população ótima varia de acordo com o ambiente e o híbrido. Em boas condições de cultivo, a produção de massa tem aumentado até a população de 80.000 plantas/ha, sendo que a qualidade reduz além desse nível (Cox et al., 1998).

O uso de espaçamentos reduzidos entre fileiras (40 a 50 cm), em relação ao tradicional (70 a 90 cm), permite melhor distribuição das plantas na área e otimiza o uso dos recursos água, luz e nutrientes. Estudos têm demonstrado produtividades de 4 a 10% superior em espaçamento reduzido, sem alteração na qualidade nutricional (Cox & Cherney, 2001; Alvarez et al., 2006; Guareschi et al., 2008).

1.6.4 Controle de doenças das plantas

As doenças de plantas causam redução do teor de carboidratos solúveis e digestibilidade em relação às plantas saudias e diferenças variáveis no teor de proteína bruta (Braverman, 1986).

A lignina é uma importante barreira física e química contra o ataque de patógenos. A lignificação induzida tem sido proposta como mecanismo de defesa das plantas contra os fungos (Baucher et al., 1998). Porém, essa lignificação é indesejada do ponto de vista nutricional da forrageira. Portanto, o controle de patógenos pode favorecer o valor nutritivo da forragem.

Quanto às podridões de colmo, híbridos mais tolerantes a esses fungos mantêm maior quantidade de carboidratos não estruturais nos colmos, melhorando sua qualidade (Argillier et al., 1995).

1.7 O processo de ensilagem

A produção de silagem de alta qualidade é dependente de decisões de manejo e práticas, antes, durante e após a ensilagem. A maior parte desses fatores de manejo estão sob controle dos produtores, desde o manejo da lavoura, como escolha do híbrido, adubação, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, passando pela ensilagem, como teor de matéria seca, tamanho de partículas, densidade, tipo de silo, uso de aditivos, vedação, até a forma de retirada, formulação da dieta e manejo de cocho (Allen et al., 2003), ou seja, o produtor deve interferir em diversos processos a fim de obter uma silagem que seja produzida e disponibilizada aos animais com alta qualidade.

1.7.1 Teor de matéria seca

A ensilagem no ponto correto é importante para explorar a máxima produtividade de nutrientes por área, minimizar as perdas de campo e armazenagem e assegurar alto consumo pelos animais.

O teor de matéria seca é um dos fatores mais importantes na colheita da forragem, pois afeta direta e indiretamente toda a física, biologia e processos químicos que ocorrem no silo. O desenvolvimento dos microrganismos, tanto benéficos como prejudiciais à preservação da silagem, tem relação direta com o teor de matéria seca, mais apropriadamente à atividade da água ou potencial osmótico (Jobim et al., 2007).

O teor de matéria seca também possui alta correlação com a densidade da silagem. Quanto menor o teor de matéria seca, maior será a densidade de massa verde, que é definida como o peso da massa de forragem por unidade de volume. Teor adequado de matéria seca favorece a compactação e transição para um ambiente anaeróbico. Silagens muito úmidas favorecem a fermentação clostrídica e a produção de efluentes, reduzindo o valor nutricional da silagem. Silagens muito secas são mais porosas e mais susceptíveis à deterioração aeróbia, desenvolvimento de fungos e leveduras e reação de Maillard (Muck et al., 2003).

Quando o teor de MS atinge 350 g/kg, as plantas já atingiram a máxima produção de MS e 95% do potencial de produção de grãos, conferindo assim elevada produção e qualidade nutricional nesse ponto (Ashley, 2001).

Tabela 1 - Potencial de produção de massa e grãos, conforme graus de maturidade da planta de milho

Maturidade	Potencial Produção (%)		Teor MS (g/kg)	
	Grãos	Planta	Grãos	Planta
Leitoso	30-50	65-75	200-400	200-250
Dente	60-70	75-85	450-500	250-300
½ linha de leite	90-95	100	600-650	300-350
Duro	100	95-100	650-700	350-450

Fonte: Ashley (2001).

Atualmente, tem-se considerado o teor de matéria seca como um melhor indicador da qualidade da silagem que os estádios de maturidade. Com o avanço do teor de MS, o conteúdo de grãos de milho aumenta e a concentração de fibras diminui, porém, em estádios avançados o teor de energia da silagem diminuiu, pois a digestibilidade do amido e das fibras é reduzido (Penn State, 2004).

Esse efeito da diluição dos teores de fibra pelo aumento do acúmulo de amido está descrito na literatura. Senger et al. (2005) trabalharam com três teores de matéria seca em silagem de milho (200, 260 e 280 g/kg) e observaram melhoria da qualidade com aumento do teor de MS, como redução dos teores de FDA e FDN e aumento dos teores de açúcares residuais e DIVMS. Cox & Cherney (2005) também obtiveram redução dos teores de FDN, além da PB e cinzas, decorrentes do aumento do teor de amido nas matérias secas de 295, 310 e 350 g/kg. Houve pequena redução da DIVFDN com o aumento do teor de MS, que foi superado pelo maior teor de amido, resultando em maior DIVMS da planta inteira e produção de leite estimada por tonelada de MS e por hectare.

O efeito da diluição pelo amido também foi bem descrito no trabalho de Zopollatto (2009b), que avaliou a composição botânica e química de seis híbridos de milho, em dois anos, com teores de MS entre 120 e 560 g/kg. Durante o período avaliado, o acúmulo de MS foi em média de 120 kg/ha/dia. Este aumento de produção de massa foi pelo enchimento de grãos na fase reprodutiva, já que a produção de colmos não mudou no período e a produção de grãos chegou a aumentar entre 144 e 181 kg/ha/dia, atingindo uma produção de 9.254 kg/ha na média dos híbridos. Quanto à composição química, os teores de FDN e PB reduziram com o passar do tempo, pela diluição pelo aumento do amido que foi de 4 g/kg ao dia. Quanto à DIVMS da planta inteira, três híbridos não tiveram diferença com o avanço do teor de MS, enquanto que três tiveram resposta quadrática. Dessa forma, como o acúmulo de MS aumentou com o avanço da

maturidade e houve pouca variação na DIVMS, a produção de MS digestível aumentou linearmente com o avanço da maturidade, variando de 134 a 156 kg/ha/dia.

Moraes et al. (2008) avaliaram dois híbridos de milho de diferentes texturas de grão, com teores de matéria seca entre 320 e 420 g/kg, e observaram aumento do teor de PB e DIVMS da planta inteira até 400 g/kg de MS, independente do híbrido. Mesmo com a redução da DIVMS das frações caule e folhas em maiores MS, o aumento da DIVMS da planta inteira é pelo aumento da proporção espiga, que possui alta DIVMS (680 a 760 g/kg).

Em trabalho que avaliou o desempenho animal, com três híbridos de milho, em três pontos de corte (1/3, 2/3 e 3/3 Linha Leite), com e sem processamento da forragem, não houve diferença na digestibilidade da MS, consumo, produção e teor de PB do leite, entre os pontos de corte e processamento. O teor de gordura do leite reduziu em dois dos três híbridos avaliados quando o ponto de corte avançou em teores de MS acima de 350 g/kg (Johnson et al., 2002).

Bal et al. (1997) trabalharam com quatro teores de matéria seca em silagem de milho (301, 324, 351 e 420 g/kg), e não houve variação no consumo de MS, teor de gordura e proteína do leite. Porém, a produção de leite foi maior (33,4 x 32,4 L) para o teor de 350 g/kg de MS em relação a 300 g/kg. A digestibilidade da MS, PB e amido foram menores apenas no teor de 420 g/kg de MS.

Ferraretto & Shaver (2012) realizaram uma meta-análise de 24 trabalhos entre 2000 e 2011 e observaram que o consumo de MS, a DIVMS e a DIVFDN, bem como os teores de gordura e proteína do leite não foram afetados pelos teores de matéria seca da silagem. A digestibilidade do amido e a produção de leite foram menores quando o teor de MS passou de 400 g/kg, sem diferença entre as silagens abaixo desse teor.

O teor de MS indicado para silagem de milho em silos horizontais varia de 300 g/kg a 350 g/kg (Bickert et al., 2000; Ashley, 2001; Embrapa, 2001; Nussio et al., 2001; Penn State, 2004), 320 e 350 g/kg (Bal et al., 1997) e 310 e 350 g/kg (Cox & Cherney, 2005).

1.7.2 *Tamanho de partículas*

A importância da avaliação do tamanho de partículas da silagem não deve ser subestimada. Estudos mostram que vacas que consumiram dietas adequadas em FDN, mas finamente picadas, apresentaram desordens metabólicas como menor

digestibilidade da MS, redução do teor de gordura no leite, deslocamento de abomaso, síndrome da vaca gorda, laminite e acidose (Yang & Beauchemin, 2006; Zebeli et al., 2006; Zebeli et al., 2008).

O tamanho de partículas afeta a quantidade de fibra efetiva, que desempenha papel importante em dietas de bovinos de leite. A FDN fisicamente efetiva está positivamente associada com a atividade de mastigação, pH ruminal e conteúdo de gordura do leite (Mertens, 1997).

Além dos fatores relacionados aos animais, o tamanho médio de partículas (TMP) pode afetar a porosidade, densidade, produção de efluentes, fermentação e indiretamente a deterioração aeróbia da silagem (Muck et al., 2003).

Até recentemente não havia um método simples de avaliação do tamanho de partículas nas propriedades. Em 1992, a ASAE (American Society of Agricultural Engineers) aprovou um método para avaliação do tamanho de partículas através de peneiras de laboratório (ASAE, 1994), mas o equipamento não permitia o uso na rotina das fazendas.

Em 2002, a Universidade da Pensilvânia lançou a Penn State Forage Particle Separator, com três peneiras, com furos de 19,0, 8,0 e 1,18 mm. As peneiras Penn State tiveram alta correlação com as peneiras ASAE, com as vantagens de serem leves, portáteis, de fácil operação, análise rápida e de fácil uso no campo (Lammers et al., 1996).

O tamanho de partículas de uma silagem pode variar muito dependendo da cultura e equipamento de colheita. Assim, o principal objetivo de avaliar a distribuição do TMP na silagem é mensurar as partículas que realmente são disponíveis para consumo do animal (Heinrichs & Lammers, 1997).

Em trabalho realizado com silagem de sorgo e dois tamanhos de partícula (1,4 e 3,5 cm), o menor tamanho de partícula resultou em maior eficiência de compactação e maior valor nutritivo da silagem, com menores teores de FDA e FDN e maiores teores de DIVMO e energia digestível (ED) (Neumann et al., 2005b). Na cultura do milho, partículas menores (0,2 a 0,6 cm) resultaram em menores perdas de MS (14,1 g/kg a 15,1 g/kg) em relação às partículas maiores (1,0 a 2,0 cm), que tiveram perdas de 25,9 g/kg a 29,1 g/kg (Neumann et al., 2007).

Quanto ao desempenho animal, Johnson et al. (2003) compararam dois tamanhos de partículas (2,8 e 4,0 cm), com e sem processamento da silagem de milho. Quando as partículas eram menores, houve maior densidade da silagem, maior consumo de MS e

amido pelos animais e maior digestibilidade ruminal do amido. Não houve efeito do tamanho de partículas sobre as perdas de MS da silagem, digestibilidade da MS, produção de leite e teores de gordura e PB. O único efeito do processamento foi aumento de 10 g/kg na digestibilidade total do amido.

Bal et al. (2000) obtiveram melhores resultados com o processamento da silagem de milho do que a variação do tamanho de partículas. O processamento aumentou o consumo, a digestibilidade do amido, a produção e o teor de gordura do leite. Já os tamanhos de partículas teóricos avaliados (0,95, 1,45 e 1,90 cm) afetaram os resultados.

Clark & Armentano (1999) avaliaram tamanhos de partículas de silagem de milho entre 0,3 e 0,9 cm, em dois anos, com vacas leiteiras. O comportamento mastigatório não foi afetado pelos tamanhos de partículas. No primeiro ano não houve diferença de produção de leite e seus constituintes. Já no segundo ano, a produção de leite aumentou linearmente com a redução do tamanho de partículas (28,9, 29,8 e 30,7 l), sem alteração dos teores de gordura e PB.

Na meta-análise de Ferraretto & Shaver (2012) não houve efeito do tamanho teórico de partículas entre 0,48 e 3,2 cm sobre o consumo de MS, digestibilidade da MS, da FDN e do amido, bem como sobre a produção e teores de gordura e proteína do leite. O processamento de 1 a 3 mm resultou em maior digestibilidade do amido e redução do teor de gordura do leite.

Kononoff & Heinrichs (2003) realizaram um trabalho com desempenho animal, no qual avaliaram dois tamanhos médios de partículas (9,2 e 12,9 cm). Não houve diferença no consumo de MS, porém, houve maior consumo de FDN e menor teor de FDN nos rejeitos de cocho, indicando menor seleção pelos animais quando a partícula era menor. Não houve diferença do tamanho de partículas sobre a dinâmica de mastigação e ruminação, sobre a digestibilidade da MS e demais nutrientes, sobre o pH e produção de ácidos no rúmen, produção de leite e teor de gordura. Apenas o teor de PB do leite foi afetado, sendo maior com menor tamanho de partícula.

A ingestão de MS e nutrientes não foi afetada por três tamanhos de partículas de silagem de milho (1,1, 1,3 e 1,9 cm) em dietas como única fonte de volumoso. Porém, a digestibilidade da MS, FDA e FDN foram maiores com maior tamanho de partículas. O que se observou ao avaliar as quantidades de fibra fisicamente efetivas nas dietas e sobras, é que os animais preferiram consumir as partículas menores, reduzindo assim a seleção no cocho. A produção de leite foi alta (37,8 l), sem diferença entre os tamanhos

de partículas, bem como para os teores de gordura, PB e lactose (Yang & Beauchemin, 2005).

No ano seguinte, os mesmos autores (Yang & Beauchemin, 2006) não observaram diferenças de três tamanhos de partículas (0,5, 1,6 e 2,9 cm) na qualidade de silagem de milho (MS, PB, FDA, FDN e amido), consumo, digestibilidade da MS, FDA, FDN, amido e composição do leite (gordura, PB, lactose e CCS). A digestibilidade da PB foi maior com partículas longas, bem como maior tempo de ruminação. A produção de leite foi maior com partículas de tamanho médio.

Como os efeitos de diferentes tamanhos de partículas não estão bem claros sugere-se seguir a recomendação das peneiras Penn State.

Tabela 2 - Distribuição adequada de partículas nas peneiras Penn State

Peneira	Tamanho	Silagem Milho	Pré-secado	Dieta Total
1	> 19 mm	3-8%	10-20%	2-8%
2	8 a 19 mm	45-65%	45-75%	30-50%
3	1,18 a 8 mm	30-40%	20-30%	30-50%
4	< 1,18 mm	<5%	<5%	<20%

Fonte: Lammers et al. (1996).

1.7.3 Densidade da silagem

O objetivo de se obter alta densidade da silagem é diminuir o ar residual na massa ensilada, a fim de reduzir a respiração (consumo de MS e liberação de CO₂) e o consumo de açúcares solúveis, aumentar a velocidade de produção dos ácidos orgânicos e reduzir o pH final da silagem (McDonald et al., 1991). Estas perdas ocorrem tanto pela respiração das plantas durante o enchimento do silo, como pelo crescimento microbiano nas fases de enchimento, estocagem ou retirada. O suprimento de oxigênio para estes processos está diretamente ligado à porosidade da silagem. A maior compactação resulta no aumento da densidade da silagem, reduzindo a porosidade e o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, que causam a elevação da temperatura e decomposição da silagem (Holmes, 2009).

Por outro lado, a compactação excessiva pode favorecer a produção de efluente, que resulta em perdas quantitativas e qualitativas, além de reduzir o pool de carboidratos solúveis essenciais à adequada fermentação (Jobim et al., 2007).

A densidade da silagem também é importante no manejo da silagem na fazenda. Maiores densidades da silagem aumentam a capacidade do silo, reduzindo o custo de estocagem por unidade de MS e NDT (D'Amours & Savoie, 2005; Jobim et al., 2007).

Variações de até 30% na densidade da silagem podem ser encontradas dependendo da cultura, processamento, teor de matéria seca (Muck et al., 2003), pressão aplicada, equipamento, tempo de compactação, espessura da camada adicionada, altura e tipo do silo (Muck & Holmes, 2000). Entre estes, o fator determinante da densidade da silagem é a compactação.

D'Amours & Savoie (2005) verificaram que a densidade da matéria seca (DEMS) variou de 196 a 293 kg/m³, quando a concentração de grãos variou de 170 a 500 g/kg. Segundo os autores, a percentagem de grãos na colheita foi o fator mais importante para aumentar a densidade média de massa seca em silos trincheira.

A distribuição do peso do trator, com uso de rodados simples ou duplos, resultou em maior densidade com rodado simples no trabalho de Honig (1991), mas não teve diferença em silos comerciais tipo trincheira (Muck & Holmes, 2000).

Muck et al. (2004) trabalharam com silagem de alfafa e capim em laboratório, e verificaram relação da DEMS com a pressão aplicada, teor de matéria seca, tipo de forragem e tamanho de partículas. Em outro estudo de laboratório, agora com silagem de milho, Savoie et al. (2004) observaram que a DEMS foi afetada pelo processamento da silagem e pressão aplicada, mas não pelo tempo de compactação e teor de matéria seca. Johnson et al. (2003) obtiveram maior densidade da silagem de milho, tanto na massa verde como na massa seca quando o tamanho de partículas era menor, sem efeito do grau de processamento.

Senger et al. (2005) trabalharam com densidades da matéria natural (DEMN) de 350 a 700 kg/m³ e não verificaram alteração dos teores de MS, PB, FDA, FDN e DIVMS. Porém, a maior densidade resultou em melhor fermentação, com maior teor de ácidos orgânicos e menor pH da silagem.

Embora não existam valores considerados ideais, já que a perda de MS tem relação linear inversa com a densidade (Holmes & Muck, 1999), sugere-se uma densidade acima de 550 kg/m³ na matéria natural (Ruppel et al., 1995) e acima de 240 kg/m³ na matéria seca (Holmes & Muck, 2008).

1.7.4 Aditivos

Uma grande diversidade de aditivos está disponível para uso na silagem. Os principais aditivos incluem inoculantes bacterianos, enzimas e nitrogênio não proteico (Kung, 2001). Cada classe de aditivo tem diferentes efeitos na qualidade da forragem.

Os aditivos mais comumente utilizados no Brasil são os inoculantes bacterianos, que visam aumentar a concentração de bactérias ácido lácticas na massa de forragem. Nos últimos anos, os inoculantes bacterianos foram selecionados para rápido crescimento e domínio da fermentação (Zopolatto et al., 2009a).

Os aditivos microbianos mais utilizados são de estirpes homofermentativas, que resultam em silagem com menor teor de ácido acético e etanol, maior de ácido láctico e menor pH em relação à fermentação natural, suprimindo o desenvolvimento de outros microrganismos anaeróbios e melhorando a conservação da forragem (Muck, 2010). Essa mudança da fermentação pode aumentar a recuperação de matéria seca (MS) da silagem, já que bactérias homofermentativas não resultam em perdas de MS (McDonald, 1991).

Recentemente, aditivos com estirpes heterofermentativas têm sido desenvolvidos. Estes irão fermentar o ácido láctico a ácido acético, que inibe o desenvolvimento de mofo e leveduras, aumentando a estabilidade aeróbia da silagem (Muck, 2010).

A bactéria heterofermentativa mais estudada tem sido o *Lactobacillus buchneri*. Kleinschmit & Kung (2006) realizaram uma meta-análise com 43 experimentos com *L. buchneri* em silagem de milho e de cereais de inverno. A inoculação com *L. buchneri* reduziu as concentrações de ácido láctico e aumentou de ácido acético, reduzindo assim a contagem de leveduras e aumentando a estabilidade aeróbia da silagem de 25 para 503h. Entretanto, sendo uma bactéria heterofermentativa, que libera CO₂ durante a produção dos ácidos, aumentou a perda de MS de 45 g/kg para 55 g/kg.

Aditivos com *Propionibacterium acidipropionici* também apresentaram bons resultados no aumento da estabilidade aeróbia e redução de perdas, através do aumento das concentrações de ácidos acético e propiônico na silagem de milho, reduzindo assim a contagem de leveduras e fungos (Filya et al., 2004).

Novas espécies de bactérias heterofermentativas estão sendo estudadas. Morelli et al. (2011) avaliaram inoculação com diferentes concentrações de *Bacillus subtilis* e obtiveram menor contagem de leveduras e maior estabilidade aeróbia da silagem de milho. Trabalhos mostram que *Lactobacillus brevis* também tem apresentado queda

mais rápida de pH, menor perda de MS e maior estabilidade aeróbia quando a silagem foi inoculada (Schöndorfer et al., 2011a; Schöndorfer et al., 2011b).

Contudo, nem sempre se observam resultados positivos da aplicação de inoculantes bacterianos. Muck & Kung (1997) fizeram uma revisão de literatura com 230 comparações entre silagens tratadas versus não tratadas com inoculantes bacterianos homofermentativos. Houve redução do pH e melhora na fermentação em aproximadamente 60% dos casos. Os inoculantes homofermentativos foram mais efetivos em silagens de capim e alfafa. Em silagens de milho houve resposta positiva em menos da metade dos casos e em silagens de cereais de inverno em um terço dos casos.

As ausências de resposta da aplicação de inoculantes bacterianos em silagem de milho podem ser explicadas por alguns fatores, como sugeriu Muck (2010). Primeiro, o produto pode ser ineficaz, mal utilizado ou mal aplicado. Segundo, é difícil melhorar a fermentação em silagem de milho e de cereais de inverno, pois tipicamente sua fermentação natural já resulta em alta produção de ácidos e queda de pH. E finalmente, a população epífita de bactérias ácido lácticas pode ser tão alta, que as bactérias inoculadas não conseguem dominar a fermentação. Quando Muck (1989) inoculou alfafa numa taxa de pelo menos 10% da população epífita, sempre teve resultados positivos, quando aplicou 1% ou menos, não houve mudanças na fermentação e concluiu neste trabalho que a dificuldade do uso de inoculantes é não conhecermos a população epífita no momento da ensilagem.

Os aditivos normalmente não são necessários em silagem de milho se o teor de matéria seca for adequado. Os aditivos microbianos são mais efetivos quando a planta está imatura, muito madura ou houve estresse por seca ou queima por geada. Devem ser encarados como uma ferramenta para melhorar o manejo da silagem, e não como substituto do mau manejo. Forragens de baixa qualidade não serão corrigidas com aditivo, por este motivo é importante manter o foco nas práticas de ensilagem e armazenagem (Penn State, 2004).

1.7.5 Vedação

Manter a ausência de O₂ no silo (anaerobiose) é o principal fator de preservação da forragem (Woolford, 1990). O lento enchimento do silo ou má vedação prolongam a respiração das plantas e microrganismos e resulta em aquecimento e consumo de

açúcares. A presença ou infiltração de O₂ na massa de forragem também favorece a lise celular, proteólise e crescimento microbiano.

Grande parte da silagem estocada em silos horizontais está susceptível à deterioração aeróbia, principalmente nas camadas superior e lateral, onde a compactação e vedação não são tão eficientes (Ashbell & Lisker, 1988).

Além do uso de uma lona de qualidade para cobertura do silo, também é importante o uso de material sobre a lona. A utilização de terra ou bagaço de cana na cobertura da lona dos silos melhora a vedação, reduzindo as perdas de MS (Bernardes, 2009),

No trabalho de Amaral et al. (2012a), a cobertura do silo com bagaço de cana sobre a lona preta reduziu as perdas de MS de 75 g/kg para 28 g/kg, em relação à lona sem cobertura, sem afetar outros parâmetros como pH, ácido acético, ácido lático, contagem de bactérias, leveduras e fungos. Na avaliação de desempenho com vacas leiteiras (Amaral et al., 2012b), não houve diferença de consumo, mas a silagem coberta com bagaço teve maior digestibilidade da MS (674 x 592 g/kg) e proporcionou maior produção de leite (34,4 x 30,4 L/vaca/dia).

Se a vedação não é suficiente, há penetração de O₂ na massa ensilada, que favorece o desenvolvimento de microrganismos aeróbios, responsáveis pela deterioração da silagem (Borreani et al., 2007).

Além das perdas de substâncias altamente digestíveis (Bolsen et al., 1993), a deterioração aeróbia pode resultar em produção de micotoxinas (Borreani et al., 2005; Garon et al., 2006), crescimento de microrganismos patogênicos (Ivanek et al., 2006; Borreani & Tabacco, 2010), que tornam a silagem menos palatável e produzem desordens metabólicas em vacas leiteiras (Trevisi et al., 2003).

Muitos fatores podem afetar as perdas de matéria seca e qualidade nutricional da silagem, como a taxa de retirada diária (Kleinschmit et al., 2005), o uso de aditivos (McDonald, 1991), o tipo de lona para vedação do silo (Borreani et al., 2007), o conteúdo de MS, o tamanho de partículas, a taxa de carregamento do silo e a compactação (Johnson et al., 2002).

A espessura do filme plástico e sua aderência contra a massa de forragem são importantes para reduzir a infiltração de O₂ e as perdas aeróbias. Para melhorar a aderência do filme são utilizados terra, pneus, telas e resíduos como palha.

Bolsen et al. (1993) obtiveram perdas de MS entre 16 e 72 g/kg, nas camadas a 50 e 25 cm, respectivamente, abaixo da superfície do silo coberto com lona. Essas perdas foram inerentes ao processo fermentativo. Quando o silo não foi coberto com lona, as

perdas foram de 234 g/kg e 778 g/kg, pela decomposição da silagem na presença do oxigênio.

1.7.6 Desensilagem

A forma com que a silagem é retirada tem grande impacto na qualidade da silagem que é fornecida aos animais. A principal preocupação nessa fase é a deterioração aeróbia, pelo fluxo de O₂, que é afetado principalmente pela taxa de retirada diária de silagem e a maneira como é retirada. Também é afetado pela temperatura ambiente, população microbiana presente, pH e produtos da fermentação (Borreani & Tabacco, 2010).

Silagens retiradas com concha promovem descompactação da face do silo, sendo menos estáveis que quando a retirada é feita por removedores específicos. As perdas de matéria seca podem variar de 3 a 37 g/kg, sendo maiores nas silagens mal compactadas e retiradas por concha (Muck & Rotz, 1996).

1.8 Perdas de silagem

O objetivo da conservação de forragens é manter a qualidade o mais próximo possível da forragem original, com o mínimo de perdas de MS e energia (Van Soest, 1994).

A preservação da qualidade, da MS e da energia da forragem ensilada requer limitação da respiração e atividade proteolítica da planta, atividade clostrídica e desenvolvimento de microrganismos aeróbicos. O mecanismo que limita esses processos é o rápido atingimento e manutenção da anaerobiose no silo (Muck, 1988).

1.8.1 Perdas de matéria seca

As perdas pelo processo de fermentação da silagem são muito estudadas no meio científico. Contudo, essas perdas são relativamente pequenas se comparadas às perdas físicas de silagem (quantidade). Enquanto as perdas de MS pela fermentação em silagem de milho são da ordem de 30 g/kg a 100 g/kg (Johnson et al., 2003), 45 a 55 g/kg (Kleinschmit & Kung, 2006), 14 e 54 g/kg (Neumann et al., 2007), 22 g/kg (Oliveira et al., 2010), 1 a 6 g/kg (Schöndorfer et al., 2011a), 11 a 75 g/kg (Schöndorfer

et al., 2011b); McDonald et al. (1991) observaram 200 g/kg de perdas físicas adicionais às perdas pela fermentação.

Segundo Metcalfe et al. (1985), as perdas físicas são muito mais preocupantes, pois podem variar de 210 g/kg a 340 g/kg em condições normais, sem considerar problemas como furos de lona ou outros danos ao silo, enquanto que as perdas por gases da fermentação variam entre 60 g/kg e 90 g/kg. Bolsen et al. (1993) obtiveram perdas de MS entre 16 e 72 g/kg inerentes ao processo fermentativo e entre 234 g/kg a 778 g/kg, pela decomposição da silagem pela presença do oxigênio.

Além da magnitude, também é interessante conhecer a frequência das perdas. Borreani & Tabacco (2012) avaliaram 100 silos comerciais na Itália e observaram que 29% e 46% dos silos possuíam camada deteriorada no inverno e verão, respectivamente.

Apesar da importância das perdas, poucos estudos têm sido realizados em condições de campo. A maioria das pesquisas com perdas de silagem foram realizadas com silos de laboratório, que nem sempre representam a situação real do produtor (Neumann et al., 2007). Pelas condições de laboratório serem mais homogêneas e adequadas, as perdas podem ser subestimadas em relação àquelas que ocorrem no campo (Jobim et al., 2007). As avaliações mais comuns realizadas em laboratório são perdas de MS, perdas por gases e por efluentes.

Tabela 3 - Estimativas de perdas de silagem na colheita, armazenamento e utilização

Tipo Silo	MS	Colheita	Abasteci- mento	Efluente	Gases	Superfície	Desabas- tecimento	Total
----- g/kg -----								
Silo Bolsa	200	20	10-20	20	60	20	10-50	140-190
	300	20	10-20	0	50	20	10-50	110-160
	400	60	10-20	0	50	20	10-50	150-200
Trincheira	200	20	20-50	40	90	20	30-100	220-320
	300	20	20-50	10	70	30	30-100	180-280
	400	60	30-60	0	60	40	50-150	240-370
Superfície	200	20	30-60	50	80	20	30-100	230-330
	300	20	30-60	0	70	40	30-100	190-290
	400	60	40-70	0	60	60	50-150	270-400
Bolas	300	20	10	0	80	50	10-50	170-210
	400	60	20	0	70	50	10-50	210-250
	500	80	30	0	60	60	10-50	240-280

Fonte: Metcalfe et al. (1985).

Apesar de os números impressionarem, as perdas em silagem de milho normalmente são menores que em outras culturas. Além da melhor qualidade nutricional da silagem de milho, Oliveira et al. (2010) observaram menores perdas de MS por gases e por efluentes em relação às silagens de sorgo-sudão, sorgo forrageiro e

girassol. As menores perdas em silagem de milho podem ser atribuídas ao teor adequado de MS e de carboidratos solúveis e ao baixo poder tampão, permitindo rápida e adequada fermentação láctica, declínio do pH e conservação da silagem (Muck, 2010).

Ruppel et al. (1995) avaliaram 30 silos comerciais de alfafa e de gramínea e observaram perdas de MS de até 430 g/kg, com média de 80 g/kg. Houve correlação entre intensidade de compactação e densidade da silagem ($r=0,49$, $P<0,01$), porém, não foi observada correlação entre perdas de MS com densidade da silagem, tamanho de partículas, taxa de retirada diária, escore de face do silo, escore de cobertura do silo e densidade de pneus. As perdas aumentaram apenas com aumento do teor de MS da silagem.

Segundo Holmes & Muck (2000), as paredes dos silos trincheira ajudam a manter a massa de forragem livre de oxigênio, reduzindo as perdas. Porém, devem possuir superfícies lisas e sem rachaduras.

Filmes plásticos mais espessos são mais fáceis de manusear, mais resistentes e possuem menor infiltração de oxigênio. A efetividade do filme plástico é maior quando está bem selado à massa de silagem, principalmente nas bordas do silo, sendo que o uso de terra ou sacos sobre o filme auxilia nesse processo (Holmes & Muck, 2000).

As perdas durante os processos de carregamento, armazenagem e utilização estão diretamente relacionadas à densidade da silagem. Uma silagem densa, com retirada uniforme na face de utilização, possui menos perda que uma face porosa (Holmes & Muck, 2000).

1.8.2 Temperatura da silagem

Silagens em áreas periféricas do silo, como na superfície e laterais, possuem maior temperatura e pH em relação ao centro do silo, e menor teor de ácido láctico, pelo desenvolvimento de microrganismos como leveduras, fungos e clostrídeos (Borreani & Tabacco, 2010). Nas regiões mofadas, esse efeito é agravado com baixas concentrações de ácidos orgânicos, pH próximo da neutralidade, elevada temperatura e contagem de microrganismos. Os autores sugerem que temperaturas da silagem do painel do silo acima de 5°C em relação ao centro do silo possuem maior atividade microbiana, sendo um parâmetro rápido e fácil de utilizar a campo.

A atividade dos microrganismos que decompõem a silagem será mais intensa, quanto melhor for a qualidade da silagem, em função dos maiores teores de carboidratos

solúveis e de ácido láctico residuais. Os principais substratos utilizados são os ácidos, o etanol e os açúcares solúveis, resultando em aumento do pH e redução na digestibilidade e no conteúdo de energia. Em condições de campo, a deterioração da silagem pode ser facilmente identificada pela elevação da temperatura no painel do silo. (Jobim et al., 2007).

1.8.3 Perdas por efluente

O volume de efluente é influenciado pelo conteúdo de MS, tamanho de partículas, processamento, grau de compactação, tipo de silo e características da própria planta (Jobim et al., 2007; Oliveira, 2010).

Silagens de milho muito úmidas produzem efluente, que representa perdas quantitativas e qualitativas, uma vez que são perdidos carboidratos, ácidos orgânicos, compostos nitrogenados e minerais (Senger et al., 2005; Faria et al., 2010). Além disso, o efluente de silagem é um potente poluidor ambiental (Wright, 1997; Loures et al., 2005) principalmente se atingir cursos de água ou lençol freático (Schmidt et al., 2011).

A ensilagem no ponto correto com adequado teor de MS, no caso do milho entre 300 e 350 g/kg, pode evitar a produção de efluentes. Segundo Holmes & Muck (2000), a produção de efluentes é evitada com teor de MS acima de 300 g/kg.

Referências

- ALLEN, M.S.; COORS, J.G.; ROTH, G.W. Corn Silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.547-608.
- ALVAREZ, C.G.D.; PINHO, R.G.; BORGES, I.D. Avaliação de características bromatológicas da forragem de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência Agrotécnica**, v.30, n.3, p.409-414, 2006.
- AMARAL, R.C.; DANIEL, J.L.P.; SÁ NETO, A. Influence of covering strategies on feed losses and fermentation quality of maize silage stored in bunker silos. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 16., 2012, Hämeenlinna. **Proceedings...** Hämeenlinna: University of Helsinki, 2012a. p.290-291.
- AMARAL, R.C.; DANIEL, J.L.P.; SÁ NETO, A. Performance of Holstein cows fed diets containing maize silage from silos with different covering methods. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 16., 2012, Hämeenlinna. **Proceedings...** Hämeenlinna: University of Helsinki, 2012b. p.471-472.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS – ASAE. ASAE S424.1: method of determining and expressing particle size of chopped forage materials by screening. In: ASAE Standarts. 41.ed. St. Joseph: ASAE, 1994. p.479-481.
- ARGILLIER, O.; HEBERT, Y.; BARRIERE, Y. Relationships between biomass yield, grain production, lodging susceptibility and feeding value in silage maize. **Maydica**, v.40, n.2, p.125-136, 1995.
- ASHBELL, G.; LISKER, N. Aerobic deterioration in maize silage stored in a bunker silos under farm conditions in a subtropical climate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.45, n.4, p.307-315, 1988.
- ASHLEY, R.O. [2001]. **Corn maturity and ensiling Corn**. Dickinson: Dickinson Research Extension Center, 2001. Disponível em: <<http://www.ag.ndsu.edu/archive/dickinson/agronomy/cornmaturity.htm>>. Acesso em: 7 mar. 2013.
- BAL, M.A.; COORS, J.G.; SHAVER, R.D. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.10, p.2497-2503, 1997.
- BAL, M.A.; SHAVER, R.D.; JIROVEC, A.G. et al. Crop Processing and Chop Length of Corn Silage: Effects on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.83, n.6, p.1264-1273, 2000.
- BARNETT, A.J.G. **Silage fermentation**. New York: Academy Press, 1954.
- BAUCHER, M.B.; MONTIES, M.; MONGATU, M. et al. Biosynthesis and genetic engineering of lignin. **Critical Reviews Plant Science**, v.17, n.2, p.125-197, 1998.

- BERNARDES, T.F. Sealing strategies to control the top losses in horizontal silos. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 1., 2009, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: USP, 2009. p.209-224.
- BERNARDES, T.F. **Levantamento das práticas de produção e uso de silagens em fazendas leiteiras no Brasil**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2012. 17p. (E-book).
- BICKERT, W.G.; HOLMES, B.; JANNI, K. et al. **Dairy freestall: housing and equipment**. 7.ed. Ames: Iowa State University, 2000. 164p.
- BOLSEN, K.K.; DICKERSON, J.T.; BRENT, B.E. et al. Rate and extent of top spoilage losses in horizontal silos. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.10, p.2940-2962, 1993.
- BORREANI, G.; TABACCO, E. The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. **Journal of Dairy Science**, v.93, n.6, p.2620-2629, 2010.
- BORREANI, G.; TABACCO, E. Effect of silo management factors on aerobic stability and extent of spoilage in farm maize silages. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 16., 2012, Hämeenlinna. **Proceedings...** Hämeenlinna: University of Helsinki, 2012. p.71-72.
- BORREANI, G.; TABACCO, E.; ANTONIAZZI, S. et al. Zearalenone contamination in farm maize silage. **Italian Journal of Animal Science**, v.4, suppl.2, p.162-165, 2005.
- BORREANI, G.; TABACCO, E.; CAVALLARIN, L. A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.10, p.4701-4706, 2007.
- BRAVERMAN, S.W. Disease resistance in cool-season forage, range and turf grasses II. **The Botanical Review**, v.52, n.1, p.1-112, 1986.
- CLARK, P.W.; ARMENTANO, L.E. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.3, p.581-588, 1999.
- COELHO, A.M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. (Circular Técnica, 78).
- CORREA, L.B.; ZANETTI, M.A.; DEL CLARO, G.R. et al. Resposta em parâmetros sanguíneos e urinários de vacas leiteiras ao aumento no balanço cátion-aniônico da dieta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.3, p.655-661, 2009.
- COX, W.J. Corn silage and grain yield responses to plant densities. **Journal of Production Agriculture**, v.10, n.3, p.405-410, 1997.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. **Agronomy Journal**, v.93, n.3, p.597-602, 2001.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H. Timing corn forage harvest for bunker silos. **Agronomy Journal**, v.97, n.1, p.142-146, 2005.
- COX, W.J.; CHERNEY, D.R.; HANCHAR, J.J. Row spacing, hybrid, and plant density effects on corn silage yield and quality. **Journal of Production Agriculture**, v.11, n.1, p.128-134, 2005.
- D'AMOURS, L.; SAVOIE, P. Density profile of corn silage in bunker silos. **Canadian Biosystems Engineering**, v.47, n.2, p.2.21-2.28, 2005.
- DEINUM, B. Genetic and environmental variation in quality of forage maize in Europe. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.36, p.400-403, 1988.

- DROUIN, P.; LAFRENIERE, C. Clostridial spores in animal feeds and milk. In: CHAIYABUTR, N. (Ed.) **Milk production: an up-to-date overview of animal nutrition, management and health**. Rijeka: Intech, 2012. p.375-394.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA [2001]. **Silagem de milho ou sorgo: quando bem preparada é alimento garantido**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. Disponível em: <<http://www.cileite.com.br/sites/default/files/42Instrucao.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA [2005]. **Custos de forrageiras**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. Disponível em: <<http://www.cnp.gl.embrapa.br/nova/informacoes/custos/custos2.php>>. Acesso em: 2 maio 2012.
- FILYA, I.; SUCU, E.; KARABULUT, A. The effect of Propionibacterium acidipropionici, with or without Lactobacillus plantarum, on the fermentation and aerobic stability of wheat, sorghum and maize silages. **Journal of Applied Microbiology**, v.97, n.4, p.818-826, 2004.
- FERRARETTO, L.F; SHAVER, R.D. Meta-analysis: effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v.28, n.2, p.141-149, 2012.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO [2011]. **Faostat**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/569/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 29 abr. 2012.
- FUNDAÇÃO ABC. **Banco de dados agrônômico**. Castro: Fundação ABC, 2011.
- GARON, D.; RICHARD, E.; SAGE, L. et al. Mycoflora and multimycotoxin detection in corn silage: Experimental study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, n.9, p.3479-3484, 2006.
- GUARESCHI, R.F.; GAZOLLA, P.R.; PERIN, A. et al. Produção de massa de milho em função do arranjo populacional e adubação. **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, n.3, p.468-475, 2008.
- HEINRICHS, A.J.; LAMMERS, B.P. Particle size recommendations for dairy cattle. In: NRAES-99. **Silage: field to feedbunk**. Ithaca: Northeast Regional Agriculture Engineer Service, 1997. p.268-278.
- HOLMES, B.; MUCK, R.E. [1999]. **Factors affecting bunker silo densities**. Disponível em: <<http://www.uwex.edu/ces/crops/ufwforage/BunkDens3.PDF>>. Acesso em: 6 mar. 2013.
- HOLMES, B.; MUCK, R.E. [2000]. **Preventing silage storage losses**. Disponível em: <<http://www.uwex.edu/ces/crops/ufwforage/prevent-silage-storage7.PDF>>. Acesso em: 6 mar. 2013.
- HOLMES, B.; MUCK, R.E. [2008]. **Bunker silo silage density calculator**. Disponível em: <<http://www.uwex.edu/ces/crops/ufwforage/storage.htm>>. Acesso em: 6 mar. 2013.
- HOLMES, B.J. **Software applications for sizing silos to maximize silage quality**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 1., 2009. São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: USP, 2009. p.189-208.
- HONIG, H. Reducing losses during storage and unloading of silage. In: EUROPEAN GRASSLAND FEDERATION FORAGE CONSERVATION TOWARDS 2000 CONFERENCE, 1991, Braunschweig. **Proceedings...** Braunschweig: [s.n.], 1991. p.116-128.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE [2012]. **Produção da pecuária municipal 2012**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2012>>. Acesso em: 29 abr. 2013.
- IVANEK, R.; GROHN, Y.; WIEDMANN, M. *Listeria monocytogenes* in multiple habitats and host populations: Review of available data for mathematical modeling. **Foodborne Pathogens and Disease**, v.3, n.4, p.319-336, 2006.
- JANSSEN, H.P. **Adubação nitrogenada para rendimento de milho silagem em sucessão ao azevém pastejado, pré-secado e cobertura em sistemas integrados de produção**. 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, supl. spe., p.101-119, 2007.
- JOHNSON, L.; HARRISON, J.H.; HUNT, C. et al. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.12, p.2813-2825, 1999.
- JOHNSON, L.M.; HARRISON, J.H.; DAVIDSON, D. et al. Corn silage management: effects of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. **Journal of Dairy Science**, v.85, n.2, p.434-444, 2002.
- JOHNSON, L.M.; HARRISON, J.H.; DAVIDSON, D. et al. Corn silage management: effects of hybrid, chop length, and mechanical processing on digestion and energy content. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.1, p.208-231, 2003.
- KLEINSCHMIT, D.H.; KUNG, L.J. A Meta-Analysis of the Effects of *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation and Aerobic Stability of Corn and Grass and Small-Grain Silages. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.10, p.4005-4013, 2006.
- KLEINSCHMIT, D.H.; SCHMIDT, R.J.; KUNG JR, L. The effects of various antifungal additives on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.6, p.2130-2139, 2005.
- KONONOFF, P.J.; HEINRICHS, A.J. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.7, p.2438-2451, 2003.
- KUNG, L. Silage Fermentation and Additives. In: DIRECT-FED Microbial, Enzyme and Forage Additive Compendium. Minnetonka: Miller Publishing Co, 2001. p.1-18.
- KUNG, L. The effects of length on storage on the nutritive value and aerobic stability of silages. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 3., 2013, Campinas. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2013. p.7-19.
- LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICHS, A.J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.5, p.922-928, 1996.
- LAUER, J.G.; COORS, J.G.; FLANNERY, P.J. Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. **Crop Science**, v.41, n.5, p.1449-1455, 2001.
- LINN, J. Making high corn silage diets work. In: MINNESOTA DAIRY CONFERENCE AND DAIRY EXPO, 2003, St. Cloud. **Proceedings...** St. Cloud: University of Minnesota, 2003. p.58-63.
- LOURES, D.R.S.; NUSSIO, L.G.; PAZIANI, S.F. et al. Composição bromatológica e produção de efluente de silagem de capim-Tanzânia sob efeito de emurchecimento, do tamanho de partícula e do uso de aditivos biológicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.726-735, 2005.

- McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991.
- MENEZES, L.F.G.; RONSANI, R.; PAVINATO, P.S. et al. Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.3, p.1353-1362, 2013.
- METCALFE, D.S.; HEATH, M.E.; BARNES, R.F. **Forages: the science of grassland agriculture**. 4.ed. Iowa: Wiley & Sons, 1985. 644p.
- MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.7, p.1463, 1997.
- MORAES, G.J.; COSTA, C.; MEIRELLES, P.R.L. et al. Produtividade e valor nutritivo das plantas de milho de textura dentada ou dura em três estádios de colheita para silagem. **Boletim da Indústria Animal**, v.65, n.2, p.155-166, 2008.
- MORAN, J.P.; WEINBERG, G.; ASHBELL, Y.H. et al. A comparison of two methods for the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 11., 1996, Aberystwyth. **Proceedings...** Aberystwyth: University of Wales Aberystwyth, 1996. p.162-163.
- MORELLI, M.; BASSO, F.C.; LARA, E.C. et al. Fermentation, microbial occurrence and aerobic stability of corn silages inoculated with *Bacillus subtilis*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, [2011]. (CD-ROM).
- MUCK, R.E. Factors influencing silage quality and their implications for management. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.11, p.2992-3002, 1988.
- MUCK, R.E. Effect of inoculation level on alfalfa silage quality. **Transactions of the ASAE**, v.32, n.4, p.1153-1158, 1989.
- MUCK, R.E. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, supl. spe., p.183-191, 2010.
- MUCK, R.E.; HOLMES, B.J. Factors affecting bunker silo densities. **Applied Engineering in Agriculture**, v.16, n.6, p.613-619, 2000.
- MUCK, R.E.; KUNG JR., L. Effects of silage additives on ensiling. In: SILAGE: field to feedbunk. Ithaca: Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 1997. p.187-199.
- MUCK, R.E.; ROTZ, C.A. Bunker silo unloaders: an economic comparison. **Applied Engineering in Agriculture**, v.12, n.3, p.273-280, 1996.
- MUCK, R.E.; MOSER, L.E.; PITT, R.E. Postharvest factors affecting ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.251-304.
- MUCK, R.E.; SAVOIE, P.; HOLMES, B.J. Laboratory assessment of bunker silo density, part I: Alfalfa and grass. **Applied Engineering in Agriculture**, v.20, n.2, p.157-164, 2004.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
- NEUMANN, M.; SANDINI, I.E.; LUSTOSA, E.B.C. et al. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (zea mays l.) Para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.3, p.418-427, 2005a.

- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I.L. et al. Efeito do tamanho de partícula e do tipo de silo sobre o valor nutritivo da silagem de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.224-242, 2005b.
- NEUMANN, M.; MUHLBACH, P.R.F.; NORBERG, J.L. et al. Características da fermentação da silage obtida em diferentes tipos de silo sob efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho. **Ciência Rural**, v.37, n.3, p.847-854, 2007.
- NUSSIO, L.G.; CAMPOS, F.P.; DIAS, F.N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM/CCA/DZO, 2001. p.319.
- OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P. et al. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.1, p.61-67, 2010.
- PAHLOW, G.; MUCK, R.E.; DRIEHUIS, F. et al. Microbiology of ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. 1.ed. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p.31-94.
- PATERSON, J.A.; BELYEA, R.L.; BOWMAN, J.P. et al. The impact of forage quality and supplementation regimen on ruminant animal intake and performance. In: FAHEY, G.J. (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 1994. p.59-114.
- PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY – PENN STATE. **From harvest to feed: understanding silage management**. State College: Pennsylvania State University, 2004. 40p.
- PEREIRA, J.R.A. Custom services for forage conservation services. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2011. p.183-195.
- PIOVESAN, R.P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.757-766, 2009.
- PUTNAM, D.H. Marketing of conserved forages based upon quality attributes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2011. p.257-277.
- RUPPEL, K.A.; PITT, R.E.; CHASE, L.E. et al. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.1, p.141-153, 1995.
- SAVOIE, P.; MUCK, R.E.; HOLMES, B.J. Laboratory assessment of bunker silo density, part II: Whole-plant corn. **Applied Engineering in Agriculture**, v.20, n.2, p.165-171, 2004.
- SCHMIDT, P.; NOVINSKI, C.O.; JUNGES, D. Riscos ambientais oriundos de compostos orgânicos voláteis e do efluente produzido por silagens. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 4., 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 2011. p.251-270.
- SCHÖNDORFER, K.; ARAGÓN, Y.A.; CHECOLI, M. et al. Stability enhancing effects of *Lactobacillus brevis* on maize silages. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011. São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, [2011a]. (CD-ROM).

- SCHÖNDORFER, K.; ARAGÓN, Y.A.; CHECOLI, M. et al. Improvement of aerobic stability and reduction of aerobic dry matter losses in different silage materials by biological inoculants containing *Lactobacillus brevis*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011. São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, [2011b]. (CD-ROM).
- SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO – SEAB. **Produção agrícola do Estado do Paraná**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137>>. Acessado em: 6 set. 2012.
- SENGER, C.C.D.; MUHLBACH, P.R.F.; SANCHEZ, L.M.B. et al. Composição química e digestibilidade ‘in vitro’ de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1393-1399, 2005.
- TREVISI, E.; BANI, E.; BERTONI, G. Effect of use of maize-silage with low aerobic stability on performance of lactating dairy cows. **Veterinary Record**, v.27, suppl.1, p.273-275, 2003.
- UENO, R.K.; NEUMANN, M.; MARAFON, F. 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.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.
- WOOLFORD, M.K. The detrimental effect of air on silage. **Journal of Applied Bacteriology**, v.68, n.2, p.101-116, 1990.
- WRIGHT, P. **Silage leachate control**. In: NRAES-99. Silage: field to feedbunk. Ithaca: Northeast Regional Agriculture Engineer Service, 1997.
- YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.3, p.1090-1098, 2005.
- YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Increasing the physically effective fiber content of dairy cow diets may lower efficiency of feed use. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.7, p.2694-2704, 2006.
- ZEBELI, Q.; TAJAJ, M.; STEINGASS, H. 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.
- ZEBELI, Q.; DIJKSTRA, J.; TAJAJ, M. et al. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. **Journal of Dairy Science**, v.91, n.5, p.2046-2066, 2008.
- ZOPOLLATO, M.; DANIEL, J.L.P.; NUSSIO, L.G. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n. spe., p.170-189, 2009a.
- ZOPOLLATO, M.; NUSSIO, L.G.; MARI, L.J. Alterações na composição morfológica em função do estágio de maturação em cultivares de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.3, p.452-461, 2009b.

II – OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da tecnologia de produção de silagem na qualidade da silagem de milho, dieta dos animais, produção e qualidade do leite.

Os objetivos específicos são:

- avaliar a frequência e os tipos de perdas de silagem nos silos da região e sua relação com a tecnologia de produção de silagem, qualidade da silagem, dieta, produção e qualidade do leite;
- relacionar as características físicas das silagens com a tecnologia de produção de silagem e os efeitos sobre a qualidade da silagem, dieta, produção e qualidade do leite; e
- identificar os sistemas de produção de silagem com distintos níveis tecnológicos e seus efeitos sobre a qualidade da silagem, dieta, produção e qualidade do leite.

III – Perdas físicas em silagem de milho em relação à tecnologia de ensilagem, qualidade da silagem, dieta, produção e qualidade do leite

RESUMO - Objetivou-se neste trabalho relacionar as perdas físicas de silagem por efluentes, camada superficial deteriorada e descarte durante a utilização com a tecnologia de produção de silagem, características químicas e físicas da silagem, dieta, produção e qualidade do leite. Foram coletadas amostras de silagens de milho de 108 silos em propriedades da região Centro-oriental paranaense, sendo obtidas informações referentes à lavoura, processo de ensilagem, características dos silos, dietas dos animais, produção e qualidade do leite. As perdas por efluentes foram maiores em silagens com menor teor de matéria seca. Houve maiores perdas por camada deteriorada quando os silos eram do tipo superfície, não houve cobertura da lona com terra e a retirada da silagem foi realizada por trator com concha. Os maiores descartes de silagem ocorreram quando a colheita foi realizada com máquina automotriz, o tamanho de partículas era maior e a densidade da silagem menor. Não houve relação das perdas com a composição química da silagem e da dieta bem como com a produção e qualidade do leite. Conclui-se que as perdas físicas de silagem são reduzidas com melhores práticas de ensilagem e utilização, contudo não se relacionam com a dieta, produção e qualidade do leite.

Palavras-chave: colhedora de forragem, descarte, deteriorada, efluente, lona, silo

Physical losses in corn silage considering ensiling technologies, silage quality, diet, production and milk quality

ABSTRACT - The objective of this study was to relate the physical losses of silage by effluent, surface layer deteriorated and disposal, with silage production technology, physical and chemical silage quality, diet, milk production and composition. Samples of corn silage were collected in silos of 108 properties in the Parana State, and were collected data relating to farming, ensiling process, and characteristics of silos, animal diets, production and milk composition. The effluent losses were higher in silages with lower dry matter content. There were greater losses by deteriorated layer when the silos were surface type, no covered with soil and silage removal was made with a scoop tractor. The highest discard of silage occurred when the crop was harvested with self-propelled machine, the particle size was larger and the density of the silage was lower. There was no relationship between losses and silage chemical composition, diets as well as the production and milk composition. It is concluded that physical losses of silage are reduced with best practices of ensiling and use, however are not related to the diet, production and milk composition.

Key Words: discard, effluent, film, forage harvester, silo, spoilt

Introdução

A cultura do milho para silagem é uma das mais produtivas em termos de energia digestível por área, pela sua elevada produção de massa e qualidade nutricional. Este fato, mesmo em pequenas propriedades, possibilita explorações pecuárias intensivas com alta produtividade animal.

Objetiva-se com a conservação de forragens, manter a qualidade o mais próximo possível da forragem original com o mínimo de perdas de matéria seca e de energia (Van Soest, 1994).

Apesar do investimento na implantação, nos tratos culturais e na ensilagem do milho, a silagem torna-se um alimento de baixo custo pela sua alta produção de massa (Pereira, 2011). Contudo, as perdas físicas elevam proporcionalmente o custo por quilo de matéria seca, afetando os custos com alimentação e, em consequência, a lucratividade da propriedade.

As perdas dependem de decisões de manejo, antes, durante e após a ensilagem. A maior parte dos fatores determinantes de perdas no processo de ensilagem está sob o controle dos produtores. Desde o manejo da lavoura, como escolha do híbrido, adubação, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, passando pela tecnologia de ensilagem (como teor de matéria seca, tamanho de partículas, compactação, tipo de silo, uso de aditivos, vedação), até a forma de retirada da silagem e manejo de cocho são fatores determinantes da magnitude das perdas (Allen et al., 2003).

As perdas físicas de silagem (quantidade) podem ser muito maiores que as perdas pelo processo de fermentação (gases), enquanto que as perdas pela fermentação em silagem de milho variam entre 1 e 100 g/kg (Kleinschmit & Kung, 2006; Oliveira et al., 2010; Schöndorfer et al., 2011a; Schöndorfer et al., 2011b), as perdas físicas em condições normais de campo são da ordem de 200 a 340 g/kg (McDonald et al., 1991), podendo chegar a 780 g/kg quando ocorrem danos ao silo, como furos na lona, rachadura nas paredes e infiltração de água (Bolsen et al., 1993).

As perdas físicas podem se relacionar com a composição nutricional da silagem (Linn, 2003), que influencia a disponibilidade de nutrientes para os animais, afetando a composição das dietas, o consumo de matéria seca e, conseqüentemente, a produção e a qualidade do leite (NRC, 2001).

Apesar da importância das perdas, poucos estudos têm sido realizados em condições de campo. A maioria das pesquisas com perdas de silagem foram realizadas

em silos de laboratório (Jobim et al., 2007), que nem sempre representam a situação real do produtor (Neumann et al., 2007).

Objetivou-se neste trabalho relacionar as perdas físicas de silagem, ocasionadas por efluentes, camada superficial deteriorada e por descarte durante a utilização, com a tecnologia de produção de silagem, características químicas e físicas da silagem, dieta, produção e qualidade do leite.

Material e Métodos

Entre os meses de março a julho de 2011 foram visitadas 95 propriedades, em oito municípios da região Centro-oriental paranaense, sendo avaliadas as silagens de 108 silos que estavam sendo utilizadas na alimentação dos animais. As propriedades visitadas possuíam de 1,5 a 120 ha destinados à produção de silagem, de dez a 600 vacas em lactação e produção de leite de 17,7 a 42,2 kg/vaca/dia. Ao todo, as 95 propriedades cultivaram 2.852 ha de milho para silagem e possuíam 10.061 vacas em lactação, sendo a maior parte da raça Holandesa (82%).

Nos silos visitados, as avaliações “in loco” foram densidade da matéria natural, temperatura da silagem, tipo de silo (trincheira ou superfície), cor da lona de polietileno (preta, branca, preta e branca, preta e cinza), cobertura sobre a lona (terra, sem, outros) e forma de retirada da silagem (manual com garfo, trator com concha, desensiladora tipo fresa, cortador de silagem em bloco).

A densidade da matéria natural da silagem (DEM_N) foi determinada conforme metodologia proposta por D'Amours & Savoie (2005). Foram amostrados cinco pontos no painel do silo, sendo dois na parte superior, dois na parte inferior e um no centro do silo. As amostragens foram realizadas com uso de cilindro metálico, que possuía 20,0 cm de comprimento e 10,0 cm de diâmetro. A DE foi determinada segundo a equação: $DEM_N (kg/m^3) = \text{Massa Silagem Amostrada (kg)} / \text{Volume Coletado (m}^3\text{)}$.

A temperatura da silagem foi medida com termômetro digital tipo “espeto”, na profundidade de 0 a 15 cm, em cinco pontos do painel do silo.

Um questionário foi aplicado aos produtores com relação à colheita da silagem (própria ou terceirizada), tipo de máquina ensiladora (automotriz ou montada), híbrido de milho utilizado, com ou sem a tecnologia Bt para controle de insetos, se houve aplicação de fungicida na lavoura e se foi aplicado inoculante durante a ensilagem.

As avaliações de perdas foram qualitativas, utilizando a escala: ausente, baixa, média e alta. Foram avaliadas as perdas por descarte de silagem, camada deteriorada abaixo da lona e efluentes.

Uma amostra de silagem foi coletada para determinação da estabilidade aeróbia, distribuição e tamanho de partículas e demais análises químicas.

Para a avaliação da estabilidade aeróbia, amostras das silagens foram coletadas e colocadas em baldes de 20 litros. Os baldes com as silagens foram deixados abertos, em estufa com temperatura de 25°C +/- 2°C, durante 120h. A temperatura das silagens foi medida a cada 24h, sendo a estabilidade aeróbia quebrada quando a temperatura da silagem aumentou 2°C em relação à temperatura ambiente (Moran, 1996).

A distribuição e tamanho médio de partículas (TMP) foram determinados com uso das peneiras Penn State, que consistem de três peneiras com diâmetros de 19,0, 8,0 e 1,18 mm, mais uma caixa de fundo (Lammers et al., 1996).

As determinações químicas da silagem foram teor de matéria seca (MS), segundo AOAC (1998), proteína bruta (PB) pelo método de combustão Dumas (Nelson & Sommers, 1980), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), conforme Van Soest (1991), digestibilidade “in vitro” da matéria seca (DIVMS) por Tilley & Terry (1963), amido, conforme Pereira & Rossi (1995), potencial hidrogeniônico (pH) através de potenciômetro (Silva & Queiroz, 2006) e micotoxina Zearalenona por cromatografia líquida em camada delgada (Scott, 1997). Os teores de nutrientes digestíveis totais (NDT) foram estimados pela equação $NDT = 87,84 - (0,7 \times FDA)$, conforme Undersander et al. (1993) e o valor relativo nutricional (VRN) pela equação $VRN = (IMS \times DMS)/1,29$, em que $IMS = 120/FDN$ e $DMS = 88,9 - (0,779 \times FDA)$, conforme Rohweder et al. (1978).

Como nem todas as propriedades possuíam dieta balanceada ou realizavam controle leiteiro, foram obtidas informações de 50 propriedades quanto à dieta dos animais e de 59 propriedades quanto à produção e qualidade do leite.

As informações sobre as dietas obtidas foram quantidade de silagem de milho por animal, porcentagem de silagem de milho na dieta, porcentagem de volumoso na dieta, quantidade total de MS ofertada por animal e teores de MS, PB, FDA, FDN, amido, extrato etéreo e NDT, expressos na base seca.

As avaliações de produção e qualidade do leite foram realizadas pela Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH). A metodologia utilizada nas análises de proteína, gordura, lactose e sólidos foi por infravermelho e

contagem de células somáticas (CCS) por citometria de fluxo. Foi utilizado o controle leiteiro mais próximo da data de coleta da silagem, em média 11 dias após a coleta.

Para análise dos dados entre as variáveis independentes (informações sobre o silo e ensilagem) e as variáveis resposta (efluente, camada deteriorada abaixo da lona e descarte de silagem), foi realizado o Teste Exato de Fischer, usando análise de Qui-quadrado (χ^2), a 0,05 de probabilidade de erro (Zar, 2010). O teste de correlação de Pearson foi realizado entre as perdas, características químicas e físicas da silagem, dieta, produção e qualidade do leite, ao nível de 0,05 de probabilidade. O programa estatístico utilizado foi o SAS 9.3, através dos procedimentos ProcFreq e Proc Corr.

Resultados e Discussão

A frequência e a magnitude das perdas de silagem estão apresentadas na Tabela 1. O descarte de silagem teve a maior frequência entre as perdas avaliadas, estando presente em 97% dos silos, com magnitude de média a alta em 53% dos casos. Perdas por camada deteriorada foram observadas em 33% dos silos, valor próximo ao encontrado por Borreani & Tabacco (2012), que avaliaram silos comerciais em 100 fazendas na Itália, e observaram que 29 e 46% dos silos possuíam camada deteriorada no inverno e verão, respectivamente.

Quanto às perdas por efluentes, a maior parte dos silos não mostrou presença de efluentes, observado em 27% dos casos.

Tabela 1 - Frequência e magnitude das perdas de silagem

Agente Determinante	Ausente ¹		Baixa		Média		Alta	
	n ²	%	n	%	n	%	n	%
Efluente	79	73,15	17	15,74	6	5,56	6	5,56
Camada Deteriorada	72	66,67	20	18,52	11	10,19	5	4,63
Descarte de Silagem	3	2,78	47	43,52	44	40,74	14	12,96

¹Avaliações qualitativas na escala: ausente, baixa, média e alta.

²Número de silos de um total de 108.

A presença de efluentes não foi afetada pelas variáveis referentes ao processo de ensilagem e características dos silos (Tabela 2). A camada deteriorada abaixo da lona foi afetada pelo tipo do silo, cobertura da lona e forma de retirada da silagem. O descarte de silagem foi afetado pelo tipo de máquina empregada na colheita. As observações referentes às perdas superficiais evidenciam a grande importância da vedação do silo, com necessidade de colocar algum material sobre a lona, de preferência

terra. A utilização de terra ou outros materiais como bagaço de cana na cobertura da lona dos silos melhora a vedação e reduz as perdas de MS (Bernardes, 2009; Amaral et al., 2012).

Tabela 2 - Teste Exato de Fisher (Qui-quadrado χ^2) para relacionar as tecnologias de ensilagem com as perdas de silagem

Variável	Efluente	Camada Deteriorada	Descarte de Silagem
	P> χ^2	P> χ^2	P> χ^2
Colheita	0,8281	0,3688	0,3520
Tipo Máquina	0,9601	0,3584	0,0245
Inoculante	0,6735	0,8096	0,0733
Híbrido	0,2665	0,2950	0,0517
Bt	0,9218	0,1377	0,4158
Fungicida	0,6079	0,9109	0,7543
Tipo Silo	0,0587	0,0437	0,9791
Cor Lona	0,9230	0,7452	0,6053
Cobertura	0,8806	0,0017	0,1340
Forma de Retirada	0,4926	0,0395	0,4427

Na Tabela 3 observa-se que os silos tipo trincheira apresentaram menor ocorrência de perdas por camada deteriorada classificada como “alta” em relação aos silos de superfície (1,23% x 14,81%). As maiores perdas nos silos de superfície estão relacionadas à menor densidade da matéria natural (DEMN) em relação aos silos trincheira (Ruppel et al., 1995; Oliveira, 2001; Bolsen et al., 2012). No presente trabalho, a DEMN média dos silos avaliados foi de 659 e 695 kg/m³, para silos de superfície e trincheira, respectivamente.

Tabela 3 - Frequência de perdas pela camada deteriorada de silagem abaixo da lona em função do tipo de silo, cobertura da lona e retirada da silagem

Variável	Ausente ¹		Baixa		Média		Alta	
	n ²	%	N	%	n	%	n	%
Tipo de Silo								
Trincheira (81)	57	70,47	15	18,52	8	9,88	1	1,23
Superfície (27)	15	55,56	5	18,52	3	11,11	4	14,81
Cobertura da Lona								
Terra (92)	66	71,74	15	16,30	9	9,78	2	2,17
Outros (8)	1	12,50	4	50,00	2	25,00	1	12,50
Sem (8)	5	62,50	1	12,50	0	0,00	2	25,00
Retirada da Silagem								
Bloco (2)	0	0,00	2	100,00	0	0,00	0	0,00
Desensiladora (15)	9	60,00	4	26,67	2	13,33	0	0,00
Garfo (67)	47	70,15	13	19,40	5	7,46	2	2,99
Concha (24)	16	66,67	1	4,17	4	16,67	3	12,50

¹Avaliações qualitativas na escala: ausente, baixa, média e alta.

²Número de silos de um total de 108.

A cobertura da lona com terra reduziu a ocorrência de perdas por camada deteriorada classificada como “alta”, em relação aos silos onde não foi colocado nenhum material sobre a lona (2,17% x 25,00%). Os silos que foram cobertos com algum material que não a terra (pneus, sacos de areia ou palha), tiveram resultado intermediário (12,50%). Os resultados obtidos nesse trabalho corroboram com Bernardes (2009) e Amaral et al. (2012) que observaram menores perdas quando se utilizou terra ou bagaço de cana na cobertura da lona de vedação dos silos.

A retirada da silagem com a concha também aumentou a frequência de silos com alta perda por camada deteriorada (12,50%), em relação às retiradas com garfo (2,99%), desensiladora ou bloco (0%). O revolvimento irregular da silagem no painel do silo, causado pela concha, causa fissuras, permitindo que o oxigênio penetre profundamente na massa ensilada, favorecendo a deterioração (Muck & Rotz, 1996; Holmes, 2009).

A colheita de silagem com automotriz apresentou maior frequência de perdas classificadas como “alta” por descarte de silagem em relação à colheita com máquina montada (20,34% x 4,08%) (Tabela 4). Isso pode ter ocorrido em função das máquinas automotrizas produzirem grande volume de massa colhida por hora, excedendo a capacidade de compactação, ou ainda, pelo maior tamanho de partículas, já que essas máquinas possuem processador de grãos, permitindo a regulagem para maior tamanho do picado. Em consequência da maior porosidade da silagem, a atividade microbológica é favorecida (Muck et al., 2003), aumentando as perdas e o descarte de silagem, como observado por D’Amours & Savoie (2005).

Tabela 4 - Frequência de perdas por descarte de silagem em função do tipo de máquina empregada na colheita do milho

Variável	Ausente ¹		Baixa		Média		Alta	
	n ²	%	N	%	n	%	n	%
Tipo de Máquina								
Automotriz (59)	2	3,39	20	33,90	25	42,37	12	20,34
Tratorizada (49)	1	2,04	27	55,10	19	38,78	2	4,08

¹Avaliações qualitativas na escala: ausente, baixa, média e alta.

²Número de silos de um total de 108.

As perdas por camada deteriorada não tiveram relação com as características físicas e químicas da silagem.

As perdas pela produção de efluentes foram maiores quando os teores de MS eram mais baixos (Tabela 5). O volume de efluente é influenciado pelo conteúdo de

MS, tamanho de partículas, grau de compactação, tipo de silo e características da própria planta (Oliveira, 2010; Schmidt al., 2011). As silagens com maiores perdas por efluentes também apresentaram menores valores de pH. Isto, possivelmente ocorre pela colheita prematura das plantas, com teores mais elevados de açúcares e água, favorecendo assim o desenvolvimento das bactérias ácido lácticas, responsáveis pela produção de ácido láctico, com consequente redução do pH da silagem (Senger et al., 2005).

Tabela 5 - Correlação entre os agentes de perdas com as características físicas e químicas da silagem

Variável	Efluente		Camada deteriorada		Descarte silagem	
	r	P>t	r	P>t	r	P>t
Características físicas						
MS	-0,2233	0,0202	-0,0669	0,4917	0,0508	0,6019
DEMN	0,0932	0,3376	0,0612	0,5294	-0,2055	0,0329
DEMS	-0,1732	0,0731	-0,0217	0,8239	-0,1568	0,1050
T0	0,1199	0,2163	0,1718	0,0755	0,3096	0,0011
Estabilidade	0,0042	0,9654	0,1079	0,2662	-0,1185	0,2218
P1	-0,1523	0,1155	0,0812	0,4035	0,1103	0,2557
P2	0,1661	0,0859	0,0675	0,4877	0,1172	0,2272
P3	-0,0677	0,4865	-0,1296	0,1814	-0,2161	0,0247
P4	-0,1649	0,0882	-0,0626	0,5198	0,0231	0,8123
TMP	0,0189	0,8462	0,1609	0,0963	0,2196	0,0224
Características químicas						
pH	-0,2472	0,0099	-0,0875	0,3679	-0,0004	0,9967
PB	0,1874	0,0522	-0,0744	0,4442	0,1177	0,2250
FDA	-0,0285	0,7694	0,1254	0,1962	0,0040	0,9673
FDN	0,0200	0,8374	0,1742	0,0713	0,0197	0,8398
Amido	-0,0678	0,4860	-0,0529	0,5867	-0,1120	0,2485
DIVMS	-0,1185	0,2219	0,0375	0,7003	-0,0038	0,9686
NDT	0,0285	0,7694	-0,1253	0,1963	-0,0039	0,9683
VRN	-0,0335	0,7310	-0,1591	0,1001	-0,0137	0,8879
Zearalenona	-0,0139	0,8861	-0,1221	0,2082	-0,1237	0,2023

DEMN: densidade da matéria natural; DEMS: densidade da matéria seca; T0: temperatura do painel do silo; estabilidade: estabilidade aeróbia; MS: matéria seca; PB: proteína bruta; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; NDT: nutrientes digestíveis totais; pH: potencial hidrogeniônico; P1: peneira 1, >19 mm; P2: peneira 2, 8 a 19 mm; P3: peneira 3, 1,18 a 8 mm; P4: peneira 4, < 1,18 mm; TMP: tamanho de partículas; VRN: valor relativo nutricional; DIVMS: digestibilidade “in vitro” da matéria seca.

Observou-se maior frequência de perdas por descarte de silagem quando a DEMN da silagem e o extrato retido na peneira 3 (Penn State <8,0 mm) eram menores, e o tamanho médio de partículas e a temperatura do painel do silo eram maiores (Tabela 5). O aumento da DEMN da silagem diminui a porosidade da silagem (Holmes, 2009), reduzindo a infiltração de O₂ e o desenvolvimento de microrganismos aeróbios, que causam a elevação da temperatura e da decomposição da silagem (Bolsen et al., 1993). No trabalho de Neumann et al. (2005), também foi

verificado que partículas de tamanhos grandes reduziram a eficiência de compactação e a DE da silagem, resultando em maiores perdas de massa verde e de massa seca (Neumann et al., 2007).

A fim de saber se as perdas físicas de silagem têm relação com o tamanho das propriedades e nível tecnológico, também foram coletadas algumas informações visando esta identificação. As perdas por efluente e camada deteriorada não diferiram entre as classes de propriedades, indicando que as perdas ocorrem tanto nas pequenas como grandes propriedades. Já as perdas por descarte de silagem foram menores nas propriedades com maior número de animais ($P < 0,05$), maior número de lotes de alimentação ($P < 0,05$) e que realizavam maior número de ordenhas diárias ($P < 0,05$). Este fato pode ser pelas propriedades maiores terem menores perdas ou por não descartarem a silagem deteriorada, já que possuem muitos animais e diferentes lotes para alimentar, reduzindo o tempo para manejo adequado da retirada da silagem.

Outro dado interessante foi quanto à frequência de torção de abomaso das vacas, que foi maior nas propriedades que descartavam menos silagem deteriorada ($P < 0,05$). A deterioração aeróbia da silagem pode resultar em produção de micotoxinas (Borreani et al., 2005; Garon et al., 2006) e crescimento de microrganismos patogênicos (Ivanek et al., 2006; Borreani & Tabacco, 2010), que causam desordens metabólicas em vacas leiteiras (Trevisi et al., 2003).

Quanto à composição química da silagem, não houve relação com os tipos de perdas avaliadas, com exceção dos valores de pH (Tabela 5). Este fato é interessante, pois evidencia que as perdas de nutrientes ficam limitadas às regiões periféricas do silo, principalmente nas camadas superior e lateral, onde a compactação e a vedação não são tão eficientes (Ashbell & Lisker, 1988; D'Amours & Savoie, 2005) e a infiltração de O_2 é maior (Borreani et al., 2007).

Como as perdas físicas de silagem não tiveram efeitos sobre a composição nutricional da silagem, também não houve alteração dos níveis nutricionais das dietas, produção e constituintes do leite, com exceção do teor de gordura *verso* camada deteriorada (Tabela 6).

Tabela 6 - Correlação entre os agentes de perdas com as dietas fornecidas aos animais, produção e qualidade do leite

Variável	Efluente		Camada Deteriorada		Descarte Silagem	
	R	P>t	r	P>t	r	P>t
Composição dieta						
SM	0,36354	0,0095	0,13780	0,3399	-0,16503	0,2521
SM:V	0,37501	0,0073	-0,16194	0,2612	-0,12539	0,3856
SM:D	0,25743	0,0711	0,06361	0,6608	-0,10625	0,4627
V:D	-0,10430	0,4710	0,29534	0,0373	-0,01313	0,9279
Oferta D	0,31581	0,0255	0,17899	0,2136	-0,13323	0,3563
MS	0,18365	0,2017	-0,10429	0,4711	-0,08631	0,5512
PB	0,06294	0,6641	-0,10162	0,4825	-0,21569	0,1325
FDN	-0,14558	0,3131	-0,03334	0,8182	0,00700	0,9615
FDA	-0,16196	0,2611	0,10877	0,4521	-0,06013	0,6783
Amido	0,09776	0,4994	-0,07160	0,6212	-0,16602	0,2492
EE	0,08758	0,5453	-0,22771	0,1117	-0,12839	0,3742
NDT	0,16710	0,2461	0,16499	0,2522	-0,02130	0,8833
Produção e qualidade do leite						
Produção	0,14975	0,2576	0,13474	0,3089	-0,14507	0,2730
Gordura	0,10534	0,4272	0,28253	0,0302	0,16167	0,2212
Proteína	-0,15321	0,2467	0,03292	0,8045	0,25297	0,0532
Lactose	-0,17209	0,2422	-0,13020	0,3777	-0,06252	0,6729
Sólidos	0,11016	0,4561	0,21050	0,1510	0,24603	0,0919
CCS	0,06054	0,6488	0,02755	0,8359	-0,14903	0,2599

SM: silagem de milho (kg/vaca/dia); SM:V: porcentagem de silagem no volumoso; SM:D: porcentagem de silagem de milho na dieta; V:D: relação volumoso concentrado na dieta; Oferta D: dieta ofertada (kg/vaca/dia); MS: matéria seca da; PB: proteína bruta; FDA: fibra insolúvel em detergente ácido; FDN: fibra insolúvel em detergente neutro; EE: extrato etéreo; NDT: nutrientes digestíveis totais; CCS: contagem de células somáticas (células/mL leite).

Nas propriedades onde as silagens apresentaram maiores perdas por efluentes, maior quantidade de silagem de milho foi fornecida aos animais, aumentando a proporção de silagem no volumoso e a quantidade total da dieta ofertada. Esse efeito pode ter sido uma tentativa de compensar eventuais perdas de qualidade, já que materiais ensilados com elevado teor de umidade resultam em perdas de compostos nitrogenados, carboidratos e minerais por meio do efluente (Faria et al., 2010).

O teor de gordura foi o único fator relacionado ao leite que foi afetado pelas perdas, sendo maior nas silagens com maiores perdas por camada deteriorada. Isso pode estar relacionado com a tendência de maior tamanho de partículas ($P<0,10$) e maior concentração de FDN ($P<0,10$) das silagens com camada deteriorada (Tabela 5). Silagens muito picadas podem reduzir o teor de gordura no leite (Fahey & Berger, 1988; Grant et al., 1990), bem como dietas com baixo teor de FDN (Mertens, 2001; Zebeli et al., 2006).

Em resumo, constatou-se que as perdas mais frequentes foram por descarte de silagem, seguidas de camada superficial deteriorada e ocorrência de efluente. As perdas pela produção de efluentes foram influenciadas somente pelo teor de matéria seca da

silagem. As perdas por camada superficial deteriorada abaixo da lona foram maiores em silos de superfície, sem cobertura da lona e retirada da silagem com concha. As perdas por descarte da silagem foram maiores quando a colheita foi realizada com máquina automotriz, o tamanho de partículas foi maior e a densidade da silagem menor. Não houve relação entre as perdas físicas de silagem e a composição química das silagens, níveis nutricionais das dietas, produção e qualidade do leite.

Conclusões

Conclui-se que as perdas físicas de silagem são reduzidas com melhores práticas de ensilagem e utilização da silagem, contudo não se relacionam com a dieta e produção de leite.

O teor de gordura do leite possui correlação positiva com maior descarte de silagem por camada deteriorada.

Referências

- ALLEN, M.S.; COORS, J.G.; ROTH, G.W. Corn Silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.547-608.
- AMARAL, R.C.; DANIEL, J.L.P.; SÁ NETO, A. Influence of covering strategies on feed losses and fermentation quality of maize silage stored in bunker silos. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 16., 2012, Hämeenlinna. **Proceedings...** Hämeenlinna: University of Helsinki, 2012. p.290-291.
- ASHBELL, G.; LISKER, N. Aerobic deterioration in maize silage stored in a bunker silos under farm conditions in a subtropical climate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.45, n.4, p.307-315, 1988.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington, D.C., 1998.
- BERNARDES, T.F. Sealing strategies to control the top losses in horizontal silos. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 1., 2009, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: USP, 2009. p.209-224.
- BOLSEN, K.K.; DICKERSON, J.T.; BRENT, B.E. et al. Rate and extent of top spoilage losses in horizontal silos. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.10, p.2940-2962, 1993.
- BOLSEN, K.K.; BOLSEN, R. E.; WIGLEY, S. et al. Economics of sealing maize silage in bunker silos and drive-over piles: an Excel spreadsheet. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 16., 2012, Hämeenlinna. **Proceedings...** Hämeenlinna: University of Helsinki, 2012. p.286-287.
- BORREANI, G.; TABACCO, E. The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. **Journal of Dairy Science**, v.93, n.6, p.2620-2629, 2010.
- BORREANI, G.; TABACCO, E. Effect of silo management factors on aerobic stability and extent of spoilage in farm maize silages. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 16., 2012, Hämeenlinna. **Proceedings...** Hämeenlinna: University of Helsinki, 2012. p.71-72.
- BORREANI, G.; TABACCO, E.; ANTONIAZZI, S. et al. Zearalenone contamination in farm maize silage. **Italian Journal of Animal Science**, v.4, suppl.2, p.162-165, 2005.
- BORREANI, G.; TABACCO, E.; CAVALLARIN, L. A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.10, p.4701-4706, 2007.
- D'AMOURS, L.; SAVOIE, P. Density profile of corn silage in bunker silos. **Canadian Biosystems Engineering**, v.47, n.2, p. 2.21-2.28, 2005.
- FAHEY, G.C.; BERGER, L.L. Carbohydrate nutrition of ruminants. In: CHURCH, D.C. (Ed.) **The ruminant animal: digestive physiology and nutrition**. 1.ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1988. p.269.
- FARIA, D.J.G.; GARCIA, R.; TONUCCI, R.G. Produção e composição do efluente da silagem de capim-elefante com casca de café. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.3, p.471-478, 2010.

- GARON, D.; RICHARD, E.; SAGE, L. et al. Mycoflora and multimycotoxin detection in corn silage: Experimental study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, n.9, p.3479-3484, 2006.
- GRANT, R.J.; COLENBRANDER, V.F.; MERTENS, D.R. Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.7, p.1834-1842, 1990.
- HOLMES, B.J. **Software applications for sizing silos to maximize silage quality**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 1., 2009, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: USP, 2009. p.189-208.
- IVANEK, R.; GROHN, Y.; WIEDMANN, M. *Listeria monocytogenes* in multiple habitats and host populations: Review of available data for mathematical modeling. **Foodborne Pathogens and Disease**, v.3, n.4, p.319-336, 2006.
- JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, supl. spe., p.101-119, 2007.
- KLEINSCHMIT, D.H.; KUNG, L.J. A Meta-Analysis of the Effects of *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation and Aerobic Stability of Corn and Grass and Small-Grain Silages. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.10, p.4005-4013, 2006.
- LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICH, A.J. A simple method for the analysis of particle size of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.5, p.922-928, 1996.
- LINN, J. Making high corn silage diets work. In: MINNESOTA DAIRY CONFERENCE AND DAIRY EXPO, 2003, St. Cloud. **Proceedings...** St. Cloud: University of Minnesota, 2003. p.58-63.
- MCDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991.
- MERTENS, D.R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2., 2001, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA-FAEPE, 2001. p.25-36.
- MORAN, J.P.; WEINBERG, G.; ASHBELL, Y.H. et al. A comparison of two methods for the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 11., 1996, Aberystwyth. **Proceedings...** Aberystwyth: University of Wales Aberystwyth, 1996. p.162-163.
- MUCK, R.E.; ROTZ, C.A. Bunker silo unloaders: an economic comparison. **Applied Engineering in Agriculture**, v.12, n.3, p.273-280, 1996.
- MUCK, R.E.; MOSER, L.E.; PITT, R.E. Postharvest factors affecting ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.251-304.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
- NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total nitrogen analysis for soil and plant tissues. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.63, p.770-778, 1980.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; BRONDANI, I.L. et al. Efeito do tamanho de partícula e do tipo de silo sobre o valor nutritivo da silagem de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.224-242, 2005.

- NEUMANN, M.; MUHLBACH, P.R.F.; NORBERG, J.L. et al. Características da fermentação da silage obtida em diferentes tipos de silo sob efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho. **Ciência Rural**, v.37, n.3, p.847-854, 2007.
- OLIVEIRA, J.S. Manejo do silo e utilização da silagem de milho e sorgo. In: CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUES, J.A.S. et al. (Eds.) **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p.473-518.
- OLIVEIRA, L.B.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P. et al. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.1, p.61-67, 2010.
- PEREIRA, J.R.A. Custom services for forage conservation services. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2011. p.183-195.
- PEREIRA, J.R.A.; ROSSI JR., P. **Manual prático de avaliação nutricional de alimentos**. 1.ed. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1995. 25p.
- ROHWEDER, D.A.; BARNES, R.F.; JORGENSEN, N. Proposed hay grading standarts based on laboratory analyses for evaluating quality. **Journal of Animal Science**, v.47, n.3, p.747-759, 1978.
- RUPPEL, K.A.; PITT, R.E.; CHASE, L.E. et al. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.1, p.141-153, 1995.
- SCHMIDT, P.; NOVINSK, C.O.; JUNGES, D. Riscos ambientais oriundos de compostos orgânicos voláteis e do efluente produzido por silagens. In: SIMPOSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 4., 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: Sthampa, 2011.
- SCHÖNDORFER, K.; ARAGÓN, Y.A.; CHECOLI, M. et al. Stability enhancing effects of *Lactobacillus brevis* on maize silages. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, [2011a]. (CD-ROM).
- SCHÖNDORFER, K.; ARAGÓN, Y.A.; CHECOLI, M. et al. Improvement of aerobic stability and reduction of aerobic dry matter losses in different silage materials by biological inoculants containing *Lactobacillus brevis*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, [2011b]. (CD-ROM).
- SCOTT, P.M. Natural toxins. In: CUNNIF, P. (Ed.) **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16.ed. Gaithersburg: AOAC, 1997. p.970-986.
- SENGER, C.C.D.; MUHLBACH, P.R.F.; SANCHEZ, L.M.B. et al. Composição química e digestibilidade 'in vitro' de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1393-1399, 2005.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2006. 235p.
- TILLEY, J.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique of the in vivo digestion of forage crops. **Journal British of Grassland Society**, v.18, n.2, p.104-111, 1963.
- TREVISI, E.; BANI, E.; BERTONI, G. Effect of use of maize-silage with low aerobic stability on performance of lactating dairy cows. **Veterinary Record**, v.27, suppl.1, p.273-275, 2003.

- UNDERSANDER, D.; MERTENS, D.R.; THIEX, N. **Forage analyses procedures**. Omaha: National Forage Testing Association, 1993. 135p.
- VAN SOEST, J.P.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.
- ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. 5.ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice-Hall, 2010. 944p.
- ZEBELI, Q.; TAJAJ, M.; STEINGASS, B. 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.

IV – Características físicas da silagem de milho em relação à tecnologia de ensilagem, qualidade da silagem, dieta, produção e qualidade do leite

RESUMO - Objetivou-se neste trabalho avaliar as características físicas das silagens de milho da região Centro-oriental paranaense e relacioná-las com a tecnologia de ensilagem, qualidade da silagem, composição da dieta, produção e qualidade do leite. Foram avaliados 108 silos de propriedades leiteiras, quanto ao teor de matéria seca (MS), densidade da matéria natural (DEM_N), densidade da matéria seca (DEM_S) e tamanho médio de partículas. Amostras de silagem foram coletadas para análises químicas e foram obtidas informações referentes à tecnologia de ensilagem, dieta dos animais, produção e qualidade do leite. A maioria das silagens avaliadas se encontra com níveis inadequados de MS, DEM_S e distribuição das partículas nas peneiras. A DEM_N teve relação negativa com o valor nutricional da silagem. A DEM_S mostrou relação positiva com o valor nutricional da silagem e produção de leite e negativa com os teores de gordura e sólidos. A DEM_S foi maior quando a máquina para colheita da silagem era automotriz, o silo tipo trincheira e a desensilagem realizada com desensiladora. O teor de MS teve relação positiva com o valor nutricional da silagem e inclusão de silagem na dieta e negativa com os teores de gordura e sólidos do leite. O tamanho de partículas não teve efeito sobre o valor nutricional da silagem, dieta, produção e qualidade do leite. Adequados teores de MS e DEM_S devem ser buscados pelos produtores, pois se relacionam com o valor nutricional da silagem, balanceamento da dieta, produção e a qualidade do leite.

Palavras-chave: compactação, densidade, matéria seca, silo, tamanho partículas

Physical characteristics of corn silage considering ensiling technologies, silage quality, diet, production and milk quality

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the physical characteristics of corn silage in the Central Eastern of Parana State and relate them to the silage quality, diet composition, production and milk quality. There were evaluated 108 silos at dairy farms, for the content of dry matter (DM), natural matter density (NMDE), dry matter density (DMDE) and average particles size. Samples of silage were collected for chemical analysis and were collected data about ensiling technology, diet of animals, production and milk quality. Most of silages had inadequate levels of MS, DMDE and distribution of particles in the sieves. The NMDE had negative relationship with the nutritional value of the silage. The DMDE showed positive relationship with the nutritional value of silage and milk production and negatively with fat and solids. The DMDE was higher when the harvest machine was self-propelled, silo type was trench and removal of silage was made with silage extractor. The DM content had positive relationship with the nutritional value of silage and silage inclusion in the diet and negatively with fat and milk solids. The particle size had no effect on the nutritional value of the silage, animal diet, production and milk quality. Adequate moisture and DEMS should be acquired by farmers because they relate to the nutritional value of the silage, diet balance, production and milk quality.

Key Words: compaction, density, dry matter, particle size, silo

Introdução

A silagem de milho é a principal fonte de volumoso utilizado para o rebanho leiteiro da região Centro-oriental paranaense, compondo em torno de 38% da dieta dos animais. Anualmente, cerca de 13.000 ha de milho são cultivados pelos 650 produtores das Cooperativas Capal, Batavo e Castrolanda, que produzem em torno de 1 milhão de litros de leite por dia.

A grande adoção da silagem de milho pelos produtores se dá pelo fato desta cultura proporcionar elevada produção de nutrientes por área, permitindo reduzir o custo com alimentação do rebanho (Pereira, 2011) e maximizar a produção de leite nas propriedades.

O objetivo da conservação de forragens é manter a qualidade o mais próximo possível da forragem original, com o mínimo de perdas de MS e energia (Van Soest, 1994). A qualidade da silagem de milho é afetada pelo híbrido, ambiente, maturidade na colheita e processo de ensilagem, que variam bastante entre fazendas e anos agrícolas (Allen et al., 2003).

Assim, é importante que algumas etapas do processo de ensilagem sejam bem realizadas, como a colheita com teor adequado de MS, boa compactação e adequado tamanho de partículas.

A maior compactação resulta no aumento da densidade da silagem, reduzindo a porosidade (Holmes, 2009) e a atividade de microrganismos indesejáveis, que causam a elevação da temperatura e a decomposição da silagem (Bolsen et al., 1993), especialmente durante a fase de utilização. Maior densidade também é importante no manejo da silagem na fazenda, pois aumenta a capacidade do silo, reduzindo o custo de estocagem por unidade de MS e NDT (D'Amours & Savoie, 2005; Jobim et al., 2007).

A importância da avaliação do tamanho de partículas da silagem não deve ser subestimada. Estudos mostram que vacas consumindo dietas adequadas em relação ao teor de FDN, mas finamente picadas, apresentam desordens metabólicas como menor digestibilidade da MS, redução do teor de gordura no leite, deslocamento de abomaso, síndrome da vaca gorda, laminite e acidose (Fahey & Berger, 1988; Grant et al., 1990).

Além dos fatores relacionados aos animais, o tamanho médio de partículas (TMP) pode afetar a porosidade, densidade, produção de efluentes, fermentação e, indiretamente, a deterioração aeróbia da silagem (Muck et al., 2003). Portanto, as características físicas da silagem podem afetar sua composição química, que influencia

a disponibilidade de nutrientes para os animais, o balanceamento das dietas, o consumo de matéria seca, a produção e a qualidade do leite (NRC, 2001).

Objetivou-se neste trabalho relacionar as características físicas da silagem de milho com a tecnologia de ensilagem, qualidade da silagem, composição da dieta, produção e qualidade do leite em propriedades da região Centro-oriental paranaense.

Material e Métodos

Foram avaliadas as silagens de 108 silos, em 95 propriedades da região Centro-oriental do Paraná. As avaliações foram realizadas entre os meses de março a julho de 2011, em silos que estavam sendo utilizados na alimentação de vacas em lactação. Foram visitadas propriedades com distintos tamanhos e níveis tecnológicos. As propriedades cultivavam entre 1,5 a 120 ha de milho para silagem e possuíam de dez a 600 vacas em lactação. Ao todo, as 95 propriedades cultivaram 2.852 ha de milho para silagem e possuíam 10.061 vacas em lactação, sendo a maior parte da raça Holandesa (82%).

Nos silos visitados, as avaliações “in loco” foram densidade da matéria natural, temperatura da silagem, tipo de silo (trincheira ou superfície), cor da lona de polietileno (preta, branca, preta e branca, preta e cinza), cobertura sobre a lona (terra, sem, outros) e forma de retirada da silagem (manual com garfo, trator com concha, desensiladora tipo fresa, cortador de silagem em bloco).

Um questionário foi aplicado aos produtores com relação à colheita da silagem (própria ou terceirizada), tipo de máquina ensiladora (automotriz ou montada), híbrido de milho utilizado, com ou sem a tecnologia Bt para controle de insetos, se houve aplicação de fungicida na lavoura e se foi aplicado inoculante durante a ensilagem.

As avaliações físicas realizadas nas silagens foram densidade da matéria natural (DEM_N), densidade da matéria seca (DEM_S), teor de matéria seca (MS), distribuição das partículas no conjunto de peneiras e o tamanho médio de partículas (TMP).

A DEM_N da silagem foi avaliada conforme metodologia proposta por D’Amours & Savoie (2005). Foram amostrados cinco pontos no painel dos silos, distribuídos nos estratos superior, médio e basal, com uso de cilindro metálico, que possuía 20,0 cm de comprimento e 10,0 cm de diâmetro. A DEM_N foi determinada segundo a equação: $DEM_N \text{ (kg/m}^3\text{)} = \text{massa de silagem amostrada pelo cilindro (kg)}/\text{volume do cilindro (m}^3\text{)}$. A DEM_S foi calculada pela multiplicação da DEM_N pelo teor de MS.

A extratificação do tamanho de partículas foi avaliada pelo conjunto de peneiras (Penn State), sendo peneira 1 (>19 mm), peneira 2 (8 a 19 mm), peneira 3 (1,18 a 8 mm) e fundo (<1,18 mm). Com esses resultados, foi calculado o tamanho médio de partículas (TMP), segundo Lammers et al. (1996).

Para as determinações químicas foram coletadas amostras das silagens em cinco pontos no painel de cada silo, sendo dois pontos na parte superior, dois na parte inferior e um no centro, compondo uma amostra composta por silo.

Foram determinados os teores de MS, segundo AOAC (1998), proteína bruta (PB) pelo método de combustão Dumas (Nelson & Sommers, 1980), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), conforme Van Soest (1991), digestibilidade “in vitro” da matéria seca (DIVMS) por Tilley & Terry (1963), amido conforme Pereira & Rossi (1995), potencial hidrogeniônico (pH) através de potenciômetro (Silva & Queiroz, 2006) e micotoxina (Zearalenona) por cromatografia líquida em camada delgada, segundo Scott (1997). Os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram estimados pela equação $NDT = 87,84 - (0,7 \times FDA)$ conforme Undersander et al. (1993) e o valor relativo nutricional (VRN) pela equação $VRN = (IMS \times DMS)/1,29$, em que $IMS = 120/FDN$ e $DMS = 88,9 - (0,779 \times FDA)$, conforme Rohweder et al. (1978).

Para as avaliações referentes às dietas dos animais, produção e qualidade do leite foram selecionadas somente propriedades com animais da raça Holandesa. Destas propriedades, 50 realizavam balanceamento da dieta dos animais e 59 realizavam controle leiteiro.

As informações referentes à composição das dietas utilizadas no trabalho foram quantidade de silagem de milho por animal, porcentagem de silagem de milho na dieta, porcentagem de volumoso na dieta, quantidade total de MS ofertada por animal e níveis nutricionais da dieta (MS, PB, FDA, FDN, amido, EE e NDT).

As informações sobre a produção e qualidade de leite (proteína, gordura, lactose, sólidos e CCS) foram obtidas através do controle leiteiro realizado pela Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH). A metodologia utilizada nas análises de proteína, gordura, lactose e sólidos foi infravermelho e para contagem de células somáticas (CCS) a citometria de fluxo. Foi utilizado o controle leiteiro mais próximo da data de coleta da silagem, em média 11 dias após a coleta.

O programa estatístico utilizado na análise dos dados foi o SAS 9.3. Primeiramente, os dados referentes às características físicas das silagens foram

submetidos à estatística descritiva, através do procedimento PROC MEANS. Na sequência, as variáveis físicas foram submetidas à análise de variância com relação aos fatores de tecnologia de ensilagem, através do procedimento PROC GLM, ao nível de 0,05 de probabilidade. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 0,05. A seguir foi realizado o teste de correlação de Pearson (Zar, 2010), por meio do procedimento PROC CORR, entre as variáveis físicas, químicas, dietas dos animais, produção e qualidade do leite, ao nível de 0,05 de probabilidade.

Resultados e Discussão

O teor de matéria seca médio das silagens foi 311,9 g/kg (Tabela 1), dentro da faixa recomendada de 300 a 350 g/kg (Penn State, 2004; Embrapa, 2001; Nussio et al., 2001). Porém, os teores de MS variaram entre 238,3 e 470,0 g/kg, sendo que apenas 30% das silagens apresentavam teor de MS entre 300 a 350 g/kg, 52% estavam abaixo e 18% acima do adequado.

Tabela 1 - Teor de matéria seca e características físicas de silagens de milho

Variável	Unidade	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
MS	g/kg	311,9	238,3	470,0	43,4
DEMN	kg/m ³	686,2	505,4	877,7	79,3
DEMS	kg/m ³	212,1	167,6	274,6	24,4
Peneira 1 (> 19 mm)	g/kg	81,5	12,3	476,1	60,1
Peneira 2 (8-19 mm)	g/kg	659,2	366,0	833,0	98,0
Peneira 3 (1,18-8 mm)	g/kg	249,8	112,5	531,1	84,7
Peneira 4 (<1,18 mm)	g/kg	9,5	0,2	46,1	8,4
Tam. Médio Partículas	mm	9,6	6,3	15,5	1,3

MS: teor matéria seca; DEMN: densidade da matéria natural; DEMS: densidade da matéria seca.

A média da densidade da matéria seca (DEMS) foi de 212,1 kg/m³, variando de 167,6 a 274,6 kg/m³. Apenas 15% dos silos tiveram DEMS acima de 240 kg/m³, que é o recomendado por Holmes & Muck (2008). Muck & Holmes (2000) fizeram um levantamento em 81 silos comerciais no Estado de Wisconsin e também verificaram grande variação na DEMS, com valores entre 125 a 378 kg/m³ e média de 232 kg/m³.

Quanto à retenção de partículas nas peneiras Penn State, as médias foram de 81,5, 659,2, 249,8 e 9,5 g/kg nas peneiras 1, 2, 3 e 4, respectivamente, próximo às faixas recomendadas de 30 a 80 g/kg na peneira 1, 450 a 650 g/kg na peneira 2, 300 a 400 g/kg na peneira 3 e inferior a 50 g/kg na peneira 4 (Lammers, 1996). Porém, somente 12% das silagens apresentaram distribuição dentro do recomendado nas quatro peneiras.

As características físicas da silagem mais influenciadas pelas tecnologias de ensilagem ($P < 0,01$) foram a densidade da matéria seca (DEMS), peneiras 2 e 3 e tamanho médio de partículas (TMP) (Tabela 2).

Tabela 2 - Probabilidade dos efeitos ($P > F$) das tecnologias de ensilagem sobre as características físicas da silagem pela análise de variância múltipla

Variável	MS	DEMN	DEMS	P1	P2	P3	P4	TMP
Colheita	0,4879	0,2500	0,0310	0,9170	0,4227	0,3820	0,0935	0,3997
Máquina	0,0806	0,7290	0,0098	0,6433	0,0076	0,0002	0,1196	0,0062
Inoculante	0,9850	0,6338	0,6346	0,0461	0,5824	0,3170	0,9720	0,0977
Híbrido	0,9385	0,1702	0,3416	0,7658	0,4690	0,3042	0,7535	0,4642
Ciclo	0,2685	0,2074	0,2961	0,4423	0,2668	0,0512	0,3739	0,0438
Indicado Silagem	0,5478	0,9419	0,5044	0,9617	0,6030	0,5545	0,9141	0,6157
Evento Bt	0,6355	0,0444	0,1277	0,6423	0,2766	0,3394	0,9419	0,7117
Fungicida	0,7302	0,3121	0,4701	0,6529	0,1508	0,1773	0,6193	0,4483
Tipo Silo	0,0150	0,0897	0,0006	0,1033	0,4172	0,9184	0,2532	0,3998
Lona	0,7219	0,8209	0,7071	0,0307	0,1867	0,2404	0,9021	0,1950
Cobertura	0,2161	0,3517	0,2795	0,1039	0,8939	0,5276	0,3219	0,0824
Desensilagem	0,1034	0,9496	0,0060	0,4718	0,6270	0,5987	0,1082	0,4753

MS: teor matéria seca; DEMN: densidade da matéria natural; DEMS: densidade da matéria seca; P1: peneira 1 (>19 mm); P2: peneira 2 (8 a 19 mm); P3: peneira 3 (1,18 a 8 mm); P4: peneira 4 (<1,18 mm); TMP: tamanho médio de partículas.

Quando a colheita da silagem foi realizada com máquina automotriz, houve maior DEMS em relação à colheita com máquina montada (Tabela 3). Contudo, a DEMS de ambas as máquinas estão abaixo do recomendado de 240 kg/m^3 (Holmes & Muck, 2008). O efeito encontrado no presente trabalho foi o contrário do esperado, que era menor DEMS quando a colheita foi realizada com máquinas automotrizes, pela grande capacidade de colheita que pode exceder a capacidade de compactação. Contudo, se observa na prática que os produtores que realizam a colheita com máquina montada, utilizam o trator de maior potência para a colheita da forragem e o de menor potência (e peso) para fazer a compactação.

Tabela 3 - Efeito do tipo de máquina utilizada na colheita sobre as características físicas da silagem

Máquina	MS (g/kg)	DEMN (kg/m^3)	DEMS (kg/m^3)	P1 (g/kg)	P2 (g/kg)	P3 (g/kg)	P4 (g/kg)	TMP (mm)
Automotriz	320	688	218 a	82	700 a	210 b	10	10,1 a
Montada	302	684	205 b	81	610 b	300 a	9	9,0 b

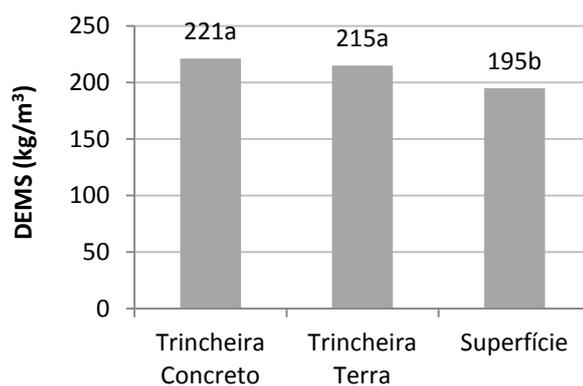
MS: teor matéria seca; DEMN: densidade da matéria natural; DEMS: densidade da matéria seca; P1: peneira 1 (>19 mm); P2: peneira 2 (8 a 19 mm); P3: peneira 3 (1,18 a 8 mm); P4: peneira 4 (<1,18 mm); TMP: tamanho médio de partículas.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Quanto ao tamanho de partículas, o corte com as máquinas automotrizes resultaram em maior TMP e quantidade de partículas na peneira 2 (8 a 19 mm) e menor quantidade de

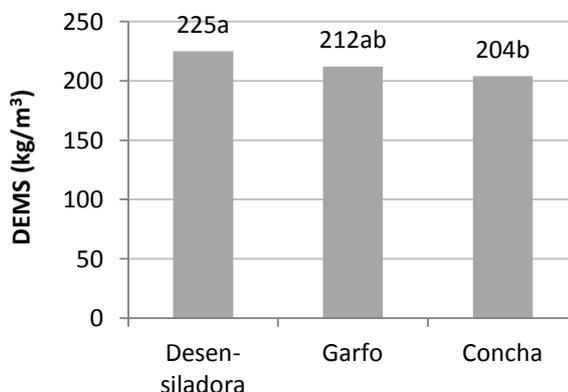
partículas na peneira 3 (1,18 a 8 mm). Como estas máquinas são equipadas com mecanismo processador de grãos, os produtores têm utilizado maior tamanho de partículas, a fim de aumentar a quantidade de fibra fisicamente efetiva, que favorece a atividade de mastigação, pH ruminal e conteúdo de gordura do leite (Mertens, 1997; Zebeli et al., 2008). Contudo, conforme verificado na peneira 3 (210 g/kg), a quebra de grãos não tem sido suficiente, pois essa peneira possui relação com a quebra de grãos, sendo recomendado entre 300 e 400 g/kg (Lammers et al., 1996). Os resultados observados podem ser um indicativo de que os rolos processadores não estão bem ajustados ou que o tamanho teórico de partícula está muito grande, reduzindo a eficiência de quebra dos grãos.

A DEMS também foi afetada pelo tipo de silo e desensilagem (Figuras 1 e 2). Os silos de superfície tiveram menor DEMS em relação aos do tipo trincheira, possivelmente pela maior dificuldade de compactação que resulta em menor DEMS (Ruppelet al., 1995; Oliveira, 2001; Bolsen et al., 2012).



Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 1 - Densidade da matéria seca (DENS), conforme o tipo de silo.



Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 2 - Densidade da matéria seca (DENS) conforme a forma de desensilagem.

A desensilagem, com utilização de trator com concha, também promoveu menor DEMS, já que este tipo de equipamento desestrutura a massa ensilada pelo revolvimento irregular da silagem no painel do silo (Muck & Rotz, 1996; Holmes, 2009). Uma silagem densa, com retirada uniforme na face de utilização, tem menores perdas em relação a uma face porosa (Muck & Holmes, 2000).

Com respeito às correlações entre as variáveis físicas das silagens, a DEMN teve correlação positiva com a DEMS e negativa com o teor de MS (Tabela 4). Quanto menor o teor de matéria seca, maior será a densidade da matéria natural, que é definida como o peso da massa de forragem por unidade de volume (Muck et al., 2003).

Tabela 4 - Correlações entre as características físicas em silagens de milho. Coeficientes de determinação e nível de significância

	DEMN	DEMS	MS	P1	P2	P3	P4	TMP
DEMN	-	0,32540 0,00060	-0,57383 <0,00010	0,00153 0,98750	0,08847 0,36260	-0,06205 0,52350	-0,41743 <0,00010	0,14843 0,12520
DEMS	0,32540 0,00060	-	0,58008 <0,00010	0,01391 0,88640	-0,15502 0,10920	0,12316 0,20410	0,46588 <0,00010	-0,15922 0,09980
MS	-0,57383 <0,00010	0,58008 <0,00010	-	0,03415 0,72570	-0,21458 0,02570	0,14693 0,12920	0,77673 <0,00010	-0,24535 0,01050
P1	0,00153 0,98750	0,01391 0,88640	0,03415 0,72570	-	-0,46123 <0,00010	-0,18334 0,05750	0,07876 0,41780	0,58420 <0,00010
P2	0,08847 0,36260	-0,15502 0,10920	-0,21458 0,02570	-0,46123 <0,00010	-	-0,78427 <0,00010	-0,45977 <0,00010	0,43905 <0,00010
P3	-0,06205 0,52350	0,12316 0,20410	0,14693 0,12920	-0,18334 0,05750	-0,78427 <0,00010	-	0,37689 <0,00010	-0,88049 <0,00010
P4	-0,41743 <0,00010	0,46588 <0,00010	0,77673 <0,00010	0,07876 0,41780	-0,45977 <0,00010	0,37689 <0,00010	-	-0,42095 <0,00010
TMP	0,14843 0,12502	-0,15922 0,09980	-0,24535 0,01050	0,58420 <0,00010	0,43905 <0,00010	-0,88049 <0,00010	-0,42095 <0,00010	-

DEMN: densidade da matéria natural; DEMS: densidade da matéria seca; MS: teor matéria seca; P1: peneira 1 (>19 mm); P2: peneira 2 (8 a 19 mm); P3: peneira 3 (1,18 a 8 mm); P4: peneira 4 (<1,18 mm); TMP: tamanho médio de partículas.

A DEMS teve correlação positiva com a DEMN e o teor de MS. Assim, silagens com maior teor de MS e melhor compactadas, resultam em maior DEMS. Além dos efeitos sobre redução de perdas e qualidade da silagem, maiores DEMS são desejadas por permitirem acomodar maior quantidade de MS no mesmo silo, reduzindo os custos de estocagem por unidade de MS e NDT (Muck & Holmes, 2000; D'Amours & Savoie, 2005; Jobim et al., 2007).

O tamanho médio de partículas (TMP) teve correlação positiva com as frações retidas nas peneiras 1 e 2 (>8 mm) e negativa com as frações das peneiras 3 e 4 (<8 mm) e o teor de MS. A correlação das quatro peneiras com o TMP deve-se ao

cálculo do TMP que considera as frações retidas nas peneiras, segundo metodologia de Lammers et al. (1996).

Quanto à relação inversa entre teor de MS e TMP, possivelmente foi pelos produtores regularem as máquinas para menor tamanho de partículas, a fim de favorecer a compactação que é dificultada em altos teores de MS (Muck et al., 2003).

As características que mais se relacionaram com o valor nutricional da silagem foram densidade da matéria seca (DEMS) e teor de MS (Tabela 5).

Tabela 5 - Correlações entre as características físicas e químicas das silagens de milho. Coeficientes de determinação e nível de significância

	DEMN	DEMS	MS	P1	P2	P3	P4	TMP
pH	-0,20872 0,03020	0,18517 0,05500	0,33495 0,00040	-0,01584 0,87080	-0,05778 0,55250	0,06382 0,51170	0,14282 0,14030	-0,07546 0,43760
PB	0,05827 0,54920	-0,12522 0,19660	-0,16258 0,09270	-0,09507 0,32770	0,18566 0,05440	-0,12571 0,19480	-0,21857 0,02310	0,09870 0,30950
FDA	0,23874 0,01280	-0,41984 <0,00010	-0,57161 <0,00010	0,19990 0,03810	-0,21681 0,02420	0,13922 0,15070	-0,30236 0,00150	0,04743 0,62600
FDN	0,20921 0,02980	-0,42322 <0,00010	-0,53503 <0,00010	0,13473 0,16450	-0,15935 0,09950	0,11238 0,24690	-0,23638 0,01380	0,02187 0,82220
Amido	-0,05221 0,59150	0,54801 <0,00010	0,51842 <0,00010	-0,13400 0,16680	0,13540 0,16240	-0,08733 0,36880	0,25751 0,00710	-0,03775 0,69810
DIVMS	0,04337 0,65580	0,31840 0,00080	0,23650 0,01370	0,02225 0,81920	0,24297 0,01130	-0,29862 0,00170	0,01636 0,86650	0,24413 0,01090
NDT	-0,23893 0,01280	0,41976 <0,00010	0,57171 <0,00010	-0,19991 0,03800	0,21688 0,02420	-0,13931 0,15050	0,30242 0,00150	-0,04740 0,62610
VRN	-0,23811 0,01310	0,44483 <0,00010	0,58298 <0,00010	-0,12335 0,20340	0,13887 0,15180	-0,10149 0,29600	0,28411 0,00290	-0,03432 0,72440

DEMN: densidade da matéria natural; DEMS: densidade da matéria seca; MS: teor matéria seca; P1: peneira 1 (>19 mm); P2: peneira 2 (8 a 19 mm); P3: peneira 3 (1,18 a 8 mm); P4: peneira 4 (<1,18 mm); TMP: tamanho médio de partículas.

FDA = 37,91 - 0,05954DEMS, R² = 0,18;

FDN = 64,71 - 0,08855DEMS, R² = 0,18;

Amido = 9,28 + 0,11287DEMS, R² = 0,30;

DIVMS = 64,77 + 0,03372DEMS, R² = 0,10;

NDT = 61,30 + 0,04167DEMS, R² = 0,18;

VRN = 64,96 + 0,36473DEMS, R² = 0,20;

FDA = 39,48 - 0,45506MS, R² = 0,33;

FDN = 65,53 - 0,62839MS, R² = 0,29;

Amido = 14,52 + 0,59940MS, R² = 0,27;

NDT = 60,20 + 0,31858MS, R² = 0,33;

VRN = 58,61 + 2,68333MS, R² = 0,34.

As silagens com maior DEMS tiveram menores teores de FDA, FDN e maiores teores de amido, NDT, DIVMS e VRN. O maior teor de amido e o menor teor de fibras favorece a compactação, aumentando a DEMS. D'Amours & Savoie (2005) verificaram que a DEMS variou de 196 a 293 kg/m³, quando a concentração de grãos esteve entre 170 e 500 g/kg. Segundo os autores, a concentração de grãos na colheita foi o fator mais importante para aumentar a DEMS em silos trincheira. A correlação entre DEMS e o teor de amido nas silagens pode ser explicada pela alta densidade dos grãos de milho, que no Brasil varia entre 1,218 e 1,292 g/cm³ (Correa et al., 2002), superior à densidade das partículas fibrosas (<1,000 g/cm³).

A densidade da matéria natural (DEM_N) teve correlação positiva com FDA e FDN e negativa com NDT, VRN e pH, ou seja, quanto maior a DEM_N, maiores os teores de fibras e menor o teor de energia da silagem. Apesar de maior DEM_N ser desejada por reduzir a porosidade da silagem, silagens com alta DEM_N podem ter menor valor nutricional se forem colhidas prematuramente com baixo teor de MS. Em condição controlada, com teor de MS da forragem semelhante, Senger et al. (2005) não verificaram relação de duas DEM_N em silagens de milho com os teores de MS, PB, FDA, FDN e DIVMS da silagem. Contudo, verificaram melhor fermentação através do maior teor de ácidos orgânicos e menor pH da silagem, confirmando a correlação inversa encontrada no presente trabalho entre pH e DEM_N.

O teor de MS também teve alta relação com o valor nutricional da qualidade da silagem. Quanto maior o teor de MS, menor os teores de FDA e FDN e maiores os teores de amido, NDT e VRN. Com o avanço no teor de MS da forragem, o conteúdo de grãos de milho aumenta, reduzindo a concentração de fibras por efeito de diluição (Cox & Cherney, 2005; Senger et al., 2005; Zopollatto, 2009). Porém, em estádios avançados, o teor de energia da silagem pode diminuir, pois a digestibilidade do amido e das fibras é reduzido (Penn State, 2004).

O extrato de partículas representado pela peneira 4 (<1,18 mm), apesar de reter a menor fração de partículas entre as peneiras (média 9,5 g/kg), foi o que mais se relacionou com a composição nutricional da silagem. Na peneira 4 ficam retidos principalmente os grãos finamente moídos, assim quanto maior a quantidade nesta peneira significa que a silagem tinha maior conteúdo de grãos, que dilui a fração fibra e aumenta o conteúdo energético da silagem (NDT e VRN).

Assim como para a peneira 4, a relação das peneiras 1, 2 e 3 e do tamanho médio de partículas (TMP) com o FDA, NDT e DIVMS da silagem podem ter sido de forma indireta. Yang & Beauchemin (2005) realizaram um trabalho em condições controladas e não observaram relação de três tamanhos de partículas com o valor nutricional da silagem de milho (MS, PB, FDA, FDN e amido e DIVMS).

As variáveis físicas das silagens que mais se relacionaram com as dietas foram a DEMS e o teor de MS (Tabela 6). Como já discutido, silagens com maior DEMS e alto teor de MS possuem maior concentração de grãos, que dilui o teor de fibras (FDA e FDN), permitindo assim maior inclusão de silagem de milho na dieta. Dessa forma, maior quantidade total de MS da dieta foi fornecida aos animais, enquanto que o teor de MS da dieta foi maior em virtude do maior teor de MS da silagem.

Tabela 6 - Correlações entre as características físicas das silagens e composição das dietas para vacas em lactação. Coeficientes de determinação e nível de significância

	DEM _N	DEM _S	MS	P1	P2	P3	P4	TMP
Silagem	-0,35983	0,25842	0,45795	-0,04485	-0,18440	0,16602	0,39174	-0,21750
Milho	0,01030	0,07000	0,00080	0,75710	0,19990	0,24920	0,00490	0,12920
Volumoso:	-0,30306	-0,17664	0,07989	-0,06833	-0,07575	0,08456	0,24012	-0,14399
Dieta	0,03240	0,21980	0,58130	0,63730	0,60110	0,55930	0,09300	0,31850
Ração	-0,07961	0,57324	0,51897	0,04146	-0,10603	0,04227	0,40636	-0,06665
Total	0,58260	<0,00010	0,00010	0,77500	0,46370	0,77070	0,00340	0,64560
MS	-0,13747	0,41795	0,41670	0,08635	-0,00664	-0,05624	0,18121	0,03544
	0,34110	0,00250	0,00260	0,55100	0,96350	0,69810	0,20790	0,80700
PB	0,36105	0,18840	-0,12162	-0,06996	0,31842	-0,25953	-0,25032	0,22748
	0,01000	0,19010	0,40010	0,62930	0,02420	0,06880	0,07960	0,11210
FDA	0,09528	-0,04969	-0,11288	0,24904	-0,06533	-0,05092	-0,06447	0,09804
	0,51040	0,73190	0,43510	0,08120	0,65220	0,72540	0,65650	0,49820
FDN	0,08214	-0,07892	-0,11248	0,40761	-0,11455	-0,08369	-0,03422	0,17626
	0,57060	0,58590	0,43680	0,00330	0,42830	0,56340	0,81350	0,22080
Amido	0,03978	-0,16254	-0,14811	-0,11201	0,21747	-0,13618	-0,25477	0,10248
	0,78390	0,25940	0,30470	0,43870	0,12930	0,34570	0,07420	0,47880
EE	0,19696	0,29930	0,06950	-0,04762	-0,02605	0,05353	-0,03090	-0,04685
	0,17040	0,03470	0,63150	0,74260	0,85750	0,71200	0,83130	0,74670
NDT	0,00706	0,16338	0,12637	0,00615	0,33421	-0,33518	-0,05372	0,24614
	0,96120	0,25690	0,38190	0,96620	0,01770	0,01730	0,71100	0,08490

DEM_N: densidade da matéria natural; DEM_S: densidade da matéria seca; MS: teor matéria seca; P1: peneira 1 (>19 mm); P2: peneira 2 (8 a 19 mm); P3: peneira 3 (1,18 a 8 mm); P4: peneira 4 (<1,18 mm); TMP: tamanho médio de partículas.

Sil. Milho = 13,01 - 0,00726DEM_N, R² = 0,13;

Consumo = 15,54 + 0,18534MS, R² = 0,27;

Sil. Milho = 3,57 + 0,14164MS, R² = 0,21;

Consumo = 20,70 + 0,80270P4, R² = 0,17;

Sil. Milho = 7,46 + 0,67016P4, R² = 0,15;

MS = 20,24 + 0,11330DEM_S, R² = 0,17;

PB = 13,25 + 0,00339DEM_N, R² = 0,13;

MS = 25,90 + 0,57950MS, R² = 0,17;

Consumo = 12,94 + 0,03990DEM_S, R² = 0,33;

FDN = 33,42 + 0,28768P1, R² = 0,17.

A única variável física que teve tendência (P<0,10) de afetar positivamente a produção de leite foi a DEM_S (Tabela 7). Isso poderia ser explicado pelo melhor valor nutricional da silagem com maior DEM_S. Contudo, o teor de gordura e de sólidos do leite reduziu com maior DEM_S, possivelmente pelo efeito de diluição pelo maior volume de leite produzido (Cunha et al., 2008).

O maior teor de MS das silagens resultou em menor teor de gordura e sólidos do leite. Isso pode ser pelo maior teor de amido da silagem, que favorece o desenvolvimento de bactérias amilolíticas no rúmen em detrimento das fibrolíticas. Assim, o pH ruminal diminuiu, bem como a produção de acetato, precursor da síntese de ácidos graxos na glândula mamária (NRC, 2001). Johnson et al. (2002) também não verificaram diferenças entre os pontos de corte na produção e teor de PB do leite, mas o teor de gordura reduziu em dois dos três híbridos avaliados, quando o ponto de corte avançou acima de 350 g/kg de MS.

O tamanho médio de partículas e a distribuição das partículas nos extratos P1, P2 e P3 não tiveram efeito na produção e composição do leite. Outros trabalhos que avaliaram diferentes tamanhos de partículas de silagem de milho, também não observaram diferenças na produção de leite e teores de gordura, proteína, lactose, sólidos e CCS (Clark & Armentano, 1999; Johnson et al., 2003; Kononoff & Heinrichs, 2003; Yang & Beauchemin, 2005; Ferraretto & Shaver, 2012). Contudo, no presente trabalho, a fração retida na peneira 4, que representa as partículas muito finas (< 1,18 mm), teve correlação negativa com o teor de gordura e sólidos.

Fato interessante é com respeito ao tamanho das propriedades avaliadas pela área de milho ensilada e quantidade de animais em lactação e sua influência sobre as variáveis estudadas nas silagens. Quanto maior a área de silagem das propriedades, maior era a temperatura da silagem ($P < 0,05$), menor a quantidade de partículas retidas na peneira 3 ($P < 0,05$) e maior o tamanho médio de partículas ($P < 0,05$). A maior temperatura pode estar relacionada à maior penetração de oxigênio na massa, pelo maior tamanho de partículas e uso mais frequente de concha para retirada da silagem nas propriedades de maior área de plantio de milho para ensilagem.

Tabela 7 - Correlações entre as características físicas das silagens com a produção e qualidade do leite. Coeficientes de determinação e nível de significância

	DEMN	DEMS	MS	P1	P2	P3	P4	TMP
Leite	0,14811	0,25005	0,11239	-0,14023	0,07906	-0,01506	0,00494	-0,01260
	0,26290	0,05610	0,39670	0,28940	0,55170	0,90990	0,97040	0,92450
Gordura	0,16297	-0,35536	-0,44316	0,00195	-0,01406	0,03682	-0,27178	0,01624
	0,21750	0,00570	0,00040	0,98830	0,91580	0,78190	0,03730	0,90280
Proteína	0,00131	-0,08576	-0,08461	0,17394	-0,23164	0,15298	0,02890	-0,08189
	0,99220	0,51840	0,52400	0,18770	0,07750	0,24740	0,82800	0,53750
Lactose	0,27504	0,09612	-0,11605	-0,01606	-0,01100	0,01872	-0,00670	0,00900
	0,05850	0,51570	0,43220	0,91380	0,94090	0,89950	0,96390	0,95160
Sólidos	0,21864	-0,34325	-0,42458	0,00820	0,09404	-0,06600	-0,35124	0,11995
	0,13540	0,01690	0,00260	0,95590	0,52409	0,65580	0,01440	0,41680
CCS	-0,05135	-0,14228	-0,09878	0,00169	0,13121	-0,12462	-0,12825	0,11696
	0,69930	0,28240	0,45670	0,98990	0,32190	0,34700	0,33300	0,37770

DEMN: densidade da matéria natural; DEMS: densidade da matéria seca; MS: teor matéria seca; P1: peneira 1 (>19 mm); P2: peneira 2 (8 a 19 mm); P3: peneira 3 (1,18 a 8 mm); P4: peneira 4 (<1,18 mm); TMP: tamanho médio de partículas.

Leite = $20,25 + 0,04823\text{DEMS}$, $R^2 = 0,06$;

Gordura = $4,37 - 0,00486\text{DEMS}$, $R^2 = 0,13$;

Gordura = $4,36 - 0,03337\text{MS}$, $R^2 = 0,20$;

Gordura = $4,43 - 0,13738\text{P4}$, $R^2 = 0,07$;

Sólidos = $13,17 - 0,00571\text{DEMS}$, $R^2 = 0,12$;

Sólidos = $13,01 - 0,03430\text{MS}$, $R^2 = 0,18$;

Sólidos = $12,09 - 0,20131\text{P4}$, $R^2 = 0,12$.

As variáveis físicas avaliadas não tiveram relação com a temperatura da silagem no painel do silo, estabilidade aeróbia e presença de Zearalenona. Porém, a temperatura da silagem teve relação negativa com o teor de FDN da silagem ($P < 0,05$) e tendência de menores teores de gordura do leite ($P < 0,10$), proteína ($P < 0,10$) e sólidos ($P < 0,10$). Segundo Jobim et al. (2007), a atividade dos microrganismos que decompõem a silagem será mais intensa, quanto melhor for a qualidade da silagem. Se as silagens mais quentes possuem maior valor nutricional, pode refletir em maior produção de leite, que dilui o teor de sólidos.

O pH da silagem teve relação com o teor de MS ($P < 0,05$), sendo maior nas silagens mais secas. A frequência de torção de abomaso dos animais teve correlação positiva com a variável peneira 4 ($P < 0,05$) e tendência de correlação positiva com a peneira 1 ($P < 0,10$). Assim, silagens com maior teor de amido e excesso de partículas grandes (> 19 mm), podem estar favorecendo a ocorrência de torção de abomaso pela seleção do alimento pela vaca.

A CCS, apesar de não ter apresentado correlação significativa com as características físicas da silagem, teve correlação positiva com a temperatura da silagem no painel do silo ($CCS = 33,66 + 13,68489Temp$, $R^2 = 0,07$, $P < 0,05$). O aquecimento pode estar relacionado à qualidade sanitária da silagem, pelo desenvolvimento de microrganismos patogênicos como as enterobactérias (Ivanek et al., 2006; Borreani & Tabacco, 2010).

Conclusões

A maior parte das silagens da região Centro-oriental paranaense apresenta valores inadequados de MS, densidade da matéria seca (DEMS) e tamanho de partículas. A DEMS e o teor de MS tiveram relação positiva com o valor nutricional da silagem, que leva à maior inclusão de silagem na dieta, mas resulta em menor teor de gordura e sólidos do leite. O tamanho médio de partículas, bem como os extratos retidos nas peneiras 1, 2 e 3 não tiveram relação com o valor nutricional da silagem, dieta, produção e qualidade do leite. O extrato retido na peneira 4 teve relação negativa com o teor de gordura e sólidos do leite.

Referências

- ALLEN, M.S.; COORS, J.G.; ROTH, G.W. Corn Silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.547-608.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington, D.C., 1998.
- BOLSEN, K.K.; DICKERSON, J.T.; BRENT, B.E. et al. Rate and extent of top spoilage losses in horizontal silos. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.2940-2962, 1993.
- BOLSEN, K.K.; BOLSEN, R.E.; WIGLEY, S. et al. Economics of sealing maize silage in bunker silos and drive-over piles: an Excel spreadsheet. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 16., 2012, Hämeenlinna. **Proceedings...** Hämeenlinna: University of Helsinki, 2012. p.286-287.
- BORREANI, G.; TABACCO, E. The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. **Journal of Dairy Science**, v.93, n.6, p.2620-2629, 2010.
- CLARK, P.W.; ARMENTANO, L.E. Influence of particle size on the effectiveness of the fiber in corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.3, p.581-588, 1999.
- CORREA, C.E.S.; SHAVER, R.D.; PEREIRA, M.N. et al. Relationship Between Corn Vitreousness and Ruminant In Situ Starch Degradability. **Journal of Dairy Science**, v.85, n.11, p.3008-3012, 2002.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H. Timing corn forage harvest for bunker silos. **Agronomy Journal**, v.97, n.1, p.142-146, 2005.
- CUNHA, R.P.L.; MOLINA, L.R.; CARVALHO, A.U. et al. Mastite subclínica e relação da contagem de células somáticas com número de lactações, produção e composição química do leite em vacas da raça Holandesa. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.1, p.19-24, 2008.
- D'AMOURS, L.; SAVOIE, P. Density profile of corn silage in bunker silos. **Canadian Biosystems Engineering**, v.47, n.2, p. 2.21-2.28, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA [2001]. **Silagem de milho ou sorgo: quando bem preparada é alimento garantido**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. Disponível em: <<http://www.cileite.com.br/sites/default/files/42Instrucao.pdf>> Acesso em: 2 mai. 2012.
- FAHEY, G.C.; BERGER, L.L. Carbohydrate nutrition of ruminants. In: CHURCH, D.C. (Ed.) **The ruminant animal: digestive physiology and nutrition**. 1.ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1988. p.269.
- FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v.28, n.2, p.141-149, 2012.
- GRANT, R.J.; COLENBRANDER, V.F.; MERTENS, D.R. Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.7, p.1834-1842, 1990.
- HOLMES, B.J. **Software applications for sizing silos to maximize silage quality**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 1., 2009, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: USP, 2009. p.189-208.
- HOLMES, B.; MUCK, R.E. [2008]. **Bunker silo silage density calculator**. Disponível em: <<http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/storage.htm>>. Acesso em: 6 mar. 2013.

- IVANEK, R.; GROHN, Y.; WIEDMANN, M. *Listeria monocytogenes* in multiple habitats and host populations: Review of available data for mathematical modeling. **Foodborne Pathogens and Disease**, v.3, n.4, p.319-336, 2006.
- JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, supl. spe., p.101-119, 2007.
- JOHNSON, L.M.; HARRISON, J.H.; DAVIDSON, D. et al. Corn silage management: effects of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. **Journal of Dairy Science**, v.85, n.2, p.434-444, 2002.
- JOHNSON, L.M.; HARRISON, J.H.; DAVIDSON, D. et al. Corn silage management: effects of hybrid, chop length, and mechanical processing on digestion and energy content. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.1, p.208-231, 2003.
- KONONOFF, P.J.; HEINRICH, A.J. The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.7, p.2438-2451, 2003.
- LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICH, A.J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.5, p.922-928, 1996.
- MERTENS, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.7, p.1463, 1997.
- MUCK, R.E.; HOLMES, B.J. Factors affecting bunker silo densities. **Applied Engineering in Agriculture**, v.16, n.6, p.613-619, 2000.
- MUCK, R.E.; ROTZ, C.A. Bunker silo unloaders: an economic comparison. **Applied Engineering in Agriculture**, v.12, n.3, p.273-280, 1996.
- MUCK, R.E.; MOSER, L.E.; PITT, R.E. Postharvest factors affecting ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.251-304.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
- NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total nitrogen analysis for soil and plant tissues. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.63, p. 770-778, 1980.
- NUSSIO, L.G.; CAMPOS, F.P.; DIAS, F.N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM/CCA/DZO, 2001. p.319.
- OLIVEIRA, J.S. Manejo do silo e utilização da silagem de milho e sorgo. In: CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; RODRIGUES, J.A.S. et al. (Eds.) **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p.473-518.
- PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY – PENN STATE. **From harvest to feed: understanding silage management**. State College: Pennsylvania State University, 2004. 40p.
- PEREIRA, J.R.A. Custom services for forage conservation services. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2011. p.183-195.
- PEREIRA, J.R.A.; ROSSI JR., P. **Manual prático de avaliação nutricional de alimentos**. 1.ed. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1995. 25p.

- ROHWEDER, D.A.; BARNES, R.F.; JORGENSEN, N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. **Journal of Animal Science**, v.47, n.3, p.747-759, 1978.
- RUPPEL, K.A.; PITT, R.E.; CHASE, L.E. et al. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.1, p.141-153, 1995.
- SCOTT, P.M. Natural toxins. In: CUNNIF, P. (Ed.) **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16.ed. Gaithersburg: AOAC, 1997. p.970-986.
- SENGER, C.C.D.; MUHLBACH, P.R.F.; SANCHEZ, L.M.B. et al. Composição química e digestibilidade 'in vitro' de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1393-1399, 2005.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2006. 235p.
- TILLEY, J.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique of the in vivo digestion of forage crops. **Journal British of Grassland Society**, v.18, n.2, p.104-111, 1963.
- UNDERSANDER, D.; MERTENS, D.R.; THIEX, N. **Forage analyses procedures**. Omaha: National Forage Testing Association, 1993. 135p.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.
- VAN SOEST, J.P.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.3, p.1090-1098, 2005.
- ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. 5.ed. UpperSaddle River: Pearson Prentice-Hall, 2010. 944p.
- ZEBELI, Q.; DIJKSTRA, M.T.; TAJAJ, M. et al. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. **Journal of Dairy Science**, v.91, n.5, p. 2046-2066, 2008.
- ZOPOLLATO, M.; NUSSIO, L.G.; MARI, L.J. Alterações na composição morfológica em função do estágio de maturação em cultivares de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.3, p.452-461, 2009.

V – Análise comparativa de sistemas de produção e utilização de silagem de milho na região Centro-oriental paranaense

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho fazer um diagnóstico das tecnologias utilizadas na produção e utilização de silagens de milho, identificar os fatores que caracterizam os diferentes níveis tecnológicos e avaliar o impacto desses níveis sobre a qualidade da silagem, dieta, produção e qualidade do leite. Entre março e julho de 2011 foram visitadas 95 propriedades na região Centro-oriental paranaense, sendo avaliadas as silagens de 108 silos. Foram coletadas informações referentes às lavouras de milho, processos de ensilagem e características dos silos. O nível tecnológico empregado nas lavouras e na ensilagem é elevado, principalmente com a utilização de híbridos de milho de alta tecnologia e colheita terceirizada com máquinas automotrizes. O investimento no silo é menor, sendo a maior parte dos silos do tipo trincheira sem revestimento, cobertos com lona preta e terra e a desensilagem de forma manual. Os indicadores técnicos que marcam a diferença entre as silagens avaliadas estão relacionados ao nível de investimento na cultura do milho e processo de ensilagem, características do silo e desensilagem. Propriedades com maiores investimentos na produção de silagem e sistemas mais intensivos de produção possuem silagem de melhor qualidade e produzem mais leite.

Palavras-chave: agrupamento, componentes principais, leite, qualidade, tecnologia

**Comparative analysis of production systems and use of corn silage in the East
Central region of Parana State**

ABSTRACT - The objective of this work was to make a diagnosis of the technologies used in the production and use of corn silage, identify the factors that characterize the different technological levels and assess the impact of these levels on the silage quality, diet, production and milk quality. Between March and July 2011 were visited 95 properties in the Central Eastern of Parana State and were evaluated silages of 108 silos. Information was collected regarding the corn fields, ensiling processes and the characteristics of silos. The level of technology employed in crops and ensiling is high, especially with the use of high-tech hybrids and harvest outsourced with self-propelled machines. The investment in the silo is smaller, the most silos are trench-type, without coating, covered with black film and soil and with manual removal. The technical indicators that mark the difference between the silages are related to the level of investment in corn and silage process, characteristics of the silo and use of silage. Properties with greater investments in the silage production and more intensive systems of production have better silage quality and produce more milk.

Key Words: clustering, milk, principal components, quality, technology

Introdução

A silagem de milho é a principal forragem utilizada na alimentação de vacas leiteiras na Europa, Estados Unidos e Brasil (Johnson et al., 1999; Borreani & Tabacco, 2010; Bernardes, 2012). Na região Centro-oriental do Estado do Paraná não é diferente.

A silagem de milho é utilizada em praticamente todas as propriedades com exploração leiteira. Dependendo do sistema de produção, compõe de 600 a 800 g/kg da massa seca total de forragens fornecidas às vacas leiteiras (Janssen, 2009). Nessa região há emprego de alta tecnologia na produção de leite, com grandes investimentos em genética e manejo dos animais. Porém, o principal fator responsável pela expressão do potencial produtivo dos animais é a alimentação, que resulta numa produção de 7.510 L/vaca/ano, muito superior à média brasileira de 1.417 L/vaca/ano (IBGE, 2012).

Nos últimos anos, as técnicas de cultivo de milho para silagem evoluíram bastante. Dentre elas a época de semeadura correta, escolha de híbridos de alta produção e qualidade, fertilização em níveis adequados, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, redução do espaçamento entre fileiras com aumento da população de plantas, permitiram grande aumento na produção de massa de forragem (Embrapa, 2001; Lauer et al., 2001).

Além de alta produção de massa por área, a grande adoção da silagem de milho pelos produtores, se dá pela alta qualidade nutricional, baixo custo por quilo de matéria seca e possibilidade de armazenagem por longo período de tempo (Embrapa, 2005).

O objetivo da conservação de forragens é manter a qualidade mais próxima possível da forragem original, com o mínimo de perdas de MS e energia (Van Soest, 1994). Por sua vez, a qualidade química da silagem influencia a disponibilidade de nutrientes para os animais, afetando o balanceamento das dietas, o consumo de matéria seca, a produção e a qualidade do leite (NRC, 2001; Linn, 2003). Nesse contexto, as perdas de forragem afetam consideravelmente a lucratividade das propriedades.

Uma consideração importante, é que a maior parte dos fatores determinantes de perdas e da qualidade final da silagem está sob o controle dos produtores. Como por exemplo: teor de matéria seca, tamanho de partículas, compactação, tipo de silo, tipo de máquina empregada na ensilagem e retirada do silo, uso de aditivos, vedação e forma de retirada da silagem (Allen et al., 2003).

Portanto, o produtor pode interferir em diversos processos para obter uma silagem a ser ofertada aos animais com a menor perda possível em quantidade e qualidade, resultando em menor custo com alimentação dos animais e maior produção de leite.

Objetivou-se com este trabalho fazer um diagnóstico das tecnologias utilizadas na produção de silagem de milho na região Centro-oriental paranaense, identificar os principais fatores que caracterizam os diferentes níveis tecnológicos e avaliar o impacto desses níveis sobre a qualidade da silagem, dieta, produção e qualidade do leite.

Material e Métodos

Entre os meses de março e julho de 2011, 95 propriedades foram percorridas em oito municípios da região Centro-oriental do Paraná (Arapoti, Carambeí, Castro, Curiúva, Jaguariaíva, Piraí do Sul, Ponta Grossa e Tibagi). Nestas propriedades foram coletadas amostras de silagem de milho em 108 silos, as quais estavam sendo utilizadas na alimentação de vacas em lactação.

As propriedades foram selecionadas visando compreender diferentes níveis tecnológicos dos produtores. As propriedades cultivavam entre 1,5 a 120 ha de milho destinado à produção de silagem para alimentação do rebanho. Possuíam animais das raças Holandesa (82%), Jersey (8%) e mestiça (10%) e de dez a 600 vacas em lactação. Ao todo, as 95 propriedades cultivaram 2.852 ha de milho para silagem e possuíam 10.061 vacas em lactação, sendo a maior parte da raça Holandesa (82%). O sistema de manejo dos animais era diversificado, sendo 3% a pasto, 23% em confinamento e 74% em semiconfinamento, com duas (77%) ou três ordenhas diárias (23%).

Um questionário foi aplicado aos produtores com relação à tecnologia de produção da silagem e informações sobre o tamanho e sistema de produção da propriedade. As variáveis referentes à estrutura de armazenagem das silagens foram avaliadas diretamente no silo.

As 14 variáveis utilizadas na Análise Fatorial em Componentes Principais e posterior Classificação Hierárquica foram: variáveis referentes à tecnologia de produção das silagens: V1 - colheita da silagem (própria, terceirizada); V2 - tipo de máquina para colheita (automotriz, tratorizada); V3 - híbrido de milho utilizado; V4 - empresa do híbrido de milho (Atlântica, Dow, Syngenta, Monsanto, Pioneer); V5 - ciclo do híbrido de milho (superprecoce, precoce, normal), V6 - híbrido com tecnologia Bt (sim, não); V7 - evento Bt utilizado (convencional, Yieldgard®, Herculex®); V8 - híbrido indicado

para silagem (sim, não); V9 - aplicação de fungicida na lavoura (sim, não); V10 - aplicação de inoculante na silagem (sim, não).

Variáveis referentes ao silo: V11 - tipo de silo (superfície, trincheira terra, trincheira concreto); V12 - cor da lona (preta, branca, preta e branca, preta e cinza); V13 - cobertura da lona (terra, sem, outros); V14 - forma de retirada da silagem (manual com garfo, trator com concha, desensiladora tipo fresa).

A partir da matriz 14 (variáveis) x 108 (silos), nove variáveis foram selecionadas para a análise de componentes principais. Foram selecionadas as variáveis que apresentaram coeficiente de variação (CV) maior que 30%. A variável cobertura (V13), apesar de ter um CV de 20,5%, também foi selecionada, pois melhorou a análise de componentes principais. A variável tecnologia Bt (V6) não foi utilizada pela correlação com a variável evento (V7) ($r = 0,938$; $P < 0,05$), sendo utilizada a variável evento pelo maior CV (52,1% x 35,1%). A variável híbrido (V3) não foi utilizada pela correlação com a variável ciclo (V5) ($r = 0,317$; $P < 0,05$), sendo utilizada a variável ciclo pelo maior CV (49,5% x 39,8%).

A fim de relacionar os níveis tecnológicos com a qualidade da silagem, foram coletadas amostras estratificadas em cinco pontos no painel dos silos (superior direita, superior esquerda, inferior direita, inferior esquerda e centro). As cinco subamostras foram homogeneizadas para compor uma amostra composta de cada silo.

Foram determinados os teores de matéria seca (MS), segundo AOAC (1998), proteína bruta (PB) pelo método de combustão Dumas (Nelson & Sommers, 1980), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), conforme Van Soest (1991), digestibilidade “in vitro” da matéria seca (DIVMS) por Tilley & Terry (1963), amido, conforme Pereira e Rossi (1995), potencial hidrogeniônico (pH) através de potenciômetro (Silva & Queiroz, 2006), micotoxina (Zearalenona) por cromatografia líquida em camada delgada (Scott, 1997) e a distribuição e tamanho médio de partículas pelo sistema de peneiras Penn State, segundo Lammers et al. (1996). Os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram estimados pela equação $NDT = 87,84 - (0,7 \times FDA)$, conforme Undersander et al. (1993) e o valor relativo nutricional (VRN) pela equação $VRN = (IMS \times DMS)/1,29$, em que $IMS = 120/FDN$ e $DMS = 88,9 - (0,779 \times FDA)$, conforme Rohweder et al. (1978).

A densidade (DE) das silagens foi determinada, conforme metodologia proposta por D'Amours & Savoie (2005). Foram avaliados cinco pontos no painel do silo, nos mesmos estratos da coleta da amostra. As avaliações foram realizadas com uso de

cilindro metálico, que possuía 20,0 cm de comprimento e 10,0 cm de diâmetro. A densidade da silagem na matéria natural (DEM_N) foi calculada pela equação: $DEM_N (kg/m^3) = \text{Massa Silagem Coletada (kg)} / \text{Volume Cilindro (m}^3\text{)}$. A DEM_S foi calculada multiplicando a DEM_N pelo teor de MS da silagem.

No momento da amostragem, também foi medida a temperatura da silagem, com uso de termômetro digital tipo “espeto”, marca Incoterm, na profundidade de 0 a 15 cm em cinco pontos do painel do silo.

Para a avaliação da estabilidade aeróbia, uma amostra de cada silo foi coletada e colocada em baldes de 20 litros. Os baldes com as silagens foram deixados abertos, em ambiente com temperatura de 25°C +/- 2°C, durante 120h. A temperatura das silagens foi medida a cada 24h. Considerou-se que a estabilidade aeróbia foi quebrada quando a temperatura da silagem aumentou 2°C em relação à temperatura ambiente (Moran, 1996).

Para as avaliações referentes às dietas dos animais, produção e qualidade do leite, foram selecionadas somente propriedades com animais da raça Holandesa. Como nem todas as propriedades realizam balanceamento de dieta e controle leiteiro, foram obtidos os dados de dieta de 50 propriedades e controle leiteiro de 59 propriedades.

As informações obtidas sobre as dietas foram quantidade de silagem de milho por animal, porcentagem de silagem de milho na dieta, porcentagem de volumoso na dieta, quantidade total de MS ofertada por animal e composição quanto a MS, PB, FDA, FDN, amido, EE e NDT.

As informações sobre a produção e qualidade de leite (proteína, gordura, lactose, sólidos e contagem de células somáticas-CCS) foram obtidas através do controle leiteiro realizado pela Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH). A metodologia utilizada nas análises de proteína, gordura, lactose e sólidos foi infravermelho e para CCS a citometria de fluxo. Foi utilizado o controle leiteiro mais próximo da data de coleta da silagem, em média 11 dias após a coleta.

Para as análises estatísticas, o conjunto de dados das variáveis tecnológicas foi padronizado com média nula e variância unitária. Os procedimentos utilizados foram análise de componentes principais, seguida de análise de agrupamento entre as variáveis tecnológicas (explicativas). A análise de agrupamento foi processada, segundo metodologia proposta por Ward (1963). Para a comparação dos grupos obtidos, foi realizada análise de variância e teste de Tukey a 0,05 de probabilidade de erro. O

programa de estatística utilizado foi o SPSS Statistics 17.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

Resultados e Discussão

Com relação às características das lavouras e procedimentos na ensilagem, constata-se que houve diversidade de adoção de tecnologias, com coeficientes de variação entre 20 a 52% (Tabela 1).

Tabela 1 - Variáveis coletadas, descrição, frequência e coeficientes de variação observados em 108 silos

Variável	Descrição e Frequência (%)				CV (%)
Colheita	Terceirizada (65%)	Própria (35%)			29,1
Máquina	Automotriz (55%)	Montada (45%)			32,3
Híbrido Milho*	P32R22H (16%)	DKB330 (12%)	P32R22 (11%)	P30R50 (9%) P30R50H(7%)	39,8
Empresa Híbrido	Atlântica (5%)	Dow (7%)	Syngenta (6%)	Monsanto(29%) Pioneer(53%)	28,1
Ciclo Híbrido	Normal (51%)	Precoce (17%)	Superprecoce(32%)		49,5
Tecnologia Bt	Não (59%)	Sim (41%)			35,1
Evento Bt	Convencional(59%)	Yieldgard (14%)	Herculex (27%)		52,1
Indicado Silagem	Não (20%)	Sim (80%)			22,5
Aplic. Fungicida	Não (53%)	Sim (47%)			34,1
Inoculante	Não (81%)	Sim (19%)			32,9
Tipo Silo	Superfície (25%)	Trinc. Terra (46%)	Tr. Concreto (29%)		36,1
Cor Lona	Preta (49%)	Preta Branca(39%)	Branca (10%)	Preta Cinza(2%)	53,3
Cobertura Lona	Terra (85%)	Sem (7%)	Outros (8%)		20,5
Retirada Silagem	Garfo (62%)	Concha (22%)	Desensiladora(16%)		31,8

* Outros (45%)

Quanto aos tipos de milho utilizados, ao todo foram 27 diferentes híbridos, sendo que os cinco mais utilizados representaram 55% das silagens avaliadas. Esses cinco híbridos são recomendados para alta tecnologia, sendo todos do tipo híbrido simples, que possuem maior heterose genética. Entre os 27 híbridos, 80% deles são indicados para silagem pelos órgãos de pesquisa. Quanto ao ciclo dos híbridos, uso de tecnologia Bt e aplicação de fungicidas, não houve predominância de um em relação ao outro.

Com relação ao processo de ensilagem, observa-se grande utilização de colheita terceirizada (65%) e máquinas automotrizes (55%). Estes dados evidenciam maior uso de tecnologia de ensilagem na região do Centro-oriental do Paraná, comparada ao Brasil, onde 41% dos produtores terceirizam a colheita de silagem e apenas 10% utilizam máquinas automotrizes (Bernardes, 2012). Já o uso de inoculantes bacterianos na ensilagem foi presente em apenas 19% das silagens, semelhante ao levantamento de Bernardes (2012).

Segundo Pereira (2011), a contratação de serviços de colheita para ensilagem é uma tendência nacional, pois possibilita ao produtor a colheita da forragem com máquinas de alta tecnologia, sem investimentos de capital, com alto rendimento de colheita, favorecendo o corte no ponto correto e fechamento mais rápido do silo.

Quanto às características estruturais dos silos avaliados, a predominância foi do tipo trincheira (75%), sendo a maioria sem revestimento, pois requer menor investimento em relação ao uso de silos revestidos com concreto. Bernardes (2012) registrou que no Brasil os silos mais utilizados são do tipo trincheira (60%) e superfície (38%). Na cobertura dos silos, a lona preta foi a mais utilizada (49%), seguida da dupla face preta e branca (39%), branca dos dois lados (10%) e dupla face preta e cinza (2%). No Brasil, a lona dupla face preta e branca é a mais utilizada (78%) (Bernardes, 2012). Na maior parte dos silos, a lona foi coberta com terra (85%) e a retirada da silagem realizada de forma manual com garfo (62%), próximo ao observado no Brasil, onde 67% dos produtores utilizam terra e 85% fazem a retirada manual (Bernardes, 2012). A retirada manual foi mais frequente nas pequenas propriedades (média de 21 ha), sendo o trator com concha mais utilizado nas grandes propriedades (média de 42 ha). Contudo, o uso máquinas para desensilagem é crescente principalmente nas grandes propriedades.

As variáveis referentes aos sistemas de produção de silagem foram analisadas pelo método da análise fatorial em componentes principais, sendo criados dois componentes principais sintéticos (CP1 e CP2), que explicaram 44,27% da variância acumulada (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre as variáveis e dois componentes principais

Variável	Componentes	
	CP1 Lavoura e Ensilagem	CP2 Silo e Desensilagem
Evento	0,705	0,041
Ciclo	0,688	-0,049
Fungicida	0,645	-0,208
Inoculante	0,615	0,357
Máquina	0,445	0,407
Retirada	0,081	0,686
Tipo Silo	0,008	0,654
Cor Lona	-0,463	0,590
Cobertura	-0,108	0,451
Variância explicada (%)	24,39	18,88
Variância acumulada (%)		44,27

O CP1 explicou 24,39% da variação total da análise e foi marcado pelas tecnologias de condução da lavoura e de ensilagem (ciclo do híbrido de milho, evento Bt, aplicação de

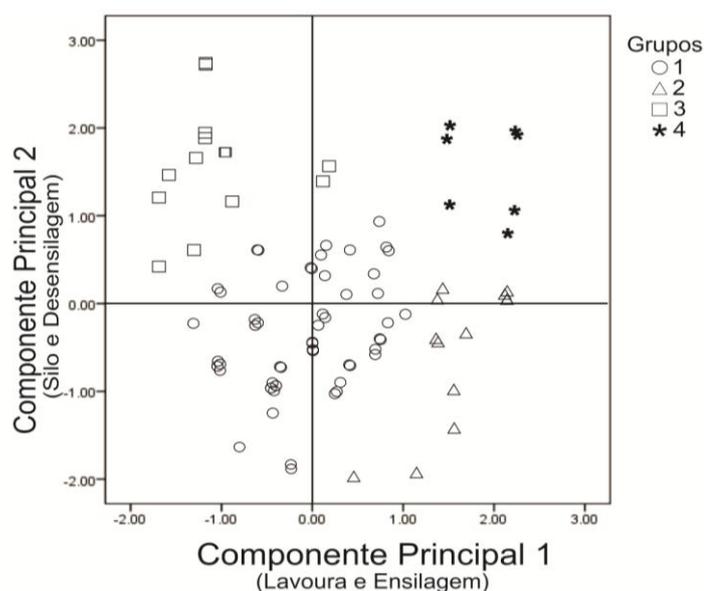
fungicida na cultura, tipo da máquina empregada na colheita da silagem e uso de inoculante na ensilagem). As variáveis híbrido de milho e tecnologia Bt também estão relacionadas com esse componente, pois estão correlacionadas com ciclo e evento Bt.

O CP2 explicou 18,88% da variação total da análise e foi marcado pelas características inerentes ao silo (tipo de silo, cor da lona, cobertura sobre a lona e forma de retirada da silagem).

O primeiro componente (CP1) exprime, portanto, a dimensão do emprego de tecnologia na condução da lavoura e processo da ensilagem. Este componente assumirá valor negativo sempre que na propriedade for utilizado híbrido de menor qualidade, de ciclo normal, sem tecnologia Bt, sem aplicação de fungicida na lavoura, sem colheita com máquinas automotrizes e sem emprego de inoculante na ensilagem.

O segundo componente (CP2) exprime o investimento no silo propriamente dito e na desensilagem. Assumirá valor negativo quando o silo for de superfície, com uso de lona preta comum, sem cobertura sobre a lona e retirada da silagem usando trator com concha.

Para complementar os resultados obtidos na análise fatorial em componentes principais, foi realizada a classificação hierárquica, segundo Ward (1963). Foram formados quatro grupos distintos, porém homogêneos entre si. Os grupos ficaram dispostos ao longo dos dois eixos dos componentes principais, havendo agrupamento das propriedades (Figura 1).



Grupo 1: médio investimento na lavoura/ensilagem e silo/desensilagem; Grupo 2: alto investimento na lavoura/ensilagem e baixo no silo/desensilagem; Grupo 3: baixo investimento na lavoura/ensilagem e alto no silo/desensilagem; Grupo 4: alto investimento na lavoura/ensilagem e silo/desensilagem.

Figura 1 - Distribuição espacial dos silos de acordo com dois componentes principais.

Para o CP1, os grupos com valores maiores significam maior investimento na lavoura de milho bem como nas operações de ensilagem. Para o CP2, os grupos com valores maiores significam maiores investimentos na estrutura do silo e na desensilagem.

O grupo 1 teve a maior quantidade de representantes (74 silos). Os representantes desse grupo se concentram próximo ao centro dos eixos dos componentes 1 e 2, representados por produtores que utilizam médio nível de investimento em tecnologia tanto na lavoura e ensilagem como no silo e desensilagem. O grupo 2 (12 silos) representa bom investimento na lavoura, mas baixo investimento na estrutura de armazenagem e descarga do silo. O grupo 3 (15 silos) representa menor investimento na condução da lavoura e ensilagem, porém agrupa silos bem feitos e com retirada adequada. O grupo 4 teve a menor quantidade de representantes (7 silos). Este grupo, apesar de menor, se destaca frente aos demais por possuir alto investimento tecnológico, tanto na lavoura e ensilagem (CP1) como na estrutura de armazenagem e desensilagem (CP2).

Quanto aos aspectos físicos e químicos das silagens, o grupo 4 apresentou os melhores resultados, com maior densidade da matéria seca (DEMS), menor teor de FDN, maior teor de MS e valor relativo nutricional (VRN) (Tabela 3). Porém, este grupo apresentou a maior temperatura no painel do silo (29,4 °C). Portanto, o maior investimento realizado pelos produtores desse grupo na condução da lavoura, ensilagem e utilização, refletiu em melhores características físicas (DEMS e MS) e químicas da silagem (FDN e VRN). A melhoria da qualidade da silagem por meio de melhores técnicas de ensilagem, como adequada compactação (Senger et al., 2005; Amaral et al., 2007), escolha do híbrido (D'Amours & Savoie, 2005; Embrapa, 2009; Zopollatto, 2009), ponto de colheita (Cox & Cherney, 2005; D'Amours & Savoie, 2005; Senger et al., 2005; Zopollatto, 2009; Ferraretto & Shaver, 2012) e vedação do silo (Borreani et al., 2007) estão bem descritas na literatura.

A maior temperatura observada nas silagens do grupo 4 pode estar relacionada à maior quantidade de substâncias não fibrosas, que são preferidas pelos microrganismos aeróbicos. Forragens com alto valor nutricional e bem ensiladas resultam em silagens com maior teor de açúcares residuais e de ácido lático (McDonald et al., 1991), que são substratos para as leveduras, primeiros microrganismos que se desenvolvem e causam a elevação inicial da temperatura, aumento de pH e redução da digestibilidade e conteúdo de energia da silagem (Jobim et al., 2007).

Tabela 3 - Variáveis físicas e químicas das silagens de milho para cada grupo de silos

Variáveis	Grupos de Silos				Média	P>f
	1	2	3	4		
Características físicas						
MS (g/kg)	312 ^{ab}	285 ^b	319 ^{ab}	338 ^a	312	0,049
DEMN (kg/m ³)	679	734	671	715	686	0,088
DEMS (kg/m ³)	210 ^b	207 ^b	213 ^b	240 ^a	212	0,015
Temperatura Silo (°C)	24,6 ^b	25,5 ^{ab}	28,0 ^{ab}	29,4 ^a	25,5	<0,001
Estabilidade Aeróbia (h)	65,5	54,0	73,6	68,6	65,6	0,644
Peneira 1 (g/kg)	76	103	93	74	81	0,430
Peneira 2 (g/kg)	646	674	700	694	659	0,203
Peneira 3 (g/kg)	267	218	203	221	250	0,014
Peneira 4 (g/kg)	10	5	8	11	9	0,228
TMP (mm)	9,3	10,4	10,3	9,8	9,6	0,008
Características químicas						
pH	3,9	3,9	3,9	4,0	3,9	0,534
PB (g/kg)	79	81	81	81	80	0,573
FDA (g/kg)	255	251	251	235	253	0,513
FDN (g/kg)	467 ^a	453 ^{ab}	449 ^{ab}	410 ^b	459	0,025
Amido (g/kg)	329	345	320	370	332	0,118
DIVMS (g/kg)	716	725	726	730	719	0,254
NDT (g/kg)	700	703	703	714	701	0,510
VRN (g/kg)	140 ^b	144 ^{ab}	145 ^{ab}	162 ^a	142	0,037
Zearalenona (ppb)	320	263	291	303	308	0,882

MS: teor matéria seca; DEMN: densidade da matéria natural; DEMS: densidade da matéria seca; P1: peneira 1 (>19 mm); P2: peneira 2 (8 a 19 mm); P3: peneira 3 (1,18 a 8 mm); P4: peneira 4 (<1,18 mm); TMP: tamanho médio de partículas.

Grupo 1: médio investimento na lavoura/ensilagem e silo/desensilagem; Grupo 2: alto investimento na lavoura/ensilagem e baixo no silo/desensilagem; Grupo 3: baixo investimento na lavoura/ensilagem e alto no silo/desensilagem; Grupo 4: alto investimento na lavoura/ensilagem e silo/desensilagem.

O grupo 1, que representa a maioria dos silos, com médio investimento na lavoura, ensilagem, silo e desensilagem, ao contrário do grupo 4, apresentou menor DEMS, com menor temperatura da silagem e pior qualidade em termos de FDN e VRN. Possivelmente, a temperatura dos silos desse grupo (24,6°C) foi menor pela menor quantidade de substrato para os microrganismos aeróbicos.

Os grupos 2 e 3 não tiveram destaques significativos, com exceção do teor de MS da silagem do grupo 2 (285 g/kg) que foi inferior ao grupo 4 (338 g/kg).

O número de lactações e os dias em leite (DEL) não variaram entre os grupos, indicando que a idade média dos animais e fases de lactação eram homogêneas independentes dos níveis tecnológicos (Tabela 4).

O grupo 4, de maior investimento na lavoura, ensilagem, silo e desensilagem, foi formado por propriedade com maior área destinada à silagem (84 ha), maior número de animais (342) e tecnologia de produção mais intensiva. Das sete propriedades desse grupo, cinco possuíam sistema de confinamento dos animais, com maior número de lotes de alimentação (média 4,2) e maior número de ordenhas diárias (média 2,6). Além

disso, fornecia maior quantidade de silagem de milho aos animais (9,3 kg/vaca/dia) e maior quantidade da dieta total (23,8 kg/vaca/dia) com maior teor de PB (165 g/kg).

Tabela 4 - Características do sistema de produção, composição da dieta, produção e composição do leite relativo aos grupos de silos

Variáveis	Grupos				Média	P>f
	1	2	3	4		
Sistema de produção						
Número de lotes	1,9 ^b	2,3 ^b	2,7 ^b	4,2 ^a	2,4	<0,001
Número de tratos	2,1	2,3	1,9	2,1	2,1	0,416
Número de animais	92 ^b	114 ^b	140 ^b	342 ^a	120	<0,001
Número de lactações	2,3	2,1	2,5	2,5	2,4	0,164
Dias em lactação	198	198	204	235	204	0,068
Área para silagem (ha)	24,1 ^b	35,3 ^b	40,5 ^b	84,0 ^a	31,5	<0,001
Número de ordenhas (dia)	2,1 ^b	2,4 ^{ab}	2,3 ^{ab}	2,6 ^a	2,2	0,021
Torção de abomaso (%/mês)	0,5	0,9	0,6	0,4	0,6	0,914
Composição da dieta						
Silagem milho (kg/vaca/dia)	8,1 ^{ab}	7,0 ^b	8,0 ^{ab}	9,3 ^a	8,1	0,122
Sil. Milho:dieta (g/kg)	382	334	373	391	378	0,573
Volumoso:dieta (g/kg)	528	506	522	512	523	0,845
Oferta dieta (kg/vaca/dia)	21,3 ^b	20,8 ^b	21,2 ^b	23,8 ^a	21,5	0,010
MS (g/kg)	437	416	450	494	445	0,278
PB (g/kg)	153 ^b	158 ^{ab}	157 ^{ab}	165 ^a	155	0,001
FDA (g/kg)	203	209	196	211	203	0,310
FDN (g/kg)	360	366	350	351	357	0,636
Amido (g/kg)	266	250	264	272	264	0,667
NDT (g/kg)	713	706	718	731	716	0,165
Produção e composição do leite						
Produção leite (L/vaca/dia)	29,5 ^b	30,7 ^b	30,5 ^b	36,6 ^a	30,6	0,008
Gordura (g/kg)	34	34	33	31	33	0,339
Proteína (g/kg)	32 ^a	32 ^a	32 ^a	30 ^b	32	0,018
Lactose (g/kg)	46	45	46	46	46	0,514
Sólidos (g/kg)	120	120	119	116	119	0,168
CCS (1.000 células/mL)	332 ^{ab}	468 ^{ab}	524 ^a	315 ^b	394	0,004

Grupo 1: médio investimento na lavoura/ensilagem e silo/desensilagem; Grupo 2: alto investimento na lavoura/ensilagem e baixo no silo/desensilagem; Grupo 3: baixo investimento na lavoura/ensilagem e alto no silo/desensilagem; Grupo 4: alto investimento na lavoura/ensilagem e silo/desensilagem.

Todos estes fatores inerentes à qualidade da silagem, sistema de produção e dieta utilizada, resultaram em maior produção de leite do grupo 4 em relação à média (36,6 x 30,6 L/vaca/dia). O leite deste grupo teve menor teor de PB (30 g/kg) e CCS (315.000 células/mL) em relação à média de 32 g/kg e 394.000 células/mL. O menor teor de PB do leite desse grupo pode ser explicado pelo efeito de diluição pelo maior volume (Cunha et al., 2008), mas ainda foi superior aos 29 g/kg exigido pela legislação brasileira para leite cru (MAPA, 2002). A menor CCS pode estar relacionada ao melhor manejo dos animais, mas também à melhor qualidade nutricional e sanitária da silagem. A maior DEMS observada nas silagens desse grupo, provavelmente favoreceu a manutenção da anaerobiose no silo, preservando a qualidade da forragem e reduzindo o desenvolvimento de microrganismos deletérios (Muck, 1988).

Analisando os resultados dos silos do grupo 4, fica evidenciado que melhores práticas de condução da lavoura, ensilagem, manejo do silo e desensilagem resultam em melhor valor alimentício da forragem. O valor alimentício é definido como interação do valor nutricional com o consumo, e quando aliada ao bom manejo dos animais, resulta em maior produção de leite (Jobim et al., 2007).

O leite das propriedades do grupo 3 teve maior CCS (524.000 células/mL), acima do permitido pela legislação que é de 400.000 células/mL (MAPA, 2002). O maior diferencial entre os silos do grupo 3 e do grupo 4, que teve a menor CCS, foi o nível de investimento na lavoura e na ensilagem (CP1), com escores de -1,1 e +1,9, respectivamente. As silagens com maior porosidade podem ter pior qualidade higiênica sanitária da silagem, já que a deterioração aeróbia pode resultar em crescimento de microrganismos patogênicos (Ivanek et al., 2006; Borreani & Tabacco, 2010), que tornam a silagem menos palatável e produzem desordens metabólicas em vacas leiteiras (Trevisi et al., 2003).

Conclusões

O nível tecnológico empregado nas lavouras e na ensilagem é elevado na região Centro-oriental paranaense, principalmente com utilização de híbridos de milho de alta tecnologia e colheita terceirizada com máquinas automotrizes.

Os investimentos nos silos são baixos, sendo a maior parte dos silos do tipo trincheira de terra, cobertos com lona preta e terra e a desensilagem é manual.

Os indicadores técnicos que marcam a diferença entre as silagens estão relacionados ao nível de investimento na cultura do milho e no processo de ensilagem, no silo e na desensilagem.

Propriedades com maiores investimentos na produção de silagem e com sistemas de produção mais intensivos possuem silagem de melhor qualidade e maior produção de leite por vaca.

Referências

- ALLEN, M.S.; COORS, J.G.; ROTH, G.W. Corn Silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Eds.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.547-608.
- AMARAL, R.C.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. et al. Características fermentativas e químicas de silagens de capim-marandu produzidas com quatro pressões de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.3, p.532-539, 2007.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 16.ed. Washington, D.C., 1998.
- BERNARDES, T.F. **Levantamento das práticas de produção e uso de silagens em fazendas leiteiras no Brasil**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2012. 17p. (E-book).
- BORREANI, G.; TABACCO, E. The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. **Journal of Dairy Science**, v.93, n.6, p.2620-2629, 2010.
- BORREANI, G.; TABACCO, E.; CAVALLARIN, L. A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.10, p.4701-4706, 2007.
- COX, W.J.; CHERNEY, J.H. Timing corn forage harvest for bunker silos. **Agronomy Journal**, v.97, n.1, p.142-146, 2005.
- CUNHA, R.P.L.; MOLINA, L.R.; CARVALHO, A.U. et al. Mastite subclínica e relação da contagem de células somáticas com número de lactações, produção e composição química do leite em vacas da raça Holandesa. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, n.1, p.19-24, 2008.
- D'AMOURS, L.; SAVOIE, P. Density profile of corn silage in bunker silos. **Canadian Biosystems Engineering**, v.47, n.2, p.2.21-2.28, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA [2001]. **Silagem de milho ou sorgo: quando bem preparada é alimento garantido**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. Disponível em: <<http://www.cileite.com.br/sites/default/files/42Instrucao.pdf>>. Acesso em: 2 mai. 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA [2005]. **Custos de forrageiras**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. Disponível em: <<http://www.cnppl.embrapa.br/nova/informacoes/custos/custos2.php>>. Acesso em: 2 mai. 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA [2009]. **Cultivares de milho para silagem: Resultados das safras 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006 nos municípios de Ijuí e Lages da Região Sul do Brasil**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2009. Disponível em: <<http://www.cnppl.embrapa.br/nova/informacoes/silagem/CT%20100.pdf>>. Acesso em: 2 mai. 2012.
- FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Meta-analysis: effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v.28, n.2, p.141-149, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE [2012]. **Produção da pecuária municipal 2012**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2012/>>. Acesso em: 29 abr. 2013.

- IVANEK, R.; GROHN, Y.; WIEDMANN, M. *Listeria monocytogenes* in multiple habitats and host populations: Review of available data for mathematical modeling. **Foodborne Pathogens and Disease**, v.3, n.4, p.319-336, 2006.
- JANSSEN, H.P. **Adubação nitrogenada para rendimento de milho silagem em sucessão ao azevém pastejado, pré-secado e cobertura em Sistemas integrados de produção**. 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, supl. spe., p.101-119, 2007.
- JOHNSON, L.; HARRISON, J.H.; HUNT, C. et al. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.12, p.2813-2825, 1999.
- LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICH, A.J. A simple method for the analysis of particle size of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.5, p.922-928, 1996.
- LAUER, J.G.; COORS, J.G.; FLANNERY, P.J. Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. **Crop Science**, v.41, n.5, p.1449-1455, 2001.
- LINN, J. Making high corn silage diets work. In: MINNESOTA DAIRY CONFERENCE AND DAIRY EXPO, 2003, St. Cloud. **Proceedings...** St. Cloud: University of Minnesota, 2003. p.58-63.
- MCDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTACIMENTO – MAPA [2002]. **Instrução normativa nº 51, de 18 de setembro de 2002**. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <<http://www.leitebrasil.org.br/legislacao.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- MORAN, J.P.; WEINBERG, G.; ASHBELL, Y.H. et al. A comparison of two methods for the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage. In: INTERNATIONAL SILAGECONFERENCE, 11., 1996, Aberystwyth. **Proceedings...** Aberystwyth: University of Wales Aberystwyth, 1996. p.162-163.
- MUCK, R.E. Factors Influencing Silage Quality and Their Implications for Management. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.11, p.2992-3002, 1988.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
- NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total nitrogen analysis for soil and plant tissues. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.63, p.770-778, 1980.
- PEREIRA, J.R.A. Custom services for forage conservation services. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 2., 2011, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2011. p.183-195.
- PEREIRA, J.R.A.; ROSSI JR., P. **Manual prático de avaliação nutricional de alimentos**. 1.ed. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1995. 25p.
- ROHWEDER, D.A.; BARNES, R.F.; JORGENSEN, N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. **Journal of Animal Science**, v.47, n.3, p.747-759, 1978.

- SCOTT, P.M. Natural toxins. In: Cunnif, P. (Ed.) **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16.ed. Gaithersburg: AOAC, 1997. p.970-986.
- SENGER, C.C.D.; MUHLBACH, P.R.F.; SANCHEZ, L.M.B. et al. Composição química e digestibilidade 'in vitro' de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. **Ciência Rural**, v.35, p.1393-1399, 2005.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2006. 235p.
- TILLEY, J.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique of the in vivo digestion of forage crops. **Journal British of Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.
- TREVISI, E.; BANI, E.; BERTONI, G. Effect of use of maize-silage with low aerobic stability on performance of lactating dairy cows. *Veterinary Record*, v.27, p.273-275, 2003.
- UNDERSANDER, D.; MERTENS, D. R.; THIEX, N. **Forage analyses procedures**. Omaha: National Forage Testing Association, p.130-131, 1993.
- VAN SOEST, J.P.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.
- WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal American Association**, v.58, p.236-244, 1963.
- ZOPOLLATO, M.; NUSSIO, L. G.; MARI, L. J. Alterações na composição morfológica em função do estágio de maturação em cultivares de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.452-461, 2009.

VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário de perdas físicas de silagem de milho nas propriedades visitadas é preocupante. As perdas estavam presentes em 97% dos silos avaliados, com maior frequência para descarte de silagem, seguido de camada superficial deteriorada e efluente. As perdas por descarte de silagem foram maiores quando a colheita foi realizada com máquina automotriz, o tamanho de partículas era maior e a densidade da matéria natural da silagem era menor. As perdas por camada superficial deteriorada abaixo da lona foram maiores em silos de superfície, sem cobertura sobre a lona e retirada da silagem realizada com concha. As perdas pela produção de efluentes foram influenciadas somente pelo teor de matéria seca da silagem. Estes resultados demonstram que a utilização de técnicas simples e já conhecidas pelos produtores, permitem reduzir consideravelmente as perdas físicas de silagem de milho, resultando em menor custo da silagem, permitindo alimentar maior quantidade de animais e produzir mais leite com menor custo. Portanto, sempre que possível o produtor deve optar por silos do tipo trincheira, colher com adequado teor de MS (30 e 35%), adequado tamanho de partículas (peneiras PennState), fazer boa compactação, colocar terra sobre a lona e fazer retirada uniforme da silagem.

A maior parte das silagens avaliadas apresentavam teor de MS, densidade da matéria seca (DEMS) e distribuição do tamanho de partículas inadequado conforme as recomendações da pesquisa. A densidade da matéria natural (DEMN) não mostrou ser um bom indicativo da qualidade da silagem, pois silagens com maior DEMN tiveram menor valor nutricional. Por outro lado, o teor de MS e a DEMS tiveram relação positiva com o valor nutricional da silagem, mas negativa com o teor de gordura e sólidos do leite. Apesar disso, a DEMS teve relação positiva com a produção de leite. O tamanho de partículas não teve relação com nenhum parâmetro estudado. Como

implicações práticas, o produtor deve procurar colher o milho com teor adequado de MS e realizar boa compactação, a fim de obter uma silagem com maior qualidade nutricional e maior produção de leite, sem comprometer o teor de sólidos.

Os produtores de leite da região Centro-oriental do Paraná fazem alto investimento nas lavouras de milho e na ensilagem, com utilização de híbridos de milho de alta tecnologia e colheita terceirizada com máquinas automotrizes. No silo propriamente dito, os investimentos são menores, sendo a maior parte dos silos do tipo trincheira de terra, cobertos com lona preta e com desensilagem manual. Verificou-se que as propriedades que investem mais na produção de silagem possuem silagem de melhor qualidade e produzem mais leite por vaca. Dessa forma, sugere-se que os produtores continuem investindo na lavoura de milho e na ensilagem e invistam mais no silo e na desensilagem, pois o conjunto desses investimentos reflete em maior produção de leite.