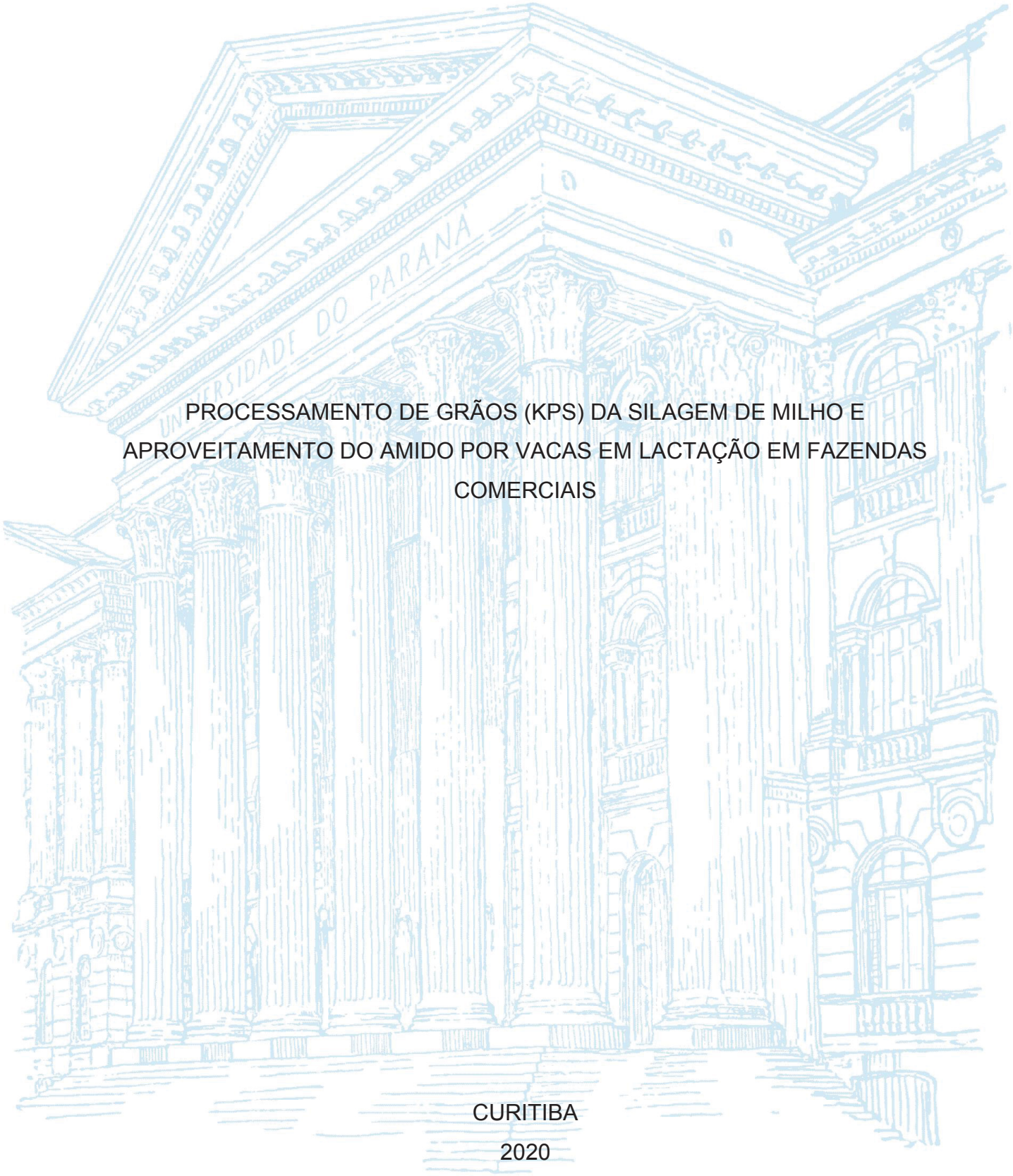
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARYON STRACK DALLE CARBONARE



PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DA SILAGEM DE MILHO E APROVEITAMENTO DO AMIDO POR VACAS EM LACTAÇÃO EM FAZENDAS COMERCIAIS

CURITIBA

2020

MARYON STRACK DALLE CARBONARE

PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DA SILAGEM DE MILHO E APROVEITAMENTO DO AMIDO POR VACAS EM LACTAÇÃO EM FAZENDAS COMERCIAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Patrick Schmidt

CURITIBA

2020

Carbonare, Maryon Strack Dalle
Processamento de grãos (KPS) da silagem de milho e aproveitamento do amido por vacas em lactação em fazendas comerciais. / Maryon Strack Dalle Carbonare. - Curitiba, 2020.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.
Orientador: Patrick Schmidt.

1. Bovinos de leite - Metabolismo. 2. Ensilagem. 3. Leite - Produção - Paraná. 4. Leite - Produção - São Paulo. 5. Leite - Produção - Aspectos econômicos. I. Schmidt, Patrick. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

Sistema de Bibliotecas/UFPR
Guilherme Luiz Cintra Neves - CRB9/1572

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA - 40001016082P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **MARYON STRACK DALLE CARBONARE** intitulada: **Processamento de grãos (KPS) da silagem de milho e aproveitamento do amido por vacas em lactação em fazendas comerciais**, sob orientação do Prof. Dr. PATRICK SCHMIDT, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 24 de Março de 2020.

Assinatura Eletrônica
31/03/2020 16:40:55.0
PATRICK SCHMIDT
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
31/03/2020 23:06:51.0
LUIZ FELIPE FERRARETTO
Avaliador Externo (UNIVERSITY OF FLORIDA)

Assinatura Eletrônica
05/04/2020 13:36:43.0
CLAUDIO KAPP JUNIOR
Avaliador Externo (FUNDAÇÃO ABC)

Assinatura Eletrônica
01/04/2020 08:33:28.0
JOAO LUIZ PRATTI DANIEL
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ)

Assinatura Eletrônica
01/04/2020 09:05:01.0
RODRIGO DE ALMEIDA
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

À minha família, em especial
aos meus pais Adilson e Glory
e meu marido Guilherme.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Patrick Schmidt, pela orientação e inúmeros ensinamentos, estes que vão além do conhecimento técnico-científico inquestionável, mas também sobre caráter, honestidade, sinceridade e amizade. Tenho um grande orgulho de ter sido sua orientada, serei sempre grata.

A Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia pela oportunidade em realizar o doutorado.

A todos os técnicos, produtores e lideranças das cooperativas Capal, Frísia e Castrolanda, foram fundamentais para que todas as coletas fossem realizadas, sem esse apoio este trabalho não seria possível. A Fundação ABC, abcLab e Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH) pelo fornecimento dos dados.

A minha família e principalmente aos meus pais, Adilson e Glory, por serem meu porto seguro e estarem ao meu lado em todos os momentos da minha vida, fazendo o possível e o impossível sempre. Eu amo vocês!

Ao meu marido Guilherme, obrigada por todo o amor, carinho e extrema paciência, principalmente nos últimos meses, me sinto muito feliz em saber que tenho você como meu companheiro e amigo pela vida toda. Te amo!

Aos meus colegas e agora amigos Denise Pereira que tabulou grande parte dos dados e estava comigo durante dez horas do meu dia, nos momentos de felicidade e nervosismo, Claudio Kapp Jr. pelo auxílio na programação da árvore de decisão e muitas trocas de ideias e ao Gabriel Barth, pela amizade e apoio em todas as fases da realização deste trabalho.

Aos membros do Comitê de Orientação, Profª. Drª. Maity Zopollatto e Prof. Dr. Rodrigo de Almeida, pelas valiosas contribuições e ao Prof. Dr. João Luiz Pratti Daniel por compartilhar seus conhecimentos com dedicação e paciência por tantas vezes.

A todos os colegas e amigos do CPFOR, a Natália Mello pelo auxílio nos artigos da revisão de literatura. Mesmo de longe, podem contar comigo sempre.

Agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta em todas as fases de realização deste trabalho. Meu sincero e de coração, muito obrigada.

“Ninguém nasce campeão, são 50 mil horas de trabalho para chegar a algum lugar.”

Gustavo Kuerten

“Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu
É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu
É sobre ser abrigo e também ter morada em outros corações
E assim ter amigos contigo em todas as situações”

Ana Carolina Vilela da Costa

EQUILÍBRIO.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico dos processos ligados a produção de silagem de milho e a influência de diversos aspectos de lavoura, colheita e ensilagem relacionados ao processamento dos grãos, e sua influência nas perdas por amido fecal, além de estimar as variações na produção e composição do leite e o efeito econômico para o produtor. Durante o período de julho de 2015 a junho de 2019 foram visitadas 470 propriedades, em 36 municípios das regiões Centro Oriental Paranaense e sul de São Paulo. Foram avaliadas 1.201 amostras de silagens utilizadas na alimentação dos animais, 61 dietas correspondentes, 90 amostras de fezes para análise de amido fecal e 43 controles leiteiros. Em média, 57% das silagens foram classificadas com processamento de grãos ruim, 41% bom e apenas 2% ótimo. O teor médio de amido fecal foi de 7,0±1,9%. O KPS das silagens foi correlacionado negativamente e de alta magnitude com amido fecal ($P < 0,0001$ e r = -0,50). Em média, as colheitas terceirizadas e com máquinas automotrizes resultaram em maiores valores médios de KPS e menores de amido fecal em relação a colheitas próprias e com máquinas tratorizadas. Porém, em valores absolutos, este tipo de colheita e máquina também apresentaram bons resultados. Todas as marcas de máquinas e prestadores de serviços foram capazes de processar a silagem adequadamente. As características químicas da silagem, em geral, resultaram em baixa correlação com o KPS e amido fecal. Já o tamanho médio de partículas resultou em correlação negativa e de alta magnitude com o KPS ($P < 0,0001$ e r = -0,39), independentemente do tipo de máquina. Na análise de componentes principais o CP1 foi determinado como o componente da composição química e o CP2 ortogonal ao CP1 foi determinado pela composição física da silagem e parâmetros de colheita. Na árvore de decisão, a característica de *stay green*, marca da máquina e tipo de máquina foram as mais relevantes. Nenhuma das variáveis foi responsável sozinha por explicar toda a variância do KPS. As silagens de milho que estavam com KPS inadequado, resultaram em valores de amido fecal de 6,7% e silagens com processamento adequado resultaram em valores de 6,1% de amido fecal ($P = 0,4151$). Todas as equações de digestibilidade aparente total do amido avaliadas neste trabalho resultaram em correlação significativa e positiva com o KPS das silagens. O ótimo processamento de grãos é definido por uma série de estratégias conjuntas, que se correlaciona negativamente com o amido fecal, influenciando a produção e composição do leite, e que podem resultar em grande impacto econômico para o produtor.

Palavras-chave: Amido fecal. Ensilagem. Produção de leite. Silo. Tamanho de partículas.

ABSTRACT

The goal of this study was to make a diagnosis of the processes linked to the production of corn silage and the influence of several aspects of crop, harvest and silage related to the processing of grains, and their influence on fecal starch losses. In addition, to estimate variations of milk production, composition and the economics for the farmer. From July 2015 to June 2019, 470 properties were visited in 36 counties in the oriental center of *Paraná* and southern regions of *São Paulo*. It were evaluated 1,201 silage samples used to feed the animals, 61 corresponding rations, 90 stool samples for fecal starch analysis and 43 milk-production controls. On average, 57% of silages were classified as poor grain processing, 41% as good and only 2% as excellent. The average fecal starch content was 7.0 ± 1.9%. The KPS of the silages was negatively and strongly correlated with fecal starch ($P < 0.0001$ and $r = -0.50$). On average, the outsourced harvests and self-propelled machinery led to higher average KPS values and lower fecal starch values in relation to own harvests and pull-type machinery. However, in absolute values, this type of harvest and machine also showed some good results. All brands of harvesters and service providers were able to process the silage properly. The chemical characteristics of silage, in general, were not correlated with KPS and fecal starch. The average particle size resulted in a negative and relatively strong correlation with KPS ($P < 0.0001$ and $r = -0.39$), regardless of the machine type. In the principal component analysis, CP1 was determined as the chemical composition component and CP2 orthogonal to CP1 was determined by the physical composition of the silage and harvest parameters. In the decision tree, the stay green characteristic, harvester brand and machine type were the most relevant. None of the variables were responsible for explaining the entire KPS variance. Corn silages with inadequate KPS resulted in fecal starch values of 6.7% and silages with adequate processing resulted in 6.1% fecal starch values ($P = 0.4151$). All the apparent starch digestibility equations evaluated in this work resulted in a significant and positive correlation with the silage KPS. Optimal kernel processing is defined by many joint strategies, which negatively correlates with fecal starch, influencing milk production and composition, and which can result in great economic impact for the farmer.

Keywords: Ensilage. Fecal starch. Ground silo. Milk production. Particle size.

SAMENVATTING

Het doel van deze studie was om een diagnose te stellen van de processen die verband houden met de productie van de maïskuil en de invloed van verschillende aspecten van het gewas, oogst en kuil in verband met de verwerking van granen, en hun invloed op fecale zetmeelverliezen, naast het schatten van variaties in melkproductie en samenstelling en het economische effect voor de boer. In de periode van juli 2015 tot juni 2019 werden 470 bedrijven bezocht in 36 gemeenten in de regio's Centro Oriental van *Paraná* en de zuidelijke regio's van São Paulo. In totaal werden 1.201 mais kuilmonsters gebruikt in de diervoeding, 61 overeenkomstigen rantsoenen, 90 ontlastingsmonsters voor fecale zetmeel analyse en 43 zuivelcontroles geëvalueerd. Gemiddeld werd 57% kuilvoer geclassificeerd als slechte korrelverwerking, 41% goed en slechts 2% uitstekend. Het gemiddelde fecale zetmeelgehalte was 7,0 ± 1,9%. De KPS van de silages was negatief en sterk gecorreleerd met fecaal zetmeel (*P <0,0001* en r = -0,50). Gemiddeld resulteerden uitbestede oogsten en zelf rijdende machines in hogere gemiddelde KPS-waarden en lagere fecale zetmeelwaarden in vergelijking tot eigen oogsten en met tractormachines. In absolute waarden hebben dit type oogst en machine echter ook goede resultaten opgeleverd. Alle machines merken en dienstverleners konden het kuilvoer goed verwerken. De chemische eigenschappen van kuilvoer resulteerden in het algemeen in een zeer lage correlatie met KPS en fecaal zetmeel. De gemiddelde deeltjesgrootte resulteerde in een negatieve en relatief sterke correlatie met KPS (*P <0,0001* en r = -0,39), ongeacht het machinetype. Bij de analyse van de hoofdcomponenten werd CP1 bepaald als de chemische samenstelling en CP2 orthogonaal ten opzichte van CP1 werd bepaald door de fysische samenstelling van de kuil- en oogstparameters. In de beslissingsboom waren de groene karakteristiek, het machinemerk en het machinetype het meest relevant. Geen van de variabelen was verantwoordelijk voor het verklaren van de volledige KPS-variantie. Kuilvoer met onvoldoende KPS resulteerden in fecale zetmeelwaarden van 6,7% en kuilvoer met juist verwerking resulteerden in 6,1% fecale zetmeelwaarden (*P = 0,4151*). Alle schijnbare vergelijkingen van zetmeelverteerbaarheid die in dit werk werden geëvalueerd, resulteerden in een significant en positieve correlatie met de KPS voor kuilvoer. Optimale graanverwerking wordt bepaald door een reeks gezamenlijke strategieën, die een negatieve correlatie hebben met fecaal zetmeel, die de melkproductie en -samenstelling beïnvloeden, en die kunnen leiden tot grote economische impact voor de boer.

Sleutelwoorden: Fecaal zetmeel. Grond silo. Kuilvoer. Melkproductie. Deeltjesgrootte.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I - CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS SILAGENS DE MILHO DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO DURANTE QUATRO ANOS

Figura 1. Distribuição do número de silos avaliados ao longo dos anos..... 70

Figura 2. Pontos avaliados em silo superfície..... 72

Figura 3. Pontos avaliados em silo trincheira..... 72

Figura 4. Processo inicial para quarteameno da amostra..... 72

Figura 5. Descarte dos dois quartos opostos..... 72

Figura 6. Distribuição por empresas de semente de híbridos de milho..... 77

Figura 7. Distribuição da tecnologia utilizada ao longo dos anos nos híbridos de milho..... 79

Figura 8. Distribuição da utilização de híbridos de milho com a característica de *stay green* ao longo dos anos..... 79

Figura 9. Distribuição da utilização de fungicida na lavoura ao longo dos anos..... 80

Figura 10. Distribuição do tipo de colheita realizada nas propriedades ao longo dos anos..... 81

Figura 11. Distribuição do tipo de máquina utilizada na colheita ao longo dos anos..... 82

Figura 12. Distribuição da marca das máquinas utilizadas nas colheitas ao longo dos anos..... 83

Figura 13. Distribuição da utilização de inoculante no momento da ensilagem ao longo dos anos..... 84

Figura 14. Tipo de silo utilizado para armazenamento das silagens longo dos anos..... 85

Figura 15. Tipo da lona utilizada nos silos ao longo dos anos..... 86

Figura 16. Material utilizado para cobertura dos silos ao longo dos anos..... 87

Figura 17. Distribuição do tipo de equipamento utilizado para o desabastecimento dos silos ao longo dos anos..... 88

Figura 18. Distribuição do teor de matéria seca das amostras ao longo dos anos..... 89

Figura 19. Gráfico BoxPlot do teor de matéria seca das amostras ao longo dos anos..... 90

Figura 20. Gráfico BoxPlot do teor da FDN das amostras ao longo dos anos.... 91

Figura 21. Gráfico BoxPlot do teor da FDA das amostras ao longo dos anos.... 92

Figura 22. Gráfico BoxPlot do teor de lignina das amostras ao longo dos anos..... 93

Figura 23. Gráfico BoxPlot da DIVFDN das amostras ao longo dos anos..... 94

Figura 24. Gráfico BoxPlot do teor de amido das amostras ao longo dos anos..... 95

Figura 25. Gráfico BoxPlot da DIVAMIDO das amostras ao longo dos anos..... 96

Figura 26. Gráfico BoxPlot dos teores de NDT das amostras ao longo dos anos..... 97

Figura 27. Gráfico BoxPlot da DIVMO das amostras ao longo dos anos..... 98

Figura 28. Gráfico BoxPlot da produção de leite estimada (kg T^{-1} MS) em função da qualidade das amostras de silagem ao longo dos anos..... 99

Figura 29. Gráfico BoxPlot da distribuição das partículas na peneira 1 ao longo dos anos..... 100

Figura 30. Gráfico BoxPlot da distribuição das partículas na peneira 2 ao longo dos anos..... 100

Figura 31. Gráfico BoxPlot da distribuição do tamanho médio de partículas das amostras ao longo dos anos..... 101

Figura 32. Gráfico BoxPlot da distribuição do KPS das amostras ao longo dos anos..... 102

Capítulo II - CARACTERIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO

Figura 1. Histograma dos valores de KPS dos silos avaliados..... 120

Figura 2. Distribuição de todos os valores de KPS dentro das classes..... 121

Figura 3. Distribuição dos valores de KPS dentro das classes ao longo dos anos..... 122

Figura 4. Distribuição dos valores de KPS ao longo dos anos..... 123

Figura 5. Distribuição dos valores de KPS de acordo com a uso de OGM..... 125

Figura 6. Distribuição dos valores de KPS de acordo com a característica de *Stay Green* dos híbridos de milho..... 126

Figura 7. Distribuição dos valores de KPS de acordo com a aplicação de fungicida na lavoura..... 129

Figura 8. Distribuição dos valores de KPS de acordo com o tipo de colheita..... 131

Figura 9. Distribuição dos valores de KPS dentro de cada classe acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita..... 133

Figura 10. Distribuição dos valores de KPS de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita..... 134

Figura 11. Distribuição dos valores de KPS de acordo a marca da máquina utilizada na colheita..... 137

Figura 12. Distribuição dos valores de KPS de acordo com o prestador de serviços..... 138

Figura 13. Distribuição dos valores de KPS de acordo com o TMP das silagens avaliadas..... 142

Figura 14. Gráfico *biplot* representativo do Componente Principal 1 (CP1) e Componente Principal 2 (CP2)..... 150

Figura 15. Árvore de decisão com a Marca da Máquina..... 153

Figura 16. Árvore de decisão com o Tipo de Máquina..... 154

Capítulo III - INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS NO APROVEITAMENTO DO AMIDO E PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE NA REGIÃO CENTRO ORIENTAL PARANAENSE

Figura 1. Ilustração do momento da coleta de esterco para a análise de amido fecal..... 169

Figura 2. Ilustrações utilizadas para a avaliação visual do escore de amido fecal..... 169

Figura 3. Histograma dos valores de amido fecal..... 175

Figura 4. Distribuição dos valores de amido fecal..... 176

Figura 5. Agrupamento hierárquico dos produtores..... 179

Figura 6. Distribuição dos valores de amido fecal de acordo com o tipo de colheita do milho para silagem..... 181

Figura 7. Distribuição dos valores de amido fecal de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita do milho silagem..... 183

Figura 8. Valores médios de amido fecal de acordo com o processamento dos grãos das silagens de milho..... 190

Figura 9. Valores médios de produção de leite corrigida a 4% de gordura (kg/animal/dia) de acordo com o processamento de grãos das silagens de milho..... 193

Figura 10. Valores médios de gordura do leite (%) de acordo com o processamento de grãos das silagens de milho..... 194

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Categorização do processamento de grãos da silagem pela metodologia do KPS (Shinners e Holmes, 2013)..... 30

Tabela 2. Distribuição adequada de partículas nas peneiras..... 36

Tabela 3. Dados de processamento de grãos ao redor do mundo..... 42

Tabela 4. Evolução do processamento de grãos das amostras do laboratório Cumberland..... 43

Tabela 5. Evolução do processamento de grãos das amostras do laboratório Rock River..... 44

Tabela 6. Evolução do processamento de grãos das amostras do laboratório Dairyland..... 44

Capítulo I - CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS SILAGENS DE MILHO DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO DURANTE QUATRO ANOS

Tabela 1. Variáveis utilizadas no levantamento de dados e possíveis respostas..... 71

Tabela 2. Recomendação da distribuição adequada do tamanho de partículas para silagem de milho (Heinrichs, 2013)..... 73

Tabela 3. Categorização do processamento de grãos da silagem pela metodologia do KPS (Shinners e Holmes, 2013)..... 74

Tabela 4. Regressão para a validação das curvas de calibração do laboratório BLGG e análises química do abcLab..... 76

Capítulo II - CARACTERIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO

Tabela 1. Variáveis utilizadas no levantamento de dados e possíveis respostas..... 116

Tabela 2. Recomendação da distribuição adequada do tamanho de partículas para silagem de milho (Heinrichs, 2013)..... 117

Tabela 3. Categorização do processamento de grãos da silagem pela metodologia do KPS (Shinners e Holmes, 2013)..... 118

Tabela 4. Análise de qui-quadrado de independência entre as variáveis qualitativas associadas aos híbridos de milho em relação ao processamento de grãos (KPS)..... 124

Tabela 5. Valores de KPS de acordo com o uso de OGM..... 125

Tabela 6. Valores de KPS de acordo com a característica de *Stay Green* dos híbridos de milho..... 126

Tabela 7. Valores de MS, Amido, DIVAMIDO e DIVFDN de acordo com a característica de *Stay Green* dos híbridos de milho..... 127

Tabela 8. Análise de qui-quadrado de independência entre as variáveis qualitativas das características associadas a lavoura e colheita em relação ao processamento de grãos (KPS)..... 128

Tabela 9. Valores de KPS de acordo com a aplicação de fungicida na lavoura..... 129

Tabela 10. Valores de KPS de acordo com o tipo de colheita..... 130

Tabela 11. Valores de KPS de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita..... 132

Tabela 12. Valores de KPS de acordo com a marca da máquina utilizada na colheita..... 136

Tabela 13. Correlação entre KPS e matéria seca das silagens avaliadas..... 139

Tabela 14. Correlação entre KPS e as variáveis relacionadas as fibras das silagens avaliadas..... 140

Tabela 15. Correlação entre KPS e as variáveis energéticas das silagens avaliadas..... 141

Tabela 16. Correlação entre KPS e as variáveis relacionadas a parte física das silagens avaliadas..... 142

Tabela 17. Correlação entre KPS e as variáveis relacionadas a parte física das silagens avaliadas separadas por tipo de máquina utilizada na colheita..... 143

Tabela 18. Porcentagem de silagem retida nas Peneiras 1 e 2 e TMP de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita..... 145

Tabela 19. Categorização do TMP e seus respectivos valores e KPS de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita..... 147

Tabela 20. Coeficientes de correlação entre as variáveis e dois componentes principais..... 149

Tabela 21. Correlação entre as variáveis energéticas (Pr>F e r)..... 150

Tabela 22. Correlação entre FDA e FDN, com as variáveis energéticas das silagens..... 151

Capítulo III - INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS NO APROVEITAMENTO DO AMIDO E PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE NA REGIÃO CENTRO ORIENTAL PARANAENSE

Tabela 1. Variáveis utilizadas no levantamento de dados e possíveis respostas..... 167

Tabela 2. Recomendação da distribuição adequada do tamanho de partículas para silagem de milho (Heinrichs, 2013)..... 170

Tabela 3. Categorização do processamento de grãos da silagem pela metodologia do KPS (Shinners e Holmes, 2013)..... 171

Tabela 4. Correlação entre teor de amido fecal e o tempo de armazenamento das silagens..... 177

Tabela 5. Correlação entre o amido fecal e o escore fecal visual..... 178

Tabela 6. Valores de amido fecal de acordo com o escore fecal visual..... 178

Tabela 7. Médias descritiva das variáveis KPS, amido fecal, PLC 4%, gordura e proteína do leite e CCS separadas pelos grupos gerados pela classificação hierárquica dos produtores..... 180

Tabela 8. Valores de amido fecal de acordo com o tipo de colheita do milho silagem..... 181

Tabela 9. Valores de amido fecal de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita do milho silagem..... 182

Tabela 10. Correlação entre amido fecal e as variáveis de qualidade bromatológica das silagens de milho..... 184

Tabela 11. Correlação entre amido fecal e as variáveis relacionadas ao tamanho de partículas das silagens de milho..... 185

Tabela 12. Estatística descritiva das variáveis relacionadas a produção e composição do leite (n=43)..... 186

Tabela 13. Correlação entre amido fecal e as variáveis relacionadas a produção de leite..... 187

Tabela 14. Correlação entre amido fecal e as variáveis relacionadas a composição do leite..... 188

Tabela 15. Correlação entre KPS e amido fecal..... 188

Tabela 16. Equações de regressão para estimar amido fecal dos animais a partir do KPS das silagens de milho..... 189

Tabela 17. Amido fecal estimado a partir do KPS através da equação originada pelos dados avaliados e pela referência Braman e Kurtz, 2015..... 190

Tabela 18. Correlação entre KPS e as equações de digestibilidade aparente do amido..... 191

Tabela 19. Correlação entre KPS e a produção de leite..... 192

Tabela 20. Correlação entre KPS e as características relacionadas composição do leite..... 196

Tabela 21. Análise financeira das perdas estimadas de produção de leite de acordo com o KPS da silagem..... 197

LISTA DE ABREVIATURAS

AGV	Ácidos Graxos Voláteis
ANOVA	Análise de Variância
APCBRH	Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa
BMR	Brown Midrib
CCS	Contagem de Células Somáticas
CP1	Componente Principal 1
CP2	Componente Principal 2
CSPS	Corn Silage Processing Score
DIVAMIDO	Digestibilidade *In Vitro* do Amido
DIVFDN	Digestibilidade *In Vitro* da Fibra em Detergente Neutro
DIVMO	Digestibilidade *In Vitro* da Matéria Orgânica
DIVMS	Digestibilidade *In Vitro* da Matéria Seca
DMS	Diferença Mínima Significativa
DP	Desvio Padrão
EPM	Erro Padrão da Média
EUA	Estados Unidos da América
FDA	Fibra Insolúvel em Detergente Ácido
FDN	Fibra Insolúvel em Detergente Neutro
kp	Taxa de Passagem
KPS	Kernel Processing Score
MS	Matéria Seca
NDT	Nutrientes Digestíveis Totais
NIRS	Espectrofotometria de Refletância no Infravermelho Proximal
NRC	National Research Council
OGM	Organismo Geneticamente Modificado
PA	Pureza Analítica
pH	potencial Hidrogeniônico
PLC	Produção de Leite Corrigida
TLOC	Comprimento Teórico de Corte
TMP	Tamanho Médio de Partículas
TMR	Total Mixed Ration
VRN	Valor Relativo Nutricional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL 24
2. REVISÃO DE LITERATURA 26
2.1. IMPORTÂNCIA DA SILAGEM DE MILHO 26
2.2. OS GRÃOS DA SILAGEM DE MILHO 27
2.3. PROCESSAMENTO DOS GRÃOS 28
2.3.1. Processamento dos Grãos x Metodologias de Avaliação 29
2.3.2. Processamento dos Grãos x Máquinas 33
2.3.3. Processamento dos Grãos x Tamanho de Partículas 36
2.3.4. Processamento dos Grãos x Digestibilidade 38
2.3.5. Processamento dos Grãos x Tempo de Fermentação 40
2.3.6. Processamento dos Grãos x Desempenho dos Animais 41
2.4. KPS AO REDOR DO MUNDO 42
2.5. APROVEITAMENTO DOS GRÃOS DE MILHO PELOS ANIMAIS 45
2.6. FATORES QUE AFETAM O APROVEITAMENTO DO AMIDO 46
2.7. AMIDO FECAL 49
2.8. REFERÊNCIAS 52
3. CAPÍTULO I 65
CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS SILAGENS DE MILHO DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO DURANTE QUATRO ANOS 65
RESUMO 66
ABSTRACT 67
3.1. INTRODUÇÃO 68
3.2. MATERIAL E MÉTODOS 69
3.2.1. Local de avaliação 69
3.2.2. Levantamento de dados 70
3.2.3. Coleta de amostras 71
3.2.4. Tamanho de partículas 73
3.2.5. Processamento de grãos (KPS) 73
3.2.6. Amido 75
3.2.7. Análises em NIRS 75
3.2.8. Análise estatística 76

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 77
3.3.1. Características Associadas aos Híbridos de Milho 77
3.3.2. Características Associadas a Lavoura e Colheita 80
3.3.3. Características Associadas aos Silos 83
3.3.4. Características Químicas das Silagens Avaliadas 88
3.4. CONCLUSÕES 102
3.5. REFERÊNCIAS 103
4. CAPÍTULO II 111
CARACTERIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO 111
RESUMO 112
ABSTRACT 113
4.1. INTRODUÇÃO 114
4.2. MATERIAL E MÉTODOS 115
4.2.1. Local de avaliação 115
4.2.2. Levantamento de dados 116
4.2.3. Coleta de amostras 116
4.2.4. Tamanho de partículas 117
4.2.5. Processamento de grãos (KPS) 117
4.2.6. Análises em NIRS 119
4.2.7. Análise estatística 119
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 120
4.3.1. Caracterização do processamento dos grãos (KPS) 120
4.3.2. Processamento dos Grãos nas Características Associadas aos Híbridos de Milho 124
4.3.3. Processamento dos Grãos nas Características Associadas a Lavoura e Colheita 128
4.3.4. Processamento dos Grãos nas Características Químicas das Silagens 138
4.3.5. Processamento dos Grãos nas Características Físicas das Silagens . 141
4.3.6. Análise de Componentes Principais 147
4.4. CONCLUSÕES 154
4.5. REFERÊNCIAS 155

5. CAPÍTULO III 162
INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS NO APROVEITAMENTO DO AMIDO E PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE NA REGIÃO CENTRO ORIENTAL PARANAENSE 162
RESUMO 163
ABSTRACT 164
5.1. INTRODUÇÃO 165
5.2. MATERIAL E MÉTODOS 166
5.2.1. Local de avaliação 166
5.2.2. Dados silagens 167
5.2.3. Coleta de amostras silagem 167
5.2.4. Coleta de amostras dieta 168
5.2.5. Coleta de amostras amido fecal 168
5.2.6. Escala de Escore Fecal 169
5.2.7. Tamanho de partículas silagem 170
5.2.8. Processamento de grãos (KPS) 170
5.2.9. Análises em NIRS silagens 171
5.2.10. Análises Produção e Composição do Leite 172
5.2.11. Equações de Digestibilidade Aparente do Amido 173
5.2.12. Cálculo Econômico 174
5.2.13. Análise estatística 174
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 174
5.3.1. Caracterização dos dados de amido fecal 174
5.3.2. Agrupamento Hierárquico dos Produtores 178
5.3.3. Amido Fecal e as Características Associadas a Colheita 180
5.3.4. Amido Fecal e as Características Químicas das Silagens 183
5.3.5. Amido Fecal e o Tamanho de Partículas das Silagens 184
5.3.6. Características Relacionadas a Produção e Composição do Leite 185
5.3.7. Amido Fecal e as Características Relacionadas a Produção e Composição do Leite 186
5.3.8. Amido Fecal e o Processamento dos Grãos 188
5.3.9. Processamento dos Grãos e as Equações de Digestibilidade Aparente do Amido 191

5.3.10. Processamento dos Grãos e as Características Relacionadas a Produção e Composição do Leite 192
5.3.11. Análise Financeira 196
5.4. CONCLUSÕES 198
5.5. REFERÊNCIAS 198

1. INTRODUÇÃO GERAL

A silagem planta inteira de milho é a forrageira mais utilizada para bovinos leiteiros em todo o mundo. Em questões nutricionais, fornece alta energia, alto rendimento de massa e fibra fisicamente efetiva para os ruminantes. Além de ser considerada padrão para a ensilagem.

O processo de produção da silagem de milho a fase de campo (manejo da lavoura, escolha do híbrido, adubação, controle de plantas daninhas, pragas e doenças) e também os processos de ensilagem, teor de matéria seca, tamanho de partículas, tipo de silo, uso de aditivos, vedação, desensilagem, formulação da dieta e manejo de cocho.

O momento da colheita é uma das principais fases desse processo e as decisões tomadas durante estes poucos dias, podem afetar de maneira definitiva o valor nutricional da silagem. A qualidade física, como o tamanho de partículas e o processamento dos grãos são definidos nesta fase.

Existem vários tipos de máquinas, marcas, processadores e equipamentos disponíveis para as colheitas. Os ajustes das máquinas para o correto tamanho de partículas e processamento dos grãos são de fundamental importância, pois as características físicas da silagem podem afetar a composição química, que influencia a disponibilidade de nutrientes para os animais (NRC, 2001).

A maior parte dos nutrientes digestíveis totais da silagem de milho vem do amido presente no endosperma dos grãos. Para que a digestibilidade desse amido seja potencializada e as vacas utilizem eficientemente, é indispensável que os grãos sejam fragmentados em pequenas frações. O amido que não foi capaz de ser aproveitado pelo rúmen e intestinos, é eliminado nas fezes. A avaliação do teor de amido presente nas fezes tem como foco monitorar a digestibilidade do amido, corrigir problemas, maximizar a eficiência na nutrição dos ruminantes e as respostas produtivas.

Portanto, caracterizar quais são os fatores que influenciam a quebra de grãos das silagens planta inteira é de fundamental importância para entender a dinâmica do processamento de grãos e identificar quais aspectos podem ser melhorados nas propriedades leiteiras comerciais.

O objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico dos processos ligados a produção de silagem de milho e a influência de diversos aspectos de lavoura, colheita

e ensilagem relacionados ao processamento dos grãos, e sua influência nas perdas por amido fecal, além de estimar as variações na produção e composição do leite e o resultado econômico para o produtor.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. IMPORTÂNCIA DA SILAGEM DE MILHO

Cerca de 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, podendo este percentual chegar a 85% em países desenvolvidos (Paes, 2006). A silagem de planta inteira de milho é a forrageira mais utilizada para bovinos leiteiros em todo o mundo (Ferraretto et al., 2017) e o maior componente das dietas na região Centro Oriental Paranaense (Janssen, 2009).

Muitos fatores contribuem para a elevada adoção desta silagem pelas propriedades leiteiras, incluindo colheita mecanizada facilitada, com alto rendimento de massa seca por hectare e alta energia, juntamente com fibra fisicamente efetiva (Dias Junior et al., 2016; Ferraretto et al., 2017).

Além disso, a planta de milho é considerada padrão para fermentação, em virtude do teor de matéria seca (MS) apropriado, baixo poder tampão e o mínimo de 3% de carboidratos solúveis na matéria original (Nussio et al., 2001), que levam à fermentação láctica e favorecem a conservação da massa (Weissbach e Honig, 1996; Allen et al., 2003; Oliveira et al., 2010).

Na nutrição animal, a silagem de milho apresenta dois componentes distintos: a fração vegetativa, composta basicamente de carboidratos estruturais, e a fração granífera, representada principalmente pelo amido do endosperma (Ferreira, 2001). Estes componentes contêm variáveis proporções e diferem em características químicas e físicas (Mertens, 2005), porém grande parte dos nutrientes digestíveis totais vem do amido, refletindo nas altas taxas energéticas para a silagem de milho (Lopes et al., 2009).

A produção de silagem de alta qualidade depende de fatores controláveis e incontroláveis. Aspectos de manejo de lavoura, colheita e ensilagem estão sob controle das propriedades e exercem papel fundamental no sucesso da conservação (Bernardes et al., 2018). As decisões tomadas durante os poucos dias de colheita e ensilagem podem afetar o valor alimentar da silagem durante todo o ano (Kung Jr. e Muck, 2017).

2.2. OS GRÃOS DA SILAGEM DE MILHO

De maneira geral, os grãos de milho possuem cerca de 72-74% de amido (Paes, 2006), representando 50% do total da matéria seca da planta (Mertens, 2005), com variações entre 16 a 46% nos teores de amido total das silagens (Ferraretto e Shaver, 2015), chegando a extremos de 5 a 47% na região Centro Oriental Paranaense, Brasil (Mello e Dalle Carbonare, 2018).

Os valores de degradabilidade ruminal deste amido em silagem de planta inteira de milho podem variar de 24 a 66% e de 80 a 99% no trato total (Ferraretto e Shaver, 2015). Muitos fatores podem afetar a taxa e a extensão da digestão do amido pelo ruminante, interferindo de forma dinâmica na quantidade de amido que será fermentado no rúmen ou que chegará ao intestino delgado. Quando chega no rúmen, o amido é convertido em ácidos graxos voláteis (AGV) (Berchielli et al., 2006).

É desejável que a degradação do amido seja otimizada no rúmen, devido à natureza de seu produto final, principalmente acetato e propionato, que aumentam sua eficiência na utilização metabólica pelo ruminante quando comparado a absorção intestinal de glicose (Philippeau et al., 1999).

O estádio de desenvolvimento em que a planta de milho é colhida afeta o teor de amido na silagem (Lopes et al., 2009), e o ponto de maturidade para colheita representa um aspecto importante de manejo e a tomada de decisão deve ser baseada no teor de matéria seca (MS) da planta inteira, entre 30 a 35% de MS (McDonald et al., 1991). Desta forma, além de garantir o teor de MS ideal para crescimento de microrganismos desejáveis (bactérias ácido láticas), o teor de amido dos grãos é assegurado até a capacidade próxima da máxima, fundamentais para manter o equilíbrio entre produção de massa seca e quantidade de amido na forragem (Ashley, 2001).

A fermentação das silagens pode resultar em perdas de qualidade nutricional em relação à cultura fresca que deu origem a mesma (Muck, 1988), as alterações que ocorrem durante a fermentação exercem influência marcante na composição química, ingestão e digestibilidade da forragem (Jobim et al., 2007).

A digestibilidade do amido é um dos fatores beneficiados pela fermentação, pois a disponibilidade do amido tende a aumentar à medida que aumenta o tempo de estocagem das silagens (Owens, 2008). Os benefícios são mais marcantes no primeiro mês de ensilagem (Daniel et al., 2014; Junges, 2014), com aumento de 0,31

unidades percentuais por dia na digestibilidade do amido, até 28 dias de armazenamento (Daniel et al., 2014). Este aumento pode ser explicado pela maior acessibilidade dos microrganismos aos grânulos de amido, possivelmente devido a proteólise da matriz de proteínas que os envolvem, através da atividade de bactérias (60%), enzimas (30%), fungos (5%) e produtos da fermentação (5%) (Junges et al., 2015).

Para que o acesso dos microrganismos ruminais ao amido seja ainda mais otimizado, o processamento dos grãos deve ser realizado de forma eficiente no momento da colheita das plantas para a ensilagem (Salvati, 2016).

2.3. PROCESSAMENTO DOS GRÃOS

A digestibilidade do amido em silagem é afetada por propriedades físicas dos grãos (Ferreira e Mertens, 2005). Para as vacas digerirem eficientemente este amido, os grãos devem ser processados e quebrados em pequenas frações (Shinners e Holmes, 2013), mantendo adequado tamanho de partículas da fração vegetativa (Dias Junior, 2016). Grãos quebrados em partículas menores apresentam alto grau de degradação ruminal (Dias Junior et al., 2016).

A fratura do pericarpo no momento da colheita é necessária para permitir que, posteriormente, microrganismos ruminais acessem rapidamente os nutrientes (McAllister et al., 1990). Para potencializar a utilização do amido, principalmente em animais de alta produção, os grãos precisam ser processados em pequenas partículas (Shinners e Holmes, 2013).

Duas silagens com o mesmo teor de amido podem ser diferentes para o animal em função da disponibilidade desse amido, que é influenciado pelo processamento físico dos grãos e amplamente variável entre as silagens. Nem toda silagem de milho processada resulta em fragmentação completa dos grãos e nem toda silagem mal processada resulta em fragmentação incompleta dos grãos (Ferreira e Mertens, 2005). O NRC (2001) usa um fator de ajuste para alterar a digestibilidade dos carboidratos não fibrosos dependendo do grau de processamento dos grãos.

Para aumentar a precisão das avaliações do processamento dos grãos da silagem, métodos são necessários para descrever quantitativamente a extensão da fragmentação destes grãos (Ferreira e Mertens, 2005).

2.3.1. Processamento dos Grãos x Metodologias de Avaliação

Ensaios *in vitro* podem ser utilizados para avaliar a digestibilidade de uma determinada forragem, porém, nestes casos, os materiais forrageiros são finamente moídos. Consequentemente, os efeitos das características físicas das silagens de milho, por exemplo, podem não refletir o real padrão de desaparecimento do amido das dietas (Ferreira e Mertens, 2005).

Metodologias que permitam um estudo de forma “macro” para determinar o real desaparecimento *in vitro* de silagens de milho sem serem moídas, permitem avaliar a magnitude do aumento da digestibilidade a partir da extensão da fragmentação dos grãos (Ferreira e Mertens, 2005).

a) KPS (kernel processing score) ou CSPS (corn silage processing score):

Ferreira e Mertens (2005), propuseram uma técnica que permite avaliar quantitativamente a extensão da fragmentação dos grãos da silagem de milho planta inteira. O KPS ou CSPS é uma boa ferramenta analítica que utiliza uma escala de cinco peneiras mais um fundo (19,00; 13,20; 9,50; 6,70 e 4,75 mm), que permanecem durante 15 minutos em um agitador e avaliam a proporção de amido que passa através da peneira de 4,75 mm em relação ao amido total da silagem.

Em um estudo preliminar, observou-se que peneiras com aberturas quadradas iguais ou maiores que 6,25 mm retêm alguns grãos intactos e/ou pouco fragmentados e aquelas peneiras com aberturas de 4,75 mm retêm grãos fragmentados em pedaços maiores que ¼ de grão (Ferreira e Mertens, 2005).

A definição final pela peneira de 4,75 mm foi realizada através da avaliação da diferença de digestibilidade dos grãos. Os autores encontraram uma digestibilidade i*n vitro* da matéria seca (DIVMS) 30% menor em grãos fragmentados em partículas maiores que 4,75 mm, quando comparados a aqueles finamente moídos, sem considerar efeito de mastigação dos animais. A maior parte do amido dos grãos intactos e/ou pouco fragmentados, não foram fermentados *in vitro* depois de 24 horas, o que sugere que parte deste amido pode escapar da fermentação *in vivo* e ser excretado nas fezes (Ferreira e Mertens, 2005).

Sedo assim, os autores concluíram que partículas menores que ¼ de grão seriam prontamente digeridos e que a proporção total de amido que está fragmentado

em partículas menores que 4,75 mm seria uma metodologia para determinar o índice físico de processamento dos grãos da silagem de milho, fornecendo assim uma medida quantitativa e eficiente na avaliação física dos grãos das silagens (Ferreira e Mertens, 2005).

Expressando o índice de fragmentação como uma porcentagem do amido total da silagem de milho, em vez de porcentagem de matéria seca, minimiza-se os efeitos do rendimento de grãos no índice e se concentra na proporção de amido que é fragmentado (Ferreira e Mertens, 2005). Esses autores sugerem que o KPS representa a proporção de grãos quebrados em pelo menos ¼ de grão que é capaz de passar através da peneira de 4,75 mm. Em estudo realizado por Dias Junior et al., (2016), revelaram que 60% dos grãos quebrados manualmente em 4 partes, ficaram retidos na peneira de 4,75 mm, porém o uso de um amplo pool de híbridos não fermentados no presente estudo podem explicar algumas das diferenças em relação a metodologia do KPS.

Atualmente, o KPS é a ferramenta mais indicada para a avaliação do processamento dos grãos da silagem, devido à metodologia ser aplicada em laboratório e possuir maior complexidade na realização da análise (Salvati e Bernardes, 2016).

Para auxiliar na classificação do processamento dos grãos, Shinners e Holmes (2013) desenvolveram uma tabela de categorização, definindo através do KPS o processamento como Ótimo, Bom e Ruim (Tabela 1).

Tabela 1. Categorização do processamento de grãos da silagem pela metodologia do KPS (Shinners e Holmes, 2013).

Categoria	**KPS (%)**
Ótimo	>70%
Bom	50 – 69%
Ruim	<50%

O momento mais adequado para avaliar o processamento dos grãos é durante a colheita, considerando que ajustes e correções ainda são possíveis de serem realizados (Dias Junior, 2016). Porém, o método do KPS tem valor limitado para

tomada de decisões no momento da colheita, incapaz de gerar dados para configurar adequadamente a colheitadeira de forragem conforme o material é colhido (Shinners e Holmes, 2013).

Para fornecer o nível desejado de processamento (Shinners e Holmes, 2013), muitos passos podem ser tomados durante a colheita (Luck et al., 2019), no entanto, pode ser difícil ver quão bem os grãos estão processados quando estão misturados com a fração da planta (Shinners e Holmes, 2013).

As próximas técnicas apresentadas podem ser usadas no momento da colheita, porém, são menos precisas e científicas em relação a metodologia do KPS, são práticas baseadas por método empírico e visual do processamento.

b) Balde com Água:

A técnica de separação do balde com água (Savoie et al., 2004) foi desenvolvida para ser aplicada de forma fácil, simples e rápida no campo. Consiste em separar a planta em duas frações: os grãos e a porção vegetativa (colmos e folhas) (Salvati e Bernardes, 2016).

No momento da colheita, uma amostra da forragem é coletada e colocada em um balde com água, onde a porção vegetativa flutua, enquanto os grãos se precipitam. Após a separação, a avaliação do grau de processamento do grão é subjetiva (Shinners e Holmes, 2013).

A presença de muitos grãos inteiros é uma indicação de que o nível de processamento é insuficiente. Se quase não houver grãos inteiros, mas muitos forem simplesmente cortados, rachados ou quebrados, o nível de processamento pode ser considerado pouco adequado. Materiais adequadamente processados não devem apresentar grãos inteiros ou rachados (Shinners e Holmes, 2013). Este método de separação hidrodinâmica é eficaz na silagem, mas o material ensilado, especialmente se ensilado em alta umidade, não separa bem.

c) Copo de Monitoramento de Processamento de Grãos:

A técnica de monitoramento de processamento de grãos através do copo, foi desenvolvida pela empresa Pioneer dos Estados Unidos e o laboratório Dairyland (De Paula, 2019).

A técnica consiste em coletar o volume de 1 litro de uma amostra de massa fresca da silagem de milho processada pela máquina durante a colheita, espalhar esta amostra em uma superfície plana e, manualmente, separar todos os grãos maiores que uma metade de grão (De Paula, 2019).

O padrão ideal de processamento é não mais que dois grãos inteiros ou metades. Até quatro grãos inteiros ou metades, o processamento ainda pode ser considerado adequado, a partir disso, já é aconselhável rever os processos de colheita (De Paula, 2019).

A técnica do copo não avalia de maneira tão precisa quanto o KPS, mas possui uma relação de R^2=0,81 com a técnica laboratorial (Bolinger, 2013), sendo mais um dos métodos práticos, de fácil acesso e aplicabilidade para monitorar o processamento dos grãos no momento da colheita (De Paula, 2019).

d) Imagem por foto com separação dos grãos

Esta técnica consiste em determinar o grau de processamento dos grãos através de uma foto feita por um tablet ou smartphone, o que define praticidade e capacidade de ajustes no momento da colheita (Luck et al., 2019).

Os grãos devem ser separados das outras frações da planta e colocados em um papel com fundo preto ao lado de uma moeda ou metal com tamanho conhecido, para servir como escala. O software, desenvolvido pela SilageSNAP (Luck, 2019), filtra a foto, detecta a borda de cada grão e determina o tamanho real (Luck et al., 2019).

O aplicativo transforma os dados em um histograma e é possível verificar a distribuição do tamanho dos grãos. As determinações de processamento são baseadas no KPS (Ferreira e Mertens, 2005), porém são realizadas pelo tamanho dos grãos e não pelo conteúdo de amido.

Se 70% dos grãos são menores que 4,75 mm de diâmetro, o processamento é definido como adequado. Se menos de 70% dos grãos forem menores que 4,75 mm de diâmetro, o processamento deve ser revisado (Luck et al., 2019).

2.3.2. Processamento dos Grãos x Máquinas

Diferentes estratégias podem ser tomadas durante a colheita para garantir que a silagem de milho seja processada de maneira adequada. Os ajustes nas configurações das máquinas podem melhorar a qualidade física da silagem (Luck et al., 2019) e são fundamentais para definição do tamanho de partículas e processamento dos grãos.

Atualmente existem vários tipos de máquinas, marcas, sistemas operacionais para colheita, o que gera produção de silagens com grande variabilidade de eficiência e desempenho (Dias Junior, 2016).

Em poucos anos atrás, no Brasil, 59% das propriedades leiterias realizava sua própria colheita da silagem, sendo que 90,4% eram realizadas com máquinas tratorizadas e apenas 54,6% afiavam as facas diariamente no momento da colheita, sendo que 26,9% só afiava no início (Bernardes, 2012). As facas devem ser afiadas, no mínimo, duas vezes ao dia (Salvati e Bernardes, 2016), o uso de facas cegas e ajuste deficiente faz com que a máquina rasgue as partículas ao invés de cortar, resultando em frações longas e baixa uniformidade de corte (Cooke e Bernard, 2005).

Mais recentemente, observando dados de colheita da região Centro Oriental Paranaense, conhecida pela utilização de alta tecnologia, o cenário muda em relação ao restante do Brasil, pois 72% das colheitas são terceirizadas com 66% de máquinas automotrizes (Mello et al., 2018).

O crescente mercado de terceirização da colheita do milho para silagem tem possibilitado aos grandes e médios produtores adquirirem serviços mais especializados. Porém, a oferta deste tipo de serviço ainda é limitada em algumas regiões do Brasil (Gomides, 2013), diferentemente de países desenvolvidos da Europa e América do Norte (Johnson et al., 1999), onde a utilização de automotrizes é comum.

As máquinas automotrizes possuem sistemas de processamento mecânico, além da capacidade de colher áreas maiores em menor tempo e com mais precisão do que as máquinas tratorizadas, permitindo a produção de volumoso de melhor qualidade de forma mais eficiente. Porém, existe dificuldade de aquisição deste tipo de maquinário devido ao alto investimento somado a pequena quantidade de horas trabalhadas durante o ano, assim elevando o custo de amortização do equipamento (Gomides, 2013).

O processamento mecânico das automotrizes geralmente consiste em dois rolos na ensiladeira, ajustados de 1 a 3 mm (Kung Jr. e Muck, 2017) até 4 mm (Rasmussen e Moeslund, 2019), entre os quais o material picado deve passar. Os rolos quebram os grãos e cortam o material à medida que ele passa (Eun et al., 2004), permitindo o ajuste do tamanho de partículas da parte vegetativa, mantendo o processamento dos grãos (Johnson et al., 1999).

Os processadores mecânicos são conhecidos como “cracker” e seu uso reduz a capacidade da máquina e aumenta a potência necessária, requerendo energia adicional (Johnson et al., 1999). Em algumas situações, produtores ou prestadores de serviço aumentam a distância entre os rolos processadores (“abrem o cracker”) para que eles possam economizar combustível e aumentar a taxa de colheita (Cooke e Bernard, 2005), permitindo a passagem de maior quantidade de forragem, reduzindo assim a capacidade de processamento dos grãos.

Nas máquinas tratorizadas, ainda há falta de informação sobre o processamento dos grãos e as configurações de tamanho teórico de partículas (Salvati, 2019). Nestas máquinas, o dano nos grãos é normalmente obtido por redução no tamanho de partículas, o que também reduz o FDN fisicamente efetivo da silagem (Dias Junior, 2016), geralmente resultando em partículas com menor uniformidade e maior proporção de grãos não processados (Daniel et al., 2019).

Até dois anos atrás no Brasil não existiam máquinas tratorizadas com processador de grãos no mercado, em recente estudo, foram avaliados duas destas novas máquinas, que se mostraram eficientes no processamento de grãos (Salvati, 2019).

A velocidade de colheita (Salvati e Bernardes, 2016), tipo de máquina utilizada, método de processamento e ajustes feitos no equipamento afetam as respostas (Johnson et al., 1999), porém todas as marcas de colhedoras em boas condições de trabalho e regulagens, podem alcançar silagens bem processadas (Mahanna et al., 2019).

O sucesso da utilização dos equipamentos está vinculado também na qualificação e conscientização da mão de obra operacional, pois a regulagem e a manutenção destes equipamentos dependem do treinamento e grau de comprometimento dos operadores (Gomides, 2013).

Uma boa inspeção da máquina e das peças antes do início da colheita é fundamental para garantir que a ensiladeira está prontamente ajustada de acordo com orientações específicas do fabricante (Mahanna et al., 2019).

A eficácia do processamento pode mudar de campo para campo, de dia para dia, por isso é muito importante monitorar o processamento durante toda a colheita (Pfister, 2014).

Em fazendas leiteiras avaliadas na Califórnia, o tamanho de partículas é monitorado no momento da colheita em 80,4%, sendo que a maioria avaliou visualmente (Heguy et al., 2016). No Brasil, apenas 56,0% das fazendas estão atentas ao tamanho de partículas e também de forma empírica, visualmente (Bernardes, 2012).

Quando avaliados dados de processamento dos grãos, as porcentagens de monitoramento são maiores em relação ao tamanho de partículas. Na Califórnia (EUA), quase que a totalidade das fazendas (92,5%) monitora o processamento dos grãos no momento da colheita (Heguy et al., 2016). No, Brasil 70% “as vezes” observa esta quebra, 8% dificilmente e apenas 22% sempre monitoram (Bernardes, 2012).

As limitações na produção de silagens no Brasil, estão diretamente ligadas a baixa disponibilidade de equipamentos e manutenção inadequada, carência de informações, resistência por parte dos produtores em aceitar e executar as recomendações dos consultores, como também a falta de qualificação da mão de obra e a falta de planejamento das operações quando as silagens estão sendo confeccionadas (Bernardes, 2012).

Algumas destas limitações já não são tão expressivas na região Centro Oriental Paranaense do Brasil, com forte atuação de grandes e tradicionais cooperativas, empresas de terceirização com anos de experiência e fazendas tecnificadas. Nesta região, já existe um projeto piloto de pagamento pela qualidade do processamento dos grãos na terceirização, onde o prestador de serviço tem um bônus ou ônus financeiro de acordo com o resultado do KPS (Fundação ABC, 2019a). Na safra 2018/2019 a terceirização na ensilagem correspondeu a aproximadamente 8% do custo total de produção da silagem de milho nesta região (Kapp Junior, 2018), a qualidade do serviço prestado é fundamental para o sucesso da ensilagem.

2.3.3. Processamento dos Grãos x Tamanho de Partículas

O uso de silagem com tamanho de partículas maior, aumenta o conteúdo de FDN fisicamente efetivo e traz efeitos positivos na ruminação e tamponamento ruminal (Zebeli et al., 2012). Porém, silagens com tamanho de partículas muito grande reduzem a ingestão das vacas, aumentam a seleção no cocho (Kononoff e Heinrichs, 2003) e, consequentemente, podem reduzir a produção de leite (CTRH Zootecnia, 2019).

Além da influência nas dietas e nos animais, o tamanho de partículas também pode afetar a qualidade da silagem produzida. Partículas grandes dificultam a compactação e aumentam a porosidade no interior da massa ensilada, favorecendo o desenvolvimento de fungos e leveduras, que degradam os nutrientes e reduzem a qualidade final da silagem (CTRH Zootecnia, 2019).

Devido à importância do correto tamanho de partículas na alimentação de vacas leiteiras e a dificuldade de avaliação visual da silagem, a Universidade da Pensilvânia (USA) desenvolveu um conjunto de peneiras para classificação do tamanho de partículas (Tabela 2) (Heinrichs, 2013).

Tabela 2. Distribuição adequada de partículas nas peneiras.

Peneira	**Tamanho**	**Silagem Milho**
1	> 19 mm	3-8%
2	8 a 19 mm	45-65%
3	4 a 8 mm	20-30%
4	< 4 mm	<10%

O tamanho médio das partículas fornece uma medida do quanto a silagem está picada. O comprimento teórico de corte (TLOC) é determinado na regulagem da ensiladeira e vai variar de acordo com a afiação das facas e contra facas (Mertens, 2005).

Na silagem de milho, as recomendações para o TLOC geralmente variam entre 10 mm a 13 mm para silagens confeccionadas com máquinas sem processador de grãos e cerca de 19 mm para silagens com processador. Porém, o tamanho ideal de partículas pode variar de fazenda para fazenda, dependendo das outras fontes de fibra efetiva disponíveis para a dieta (Kung Jr. e Muck, 2017).

Desta forma, para garantir a prevenção da acidose ruminal e a seleção no cocho, valores de 31,2% de partículas maiores de 1,18 mm ou 18,5% maiores de 8 mm devem ser mantidos na dieta. Períodos diários com duração superior a 6 horas com pH ruminal menor 5,8 devem ser evitados (Zebeli et al., 2012).

As características físicas da silagem também podem afetar a composição química, que influencia a disponibilidade de nutrientes para os animais (NRC, 2001). Portanto, o desenvolvimento de alternativas para melhorar o valor nutritivo das silagens, manipulando seu conteúdo físico e características químicas é fundamental.

Práticas de colheita para otimizar o tamanho de partículas e o processamento dos grãos, são ferramentas bem estabelecidas na melhoria da digestibilidade destes nutrientes (Ferraretto et al., 2017) e, consequentemente, podem afetar a digestibilidade do amido (Ferreira e Mertens, 2005).

Salvati (2019), observou aumento nos valores de KPS de acordo com a redução no TLOC quando as silagens foram colhidas com máquina automotriz. Os TLOC foram 6 mm, 12 mm e 18 mm para valores de 60,4%, 52,8% e 51,1% de KPS, respectivamente. Esperava-se o mesmo efeito quando as silagens foram colhidas com máquina tratorizada, porém o TLOC (3 mm, 6 mm e 9 mm) não interferiu no KPS das silagens (24,7%, 26,4% e 25%, respectivamente). Porém, a máquina utilizada neste estudo tinha poucas horas de uso e estava praticamente nova.

Por outro lado, em experimento conduzido por Ferraretto et al. (2015a), utilizando máquina automotriz, com três diferentes híbridos, colhidos em duas maturidades e com dois diferentes TLOC (6,4 mm e 19,5 mm), não encontraram diferenças significativas nos valores de KPS, que variaram entre todas as amostras, porém não foram afetados pelo TLOC.

Em silagens com TLOC variando de 9,3 mm a 28,6 mm, o uso de equipamento de processamento de grãos aumentou a digestibilidade total do amido. Porém, quando o TLOC foi pequeno, variando de 4,8 a 6,4 mm, silagens colhidas com equipamento de processamento dos grãos não interferiu na digestibilidade total do amido em relação a silagens colhidas sem equipamento de processamento de grãos (Ferraretto e Shaver, 2012).

Shinners et al. (2001) avaliaram a porcentagem de grãos quebrados em dois diferentes TLOC em silagens colhidas a 36% de MS não processadas. As silagens colhidas com TLOC de 9,5 mm possuíam 64% dos grãos quebrados, enquanto as silagens colhidas com o TLOC maior (19 mm), possuíam apenas 55% de grãos

quebrados. O que sugere, que partículas menores permitem uma maior quebra de grãos (Johnson et al., 1999).

Com um mesmo tamanho de partículas (9,5 mm), Bal et al. (2000) encontraram diferentes digestibilidades ruminal *in situ* (24 horas) do amido. Silagens com grãos processados (cracker ajustado para 1 mm) degradaram 99,3% do amido, enquanto as silagens não processadas degradaram 95,1%. Ou seja, o processamento dos grãos foi o grande responsável pelas diferenças de digestibilidade do amido e não o tamanho de partículas da silagem (Ferreira e Mertens, 2005).

A variação do processamento dos grãos da silagem de milho em um mesmo TLOC, reflete a importância de ter um índice quantitativo de fragmentação de grãos que ajudaria a explicar o efeito do processamento da silagem de milho na digestibilidade do amido (Ferreira e Mertens, 2005).

2.3.4. Processamento dos Grãos x Digestibilidade

Estudos sugerem que o processamento mecânico dos grãos da silagem de milho aumenta a digestibilidade do amido (Dhiman et al., 2000).

Quando grãos não fermentados foram incubados *in situ* em vacas Holandesas em lactação, a degradação ruminal da matéria seca 24 horas variou de 6,9% a 73,3%, para grãos inteiros e quebrados manualmente em 64 partes, respectivamente. Essa diferença na degradação ocorre devido a maior superfície de contato para os microrganismos nos grãos quebrados (Dias Junior et al., 2016).

A digestibilidade aparente do amido também é maior quando os grãos são melhor processados, aumentando de 75,6% para 85,4% em dietas contendo grãos fragmentados a 2 mm x 8 mm, respectivamente (Cooke e Bernard, 2005).

Quando vacas no terço médio e final de lactação foram alimentadas com silagem de planta inteira de trigo como única fonte de forragem, o processamento dos grãos não afetou a digestibilidade do amido (98%), porém estes resultados podem ser diferentes quando vacas no terço inicial de lactação forem avaliadas (Randby et al. 2019) e também pelo amido de trigo ser mais facilmente digerido em relação ao amido do milho (NRC, 2001).

Dietas contendo silagens de milho com grãos processados de 1 a 3 mm têm maior digestibilidade do amido no trato total (94,8% x 92,0%, respectivamente) em

relação a dietas com silagens com grãos não processados, porém, sem diferenças para a degradabilidade ruminal (Ferraretto e Shaver, 2012).

Para silagens de milho BMR processadas e não processadas, a digestibilidade *in situ* do amido foi maior para as silagens processadas com 3 horas (77,9% x 69,9%, respectivamente) e 12 horas de incubação (89,4% x 74,2%, respectivamente), porém, quando incubadas por 30 horas, o processamento não influenciou a digestibilidade *in situ* do amido (97,2% processadas x 90,7% não processadas). O mesmo efeito ocorreu para a digestibilidade da matéria seca, com maiores digestibilidades em 3 e 12 horas de incubação *in situ* para silagens processadas e sem diferenças para 30 horas, independente do processamento das silagens (Ebling e Kung Jr., 2004).

Silagens com TLOC de 19 mm também resultaram em maiores digestibilidades de amido (97,4% x 92,9), porém sem diferenças de digestibilidade de matéria seca (71,2% x 71,1%) quando comparadas a silagens com mesmo TLOC, porém, não processadas. Além disso, silagens processadas reduziram em 20 minutos o tempo de alimentação diário de 244 minutos para 224 minutos em relação a silagens não processadas (Schwab et al., 2002).

Em estudo realizado por Ferraretto e Shaver (2012) o processamento dos grãos da silagem não afetou as taxas de digestibilidade total da FDN (45,5% processado x 44,2% não processado) e a degradabilidade ruminal da FDN (42,7% processado x 41,8% não processado). Em silagens com TLOC de 19 mm e processadas, a digestibilidade da FDN foi menor para silagens processadas (41,8%), quando comparadas a silagens não processadas (51,0%) (Schwab et al., 2002). O mesmo ocorreu para silagens de milho BMR, quando processadas, resultaram em menores digestibilidades *in situ* da FDN com 30 horas de incubação (35,5% x 31,9%, respectivamente) (Ebling e Kung Jr., 2004).

As menores digestibilidades da FDN para silagens processadas em relação a silagens não processadas, pode estar relacionada a maior disponibilidade do amido nas silagens processadas, que reduz o pH ruminal, aumenta os teores de acetato, propionato e amônia (Dhiman et al., 2000).

2.3.5. Processamento dos Grãos x Tempo de Fermentação

A remoção de forragem de um silo que ainda não completou sua fermentação deve ser evitada, pois resulta na adição de ar na massa de silagem, desestabilizando o processo de fermentação. Nas propriedades, o desabastecimento antecipado ocorre por falta de estoque extra de forragem para os animais e/ou espaço de armazenamento (Kung Jr. e Muck, 2017).

Durante o estágio ativo de ensilagem, tem sido aceito que a maioria processos metabólicos no silo cessam após cerca de 2 a 6 semanas de ensilagem. No entanto, foi demonstrado que alguns processos microbianos continuam ocorrendo durante o armazenamento prolongado (Der Bedrosian et al., 2012).

Alguns dados sugerem que o tempo de fermentação pode aumentar o valor de KPS das silagens. Em experimentos realizados por Ferraretto et al. (2015a), amostras fermentadas resultaram em maiores valores de KPS em relação a não fermentadas (60,1% x 50,2%, respectivamente), no mesmo trabalho, outro estudo foi conduzido e silagens com 120 dias tenderam a ter 6,9 unidades percentuais a mais de KPS em relação a silagens não fermentadas (67,2% x 60,3%, respectivamente), mas não em relação a silagens com 30 dias de fermentação (63,6%). Agarussi et al., 2019, também não encontraram efeito no processamento dos grãos, com médias de 28,8% de KPS, independente do tempo de fermentação (zero ou 120 dias).

No Brasil, em trabalho desenvolvido por Salvati (2019), quando a colheita foi realizada com máquina tratorizada, o tempo de ensilagem não teve influência nos valores de KPS, com dados variando de 26,1%, 23,4% e 26,6%, para zero, 35 e 140 dias de fermentação, respectivamente. Porém, quando as silagens foram colhidas com máquina automotriz, silagens com 140 dias de fermentação aumentaram 9,9 unidades percentuais em KPS quando comparadas a silagens não fermentadas (58,9% x 49,0%, respectivamente). Porém, com 35 dias de ensilagem não houve melhora estatística em relação a não fermentadas, mesmo acrescentando 7,4 unidades percentuais (56,4%).

O aumento nos valores de processamento dos grãos a medida que aumenta o tempo de ensilagem, ainda não estão totalmente esclarecidos, porém, pode ser atribuído pela possível redução no tamanho geométrico médio das partículas, reduzindo em 10% com 35 dias de fermentação e 13% com 140 dias (Salvati, 2019), o que trará efeitos benéficos na degradabilidade ruminal (Dias Junior et al., 2016).

2.3.6. Processamento dos Grãos x Desempenho dos Animais

Potencializar a utilização do amido das silagens planta inteira pode melhorar o desempenho da lactação e reduzir os custos de alimentação, especialmente durante períodos de altos preços dos grãos (Ferraretto e Shaver, 2012).

Para vacas holandesas em lactação quando alimentadas com dietas contendo silagem de milho com grãos processados (cracker ajustado para 2 mm) tenderam (*P = 0,07*) produzir 2,0 kg a mais de leite por dia em comparação a vacas que receberam dietas com silagem de milho com grãos processados a 8 mm (37,0 kg/dia x 35 kg/dia, respectivamente), porém, os teores de gordura e proteína do leite não variaram entre os diferentes processamentos de grãos (Cooke e Bernard, 2005).

Maiores produções de leite também foram encontradas por Bal et al (2000), a produção e a produção corrigida a 4% de gordura foram 1,2 kg/dia (*P<0,02*) e 1,5 kg/dia (*P<0,001*), respectivamente, maior para vacas alimentadas com silagens de milho processadas (cracker ajustado para 1 mm). Além disso, a porcentagem de gordura também foi maior para silagens processadas (3,13% x 3,06%, respectivamente), em relação a silagens não processadas (*P<0,001*).

Em meta-análise realizada por Ferraretto e Shaver (2012), a ingestão de matéria seca dos animais não foi afetada (*P = 0,45*) pelo processamento dos grãos, da mesma forma, a produção de leite diária dos animais também não foi afetada pelo processamento dos grãos da silagem (36,6 kg/dia) em relação aos animais consumindo dietas com silagens não processadas (36,2 kg/dia).

Ebling e Kung Jr. (2004) avaliaram a produção de leite em vacas alimentadas com silagens de híbridos BMR processadas (cracker ajustado para 2 mm) ou não processadas. Os autores não encontraram diferenças significativas (*P < 0,05*) de produção diária de leite: 44,3 kg/dia para silagens processadas e 42,5 kg/dia para silagens não processadas. Os teores de gordura e proteína também não foram influenciados pelo processamento dos grãos das silagens (2,94% x 3,17% de gordura e 2,76% x 2,75% de proteína, para silagens processadas x não processadas, respectivamente).

Da mesma forma, Schwab et al. (2002), também não encontraram diferenças na ingestão de matéria seca (25,9 kg/dia x 25,5 kg/dia), produção de leite (43,5 kg/dia x 43,0 kg/dia) e porcentagem de proteína (3,20% x 3,18%) para dietas contendo silagens processadas (cracker ajustado para 2 mm) e não processadas,

respectivamente. Porém, silagens processadas, resultaram em maior ingestão de amido (6,7 kg/dia x 6,2 kg/dia) e menores teores de gordura no leite (3,11% x 3,36%).

2.4. KPS AO REDOR DO MUNDO

As avaliações em relação ao processamento dos grãos já eram realizadas nos anos 90 em países da Europa, se popularizando nos Estados Unidos por volta dos anos 2000 (Dhiman et al., 2000). No Brasil, o início das avaliações é recente e poucos laboratórios fazem esta análise.

A metodologia proposta por Ferreira e Mertens (2005) é a mais utilizada e seguida pelos laboratórios por todo o mundo. A partir de então, devido a metodologia ser a mesma, é possível comparar dados dos diferentes laboratórios e obter padrões de referência em diferentes localidades.

Na Tabela 3, observa-se que em todos os laboratórios, nenhuma média está na categoria ótima e que o índice de silagens classificadas como ótimas não é tão expressivo, o que leva a uma dúvida entre dois pontos: a metodologia é muito rigorosa ou as silagens não estão sendo bem processadas?

Tabela 3. Dados de processamento de grãos ao redor do mundo.

Referência	**Local**	**Laboratório**	**Ano**	**n**	Média	Ó[1]	B[2]	R[3]
						%		
Goeser, 2017	Wisconsin, EUA	Rock River	2011-2012	-	64	17	61	22
Shaver e Ferraretto, 2016	Wisconsin, EUA	Dairyland	2011	258	-	17	68	15
Shaver e Ferraretto, 2016	Pensilvânia, EUA	Cumberland	2009-2011	1.131	-	7	51	42
Pfister, 2014	Ontário, Canadá	A&L Canadá	2013	200	-	12	65	23
Ramos, 2016	Minas Gerais, BR	3rLab	2015	-	51	-	-	-
Cassoli e Amaral, 2018	São Paulo, BR	EsalqLab	2017-2018	-	61	-	-	-
FundaçãoABC, 2019	Paraná, BR	abcLab	2019	250	54	2	68	30

[1]Ótimo >70%; [2]Bom 50-70%; [3]Ruim <50%

Na Tabela 4, é possível observar a evolução dos valores de KPS das amostras do laboratório de Cumberland (CVAS), na Pensilvânia, Estados Unidos. Em 2006, a média era de 52,8%, com apenas 8,2% das silagens com processamento considerado ótimo. Com o passar dos anos, o processamento foi melhorando e oito anos depois, em 2013, a média passou a ser 64,6%, com 36% das amostras com um ótimo processamento.

Tabela 4. Evolução do processamento de grãos das amostras do laboratório Cumberland.

Local	**Laboratório**	**Ano**	**n**	Média	Ó[1]	B[2]	R[3]
				%			
Pensilvânia, EUA	Cumberland - CVAS	2006	97	52,8	8,2	48,5	43,3
Pensilvânia, EUA	Cumberland - CVAS	2007	272	52,3	9,2	52,9	37,9
Pensilvânia, EUA	Cumberland - CVAS	2008	250	54,6	5,2	60,0	34,8
Pensilvânia, EUA	Cumberland - CVAS	2009	244	51,1	6,1	45,9	48,0
Pensilvânia, EUA	Cumberland - CVAS	2010	373	51,4	5,9	50,7	43,4
Pensilvânia, EUA	Cumberland - CVAS	2011	726	55,5	12,3	54,6	33,1
Pensilvânia, EUA	Cumberland - CVAS	2012	871	60,8	14,8	65,3	19,9
Pensilvânia, EUA	Cumberland - CVAS	2013	2658	64,6	36,0	51,1	12,9

[1]Ótimo >70%; [2]Bom 50-70%; [3]Ruim <50%.

Shaver e Ferraretto, 2016.

Como no laboratório da Pensilvânia, com o passar dos anos, o processamento dos grãos das silagens analisadas no laboratório Rock River, melhorou, com médias de 56,8% no ano de 2010, para 66% em 2016 (Tabela 5).

Tabela 5. Evolução do processamento de grãos das amostras do laboratório Rock River.

Local	Laboratório	Ano	Média	Mínimo
			%	
Wisconsin, EUA	Rock River	2010	56,8	31,7
Wisconsin, EUA	Rock River	2011	57,0	38,0
Wisconsin, EUA	Rock River	2012	56,9	33,0
Wisconsin, EUA	Rock River	2013	63,3	44,6
Wisconsin, EUA	Rock River	2014	65,7	53,8
Wisconsin, EUA	Rock River	2015	65,8	52,4
Wisconsin, EUA	Rock River	2016	66,0	55,5

[1]Ótimo >70%; [2]Bom 50-70%; [3]Ruim <50%.

Goeser, 2017

Nas amostras do laboratório Dairyland, no ano de 2009, 31,2% das silagens estavam classificadas com processamento ruim, este número foi reduzindo ao longo dos anos e em 2014, 14,4% estavam nesta faixa. Para a classificação ótimo, em 2009, apenas 5,5% das amostras estavam nesta categoria, passando para 18,5% no ano de 2014 (Tabela 6).

Tabela 6. Evolução do processamento de grãos das amostras do laboratório Dairyland

Local	Laboratório	Ano	Nº Amostras	Ótimo[1]	Bom[2]	Ruim[3]
				%		
Wisconsin, EUA	Dairyland	2009	483	5,5	63,3	31,2
Wisconsin, EUA	Dairyland	2010	499	9,4	60,3	30,3
Wisconsin, EUA	Dairyland	2011	958	17,5	61,6	28,8
Wisconsin, EUA	Dairyland	2012	1079	20,4	63,7	15,9
Wisconsin, EUA	Dairyland	2013	1566	21,4	61,6	17,0
Wisconsin, EUA	Dairyland	2014	1580	18,5	67,1	14,4

[1]Ótimo >70%; [2]Bom 50-70%; [3]Ruim <50%.

Shaver e Ferraretto, 2016.

Em todos os locais, independe de qual região ou pais, é possível observar a evolução nos valores de KPS com o passar dos anos, evidenciando a importância de se difundir esse conhecimento entre os produtores, e de ter um índice padronizado para monitoramento e controle do processamento dos grãos das silagens de milho.

2.5. APROVEITAMENTO DOS GRÃOS DE MILHO PELOS ANIMAIS

Comparado com outros nutrientes, o amido foi o nutriente mais subestimado em nutrição de gado de leite por muitos anos (Ferraretto, 2016). Estimulado pelo alto custo dos grãos de cereais, principalmente do milho, em relação aos preços históricos, houve um crescente interesse em otimizar a utilização do amido pelos ruminantes (Fredin et al., 2014), melhorando o desempenho produtivo e reduzindo os custos com alimentação (Ferraretto et al., 2013). Encontrar um equilíbrio entre saúde dos animais, eficiência produtiva e econômica, continua sendo um grande e complexo desafio para nutrição de vacas altamente especializadas (Arcari e Santos, 2013), que requerem dietas de alta energia para atingir seu potencial genético de produção de leite.

A quantidade de amido na dieta de vacas em lactação é bastante variável, mas tipicamente apresenta-se em torno de 20 a 30% da matéria seca (Fredin, 2015). Em meta-análise realizada por Ferraretto et al. (2013), avaliando 414 dietas de rebanhos leiteiros, os teores médios de amido foram de 27%, com valor mínimo de 5,2% e máximo de 43,7%. A digestibilidade total deste amido deveria ser superior a 98%, e considerada adequada até valores próximos a 95%; valores abaixo deste são inadequados (Fredin, 2015). Contudo, o grau de processamento altera muito esses números. O local e a extensão da digestão do amido pelos animais ruminantes variam de acordo com a espécie, tipo de grão e método de processamento (Owens, 1986).

Da digestão total do amido de milho em gado de corte, cerca de 80% ocorre no rúmen (Owens, 1986). Este valor pode variar de 40% a mais de 90% (NRC, 2001), porém quando abaixo de 65% já pode estar sendo limitado pelo processamento. A fragmentação mecânica dos grãos geralmente aumenta a extensão da degradação de amido no rúmen, reduzindo o fluxo de amido para o intestino e consequentemente aumentando a digestão total do amido (Owens, 1986).

A fermentação ruminal torna a maior parte dos componentes nutritivos dos alimentos disponíveis para ser utilizada diretamente pelos tecidos dos ruminantes.

Desta forma, os carboidratos não estruturais, como o amido, são convertidos em ácidos graxos voláteis (AGVs), gás carbônico e metano. Dietas ricas em concentrados reduzem a relação acetato:proprionato, e estes AGVs são absorvidos através da parede ruminal, representando a maior fonte de energia para o ruminante (Berchielli et al., 2006). Além disso, o amido fermentado no rúmen aumenta a síntese de proteína microbiana, aumenta o fluxo de proteína metabolizável para o intestino e gera maior produção de proteína do leite (Fredin, 2015).

Se não for degradado no rúmen, o amido chega no intestino delgado onde cerca de 47 a 88% deste amido é digerido (Owens, 1986). A digestão pós-ruminal do amido é realizada por enzimas de origem pancreática (α-amilase) e de células da parede do intestino delgado (principalmente maltase e isomaltase) (Menezes et al., 2017), sendo convertido diretamente em glicose (Ferraretto, 2016). Embora a digestão do amido no intestino evite a produção indesejável de metano e as perdas de calor associadas à fermentação no rúmen, essa glicose é usada localmente, aumentando a deposição de gordura visceral dentro e ao redor do intestino, não sendo útil para crescimento ou lactação (Owens, 2007).

Cerca de 33 a 62% do amido que não é digerido no intestino delgado acaba sendo fermentado no intestino grosso (Owens, 1986), e com essa fermentação ocorrem novamente perdas por gases e calor, além do não aproveitamento da proteína microbiana (Menezes et al., 2017).

Por fim, o amido que não foi capaz de ser degradado e absorvido pelas diferentes etapas de aproveitamento, é eliminado nas fezes (Fredin et al., 2014).

2.6. FATORES QUE AFETAM O APROVEITAMENTO DO AMIDO

Embora os benefícios de maior digestibilidade do amido na produção de leite sejam bem conhecidos, não é simples estimar seu impacto econômico (Ferraretto, 2016). Algumas linhas de pesquisa em nutrição de ruminantes têm buscado aumentar a eficiência da utilização do amido e a produção em vacas leiteiras por meio da manipulação dos ingredientes da dieta (Arcari e Santos, 2013). Esse conceito tem sido aplicado às fontes de amido, provenientes dos ingredientes volumosos e/ou concentrados.

O aproveitamento do amido pelos ruminantes não é homogêneo e depende principalmente da fonte, do processamento aplicado ao grão (Caetano, 2008), da genética e da maturidade da planta no momento da colheita (Firkins et al., 2001; Grouw, 2013).

Por ser a fonte de amido mais utilizada para ruminantes em todo o mundo, o milho é usado como padrão para comparação e discussão das estratégias para elevação da eficiência de digestão e utilização desse nutriente.

Em meta-análise realizada por Ferraretto et al. (2013), a degradabilidade ruminal do amido dos grãos de milho foi 17 unidades percentuais menor em relação aos grãos de cevada e 25 unidades menor em relação ao trigo (*P = 0,0010*), com valores variando de 54,1%, 70,6% e 78,9%, respectivamente. Já quando observada a digestibilidade total do amido das dietas, os valores não diferenciaram (*P = 0,8000*), sendo 92,6% para o milho, 92,8% para a cevada e 93,9% para o trigo.

Em avaliações realizadas com cordeiros recebendo diferentes associações de grãos úmidos e grãos secos de sorgo e milho, o aproveitamento do amido pelos animais foi semelhante, não tendo diferenças nos valores de amido fecal (*P = 0,1707*), com média de 16,5% (Silva et al., 2013). Porém, os ovinos podem mastigar e quebrar o pericarpo dos grãos com mais eficiência do que bovinos. Desta forma, o resultado de estudos de digestibilidade em ovinos deve ser usado com cuidado, ao se estimar a digestibilidade em bovinos (Randby et al., 2019).

Da mesma forma que outros processamentos, a ensilagem da planta inteira, ou dos grãos exclusivamente, impacta positivamente na digestibilidade do amido de milho (Grouw, 2013) ou de outras plantas graníferas.

Silagens colhidas com os grãos a 2/3 da linha do leite (ponto tipicamente adotado para ensilagem de plantas inteiras de milho) apresentaram maior digestibilidade do amido no trato total, em relação a silagens colhidas com os grãos na maturidade fisiológica (92,2 x 87,7%) (Bal et al., 1997).

Owens e Soderlund (2007) compararam resultados de pesquisas com grãos laminados ou quebrados na maturidade, em relação a silagens de grãos úmidos, para determinar o local e a extensão da digestibilidade do amido por vacas em lactação. Os autores observaram 49,2% de degradabilidade ruminal do amido para os grãos secos, enquanto grãos úmidos ensilados apresentaram 76,3% de degradabilidade. Quando as comparações foram realizadas para a digestiblidade total do amido, grãos secos apresentaram 89,9%, contra 96,0% dos grãos úmidos.

A granulometria da moagem do milho seco (fubá) utilizado na ração também pode afetar a digestibilidade do amido (Owens e Soderlund, 2007). Em estudo realizado por Ferraretto et al. (2013), cinco diferentes granulometrias apresentaram diferentes digestibilidades do amido no trato total, com 93,3% e 93,2% para 500 a 1,000 µm e 1,000 a 1,500 µm, respectivamente, seguidos de 89,8% e 89,6% para tamanhos entre 1,500 e 2,000 µm e 3,000 a 3,500 µm, respectivamente, e 77,7% para tamanhos de moagem entre 3,500 a 4,000 µm.

O mesmo efeito foi encontrado por Fernandes et al. (2018), quando avaliaram a degradabilidade ruminal do amido de grãos de milho moídos com granulometrias variando de 6 mm (1,181 µm) a 1 mm (390 µm), a degradabilidade do amido aumentou de 27,7 para 53,7%, respectivamente. Carrari, 2020 também verificou efeito da granulometria do fubá na digestibilidade do amido de vacas em lactação, com valores de 93,95% para granulometria de 660 µm e 91,29% para 915 µm.

Além de variáveis relacionadas aos grãos, os níveis de fibra da dieta também podem afetar a digestibilidade do amido por ruminantes (Grouw, 2013). Dietas com menor inclusão de forragem proporcionam maior ingestão de matéria seca e consequente maior taxa de passagem (kp), determinando maior escape de amido do rúmen (Silva, 2009).

O tamanho médio de partículas (TMP) da forragem também pode afetar a taxa de passagem (kp) e a extensão da degradação ruminal do amido das rações. Maulfair et al. (2011) não encontraram diferenças significativas nos teores de amido fecal em vacas em lactação alimentadas com fenos com TMP pequeno, médio, longo e muito longo (3,8%, 2,9%, 4,0% e 3,9, respectivamente). Contudo, Johnson et al. (1999) observaram aumento no aparecimento de grãos no esterco (R^2 = 0,7395) proporcional ao aumento no TMP da silagem de milho, provavelmente pelo menor processamento dos grãos durante a picagem.

Em experimento realizado com novilhos de corte, avaliando dietas com dois níveis de inclusão de silagem de milho (18,2% e 5,2%), as perdas por amido fecal foram semelhantes (*P = 0,43*), sendo de 15,9% para dietas com alta inclusão e 19,1% de amido fecal para dietas com baixa inclusão de silagem (Gorocica-Buenfi e Loerch, 2005). A variação nas respostas ao TMP sobre a digestibilidade do amido pode ser influenciada por outros fatores como processamento dos grãos e efetividade da FDN.

2.7. AMIDO FECAL

A avaliação do teor de amido presente nas fezes ganhou grande importância nos últimos anos, com foco em maximizar a eficiência na nutrição dos ruminantes, sobretudo em animais confinados. O amido fecal é uma ferramenta de diagnóstico para estimar a digestibilidade e quantificar quimicamente as partículas de amido da ração total não aproveitadas (Johnson, 2017). É um bom método de avaliação, uma vez que é realizado diretamente no animal e contempla muitos fatores envolvidos na digestibilidade, nas condições locais (Grouw, 2013). Nos rebanhos leiteiros, é comum observar visualmente fezes de vacas contendo quantidade considerável de partículas de milho não digerido (Arcari e Santos, 2013). A análise laboratorial do amido fecal, por sua vez, é mais precisa pois detecta ainda pequenas partículas e fragmentos de amido não visíveis a olho nu. Desta forma, pecuaristas e nutricionistas devem monitorar a digestibilidade do amido para garantir o adequado aproveitamento da energia do alimento (Fredin, 2015) e ganhos em produtividade e/ou redução de custos.

Fredin et al. (2014) avaliaram 190 vacas em lactação e verificaram que o teor de amido fecal explicou quase toda a variação da digestibilidade desse nutriente no trato total (R^2 = 0,94), com uma forte relação linear (*P <0,001*). Dessa forma, os autores propuseram a seguinte equação:

Digestibilidade do amido no trato total (%) = 100 - (1,25 × amido fecal%),

que sugere que medir apenas o amido fecal pode ser adequado para prever a digestibilidade desse nutriente (Fredin et al., 2014). Porém, em alguns casos, a concentração de amido na dieta também deve ser incluída nas equações de predição de digestibilidade do amido para aumentar a precisão do resultado (Owens et al., 2016).

A estimativa direta de digestibilidade do amido em condições de fazenda, bem como a avaliação da eficácia de métodos de processamento de grãos empregados nos alimentos que compõe a dieta (Owens e Soderlund, 2007) são os maiores apelos à avaliação do amido fecal como ferramenta de campo. Essa técnica pode ser usada para monitorar grupos específicos de vacas ao longo do tempo (Ferraretto, 2016), podendo ser realizada apenas uma ou duas vezes por ano, ou rotineiramente,

conforme desejado (Fredin, 2015), em pelo menos 10% dos animais do grupo (Ferraretto, 2016).

A desvantagem da avaliação de amido fecal é que ela não indica digestibilidade de alimentos específicos, mas de dietas totais (Ferraretto, 2016), uma vez que as vacas consomem uma dieta composta de muitos alimentos diferentes que podem estar contribuindo para a composição do amido da dieta (Grouw, 2013).

Se os valores de concentrações de amido fecal estiverem acima de 3%, alimentos específicos ricos em amido devem ser observados para elucidar o problema (Ferraretto, 2016). Porém, se esses níveis forem superiores a 5%, provavelmente inadequado processamento de grãos deve estar ocorrendo (Owens e Soderlund, 2007).

A aplicação da avaliação do teor de amido fecal em fazendas já é rotina nos Estados Unidos da América, e em algumas regiões especializadas do Brasil. O Laboratório Cumberland Valley, na Pensilvânia/EUA, analisou 1.420 amostras fecais com teor de amido variando de 0,20 a 38,9%, sendo que 62% das amostras continha menos de cinco por cento de amido. O Laboratório Rock River, em Wisconsin/EUA, avaliou 52 amostras com teor médio de 7,9% de amido fecal (Hutjens, 2010). Os métodos tradicionais laboratoriais para determinar o teor de amido das fezes podem ser demorados, dificultando as decisões gerenciais nas fazendas. Desta forma, o uso de ferramentas portáteis, como o NIRS, pode ser aplicado para previsões quantitativas precisas da composição química fecal (Fredin et al., 2014, Jancewicz et al., 2017).

Fredin et al. (2014), avaliando quinze experimentos conduzidos na Universidade de Wiscosin, com 1.036 vacas em lactação, encontraram valores de amido fecal variando de 0,1% a 16,1%, com média de 3,1%. Ainda em Wisconsin, mas agora com avaliações realizadas durante o verão em 59 fazendas comerciais em Wiscosin/EUA, o teor médio de amido fecal foi de 2,1% (Geiser e Goeser, 2019). Da mesma forma, a avaliação de dados de 19 fazendas leiteiras em Illinois, EUA, apresentou média de 6,0% de amido fecal, com valores variando de 3,9 a 9,9% (Lidy et al., 2009).

Em dados de vinte fazendas comerciais brasileiras, na região leiteira altamente especializada no estado do Paraná, os valores médios encontrados foram semelhantes aos dados norte-americanos, sendo 3,4% ± 3,1% e 3,9 ± 2,5% para amostras coletadas na primavera e outono, respectivamente (Michelotti et al., 2019).

Fatores relativos à coleta de fezes podem alterar os valores encontrados de amido fecal. De acordo com Caetano (2008) em bovinos de corte confinados o teor de amido fecal pode variar em função do período de coleta, sendo que os maiores teores podem ocorrer pela manhã nas primeiras horas pós-alimentação. Com o decorrer do tempo há uma queda no teor de amido fecal, que dura cerca de 10 a 12 horas, com progressivo aumento nas 12 horas seguintes. Por outro lado, Leonard et al. (1989) avaliaram fezes de bovinos Angus e não observaram diferenças de teores de amido em coletas realizadas 0 a 8, 8 a 16 e 16 a 24 horas pós-alimentação.

Em experimento realizado por Fredin et al. (2014), o teor de amido fecal foi maior em amostras coletadas imediatamente antes da alimentação em comparação com 12 horas pós-alimentação (2,0 vs. 1,6%). Apesar de significativa, a magnitude da diferença pode ser considerada pequena. Esses autores concluíram que um único ponto no tempo, com várias vacas amostradas, pode ser adequado para coletas fecais em fazendas, a fim de diagnóstico ou monitoramento de rotina da digestibilidade do amido.

O processamento adequado dos grãos e das forragens de plantas graníferas (silagens de milho, sorgo, aveia, etc) podem ter impactos profundos na digestão total do amido, com consequente redução das perdas fecais, levando a maior produção dos animais (Fredin, 2015).

Os primeiros estudos a considerar avaliação de amido fecal, na década de 1980, já avaliavam o processamento dos grãos e seus efeitos na perda desse nutriente. Leonard et al. (1989), avaliando bovinos da raça Angus em baias individuais recebendo grãos de milho moído ou inteiros juntamente com feno, observaram que os animais alimentados com milho moído apresentaram 7,6% de amido nas fezes, enquanto em animais alimentados com grãos inteiros esse teor foi de 16,0%. Em outro experimento conduzido com bovinos de corte recebendo rações com milho laminado a 2 mm, as perdas por amido fecal foram menores em relação às perdas nos animais que receberam rações contendo milho inteiro (12,3% e 17,7%, respectivamente) (Gorocica-Buenfi e Loerch, 2005).

Efeitos semelhantes são verificados quando o processamento é aplicado durante a colheita de forragens graníferas. Dhiman et al. (2000), avaliando vacas holandesas em lactação, verificaram que o processamento dos grãos durante a colheita de milho para silagem (abertura do “cracker” de 1 mm) reduziu a concentração de milho nas fezes (55 vs 90 g/kg de MS fecal, respectivamente) e número de grãos

inteiros nas fezes (14 vs 55 grãos/kg de MS fecal, respectivamente), em relação a vacas que receberam silagem de milho com grãos não processados (ensiladeira sem cracker).

Mais recentemente, a avaliação do KPS tem sido aplicada como forma indireta de predizer as perdas por amido fecal. Braman e Kurtz (2015) avaliaram 47 amostras de fezes de vacas em lactação e encontraram correlação negativa significativa entre o KPS da silagem de milho e o teor de amido fecal (R^2 = 0,59, *P = 0,001*), onde os teores de KPS variaram de 76 (mais processada) a 34% (menos processada) e os teores de amido fecal variaram entre 0,5 a 13%.

Sendo assim, sabe-se que os processos de produção de silagem de milho envolvem uma série de fatores em diferentes etapas. Devido a essa complexidade, faz-se necessário estudos dos multifatores e quais são as principais variáveis que influenciam o processamento dos grãos, consequentemente o aproveitamento energético do amido pelos animais, o seu impacto produtivo e econômico.

2.8. REFERÊNCIAS

AGARUSSI, M.C.N.; SILVA. V.P.; PAULA, E.M. et. al. Effects of ensiling of whole-plant corn on silage processing score and fermentation and long-chain fatty acid profiles. **Applied Animal Science**, v.36, p. 167-171, 2019.

ALLEN , M.S.; COORS, J.G.; ROTH, G.W. Corn Silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Ed.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.547-608.

ARCARI, M. A.; SANTOS, M.V. Mais milho para produção de leite e menos milho nas fezes. **Revista Leite Integral**, 2013.

ASHLEY, R.O. Corn maturity and ensiling Corn. Dickinson: Dickinson Research **Extension Center**, 2001. Disponível em: < http://www.ag.ndsu.edu/archive/dickinso/agronomy/cornmaturity.htm> Acesso em: 28 setembro 2019.

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, p. 1264-1274, 2000.

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.

BERCHIELLI, T. T; PIRES, A. V e OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal, SP, 2006. 583p.

BERNARDES, T.F.; DANIEL, J.L.P.; ADESOGAN, A.T. et. al. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of Dairy Science**, v.101, n.5, p. 4001-4019, 2018.

BERNARDES, T.F. **Levantamento das práticas de produção e uso de silagens em fazendas leiteiras no Brasil.** 2012. 17f. E-book – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BOLINGER, D. Field monitoring of kernel processing in corn silage. **Inside the zone - Pioneer**, 2013.

BRAMAN, W.L.; KURTZ, J.E. Effect of corn silage kernel processing score on dairy cow starch digestibility. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 17., 2015, Piracicaba. **Proceedings...** São Paulo: 2015.

CAETANO, M. **Estudo das perdas de amido em confinamentos brasileiros e do uso do amido fecal como ferramenta de manejo de bovinos confinados.** 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, ESALq, Piracicaba.

CARRARI, I.F. I**mpacto da granulometria do grão de milho no desempenho produtivo de vacas leiteiras.** 2020. 54f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CASSOLI, L.D.; AMARAL, R.C. Raio X da qualidade da silagem de milho. **Milk Point**, 2018. Disponível em: < https://www.milkpoint.com.br/colunas/esalqlab/raio-x-da-qualidade-da-silagem-de-milho-207669/> Acesso em: 29 setembro 2019.

COOKE, K.M.; BERNARD, J.K. Effect of Length of Cut and Kernel Processing on Use of Corn Silage by Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.1, p. 310-316, 2005.

CTRH ZOOTECNIA. **Silagem de milho na alimentação de vacas leiteiras.** 2019. 21f. E-book – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, Piracicaba.

DANIEL, J.L.P.; BERNARDES, T.F.; JOBIM, C.C. et. al. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. **Grass and Forage Science**, p. 1-13, 2019.

DANIEL, J.L.P.; JUNGES, D.; NUSSIO, L.G. Alterações na qualidade de silagens de milho durante o armazenamento. In: SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 5., 2014, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM/CCA/DZO, 2014. p. 23-36.

DE PAULA, R.F. **A importância do quebramento de grãos na qualidade da silagem de planta inteira de milho**. 2019. Disponível em:<http://www.pioneersementes.com.br/blog/138/a-importancia-do-quebramento-de-graos-na-qualidade-da-silagem-de-planta-inteira-de-milho> Acesso em: 28 junho 2019.

DER BEDROSIAN, M.C.; NESTOR JR, K.E.; KUNG JR, L. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.95, n.9, p. 5115-5126, 2012.

DHIMAN, T.R.; BAL, M.A.; WU, Z. et. al. Influence of Mechanical Processing on Utilization of Corn Silage by Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.83, p. 2521-2528, 2000.

DIAS JUNIOR, G.S. **Processamento de silagem de milho e suplementação de vacas leiteiras com enzimas fibrolíticas.** 2016. 180f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

DIAS JUNIOR, G.S.; FERRARETTO, L.F.; SALVATI, G.G.S. et. al. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.99, n.4, p. 2719-2729, 2016.

EBLING, T.L.; KUNG JR, L. A Comparison of Processed Conventional Corn Silage to Unprocessed and Processed Brown Midrib Corn Silage on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.8, p. 2519-2527, 2004.

EUN, J.S.; BEAUCHEMIN, K.A.; HONG, S.H. et. al. Effects of Mechanical Processing on the Nutritive Value of Barley Silage for Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.12, p. 4170-4177, 2004.

FERNANDES, T.; ÁVILA, C.L.; PEREIRA, M.N. et al..Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. **Journal of Dairy Science**, v.101, n.10, p. 1-6, 2018.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D.; LUCK, B.D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. **Journal of Dairy Science**, v.101, n.5, p. 3937-3951, 2017.

FERRARETTO, L.F. Impact of Starch Content and Digestibility in Dairy Cattle Diets. **Department of Animal Sciences, University of Florida**, 2016.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.4, p. 2662-2675, 2015.

FERRARETTO, L.F.; CRUMP, P.M.; SHAVER, R.D. Effect of ensiling time and exogenous protease addition to wholeplant corn silage of various hybrids, maturities, and chop lengths on nitrogen fractions and ruminal in vitro starch digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.12, p. 8869-8881, 2015a.

FERRARETTO, L.F.; CRUMP, P.M.; SHAVER, R.D. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v.96, n.1, p. 533-550, 2013.

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, p. 141-149, 2012.

FERREIRA, G.; MERTENS, D.R. Chemical and Physical Characteristics of Corn Silages and Their Effects on In Vitro Disappearance. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.12, p. 4414-4425, 2005.

FERREIRA, J.J. Características qualitativas e produtivas da planta de milho e sorgo para silagem. 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.383-404.

FIRKINS, J.L.; EASTRIDGE, N.R.; ST-PIERRE, N.R. et al. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. **Journal of Animal Science**, v.79, p. 218-238, 2001. (E. Suppl.)

FUNDAÇÃO ABC. **Tabela modelo pagamento KPS - Frísia.** 2019a. Relatório de Pesquisa – Fundação ABC, Castro. (Área Restrita – Dados Não Publicados).

FUNDAÇÃO ABC. 11º Concurso de Silagem de Milho da Fundação ABC**. Revista Fundação ABC**, ano 8, ed. 36, 2019. (Área Restrita – Publicação interna).

FREDIN, S.M. **How to get more out of dietary starch and low starch diets**. 2015. Disponível em: < https://pdfs.semanticscholar.org/1217/529b09d4f46422fbf9f14155842780261a5e.pdf > Acesso em: 02 novembro 2019.

FREDIN, S.M.; FERRARETTO, L.F.; AKINS, M.S. et. al. Fecal starch as an indicator of total-tract starch digestibility by lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.97, n.3, p. 1862–1871, 2014.

GEISER, J.; GOESER, J. Midwestern US commercial dairy survey results: corn silage kernel processing, rumen starch digestibility, and fecal starch content. In: ADSA – ASAS – JOINT ANNUAL MEETING - JAM, 2095, Cincinnati. **Poster...** Estados Unidos, 2019.

GOESER, J. Corn Silage Kernel Processing Score (KPS) Guidelines and Benchmarks. **Rock River Laboratory**, 2017.

GOMIDES, G.C. **Fatores determinantes na ensilagem de milho: Da colheita à utilização.** 2013. 31f. Monografia (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

GOROCICA-BUENFI, M.A.; LOERCH, S.C. Effect of cattle age, forage level, and corn processing on diet digestibility and feedlot performance. **Journal of Animal Science**, v.83, p. 705-714, 2005.

GROUW, J.M van. **Survey of starch digestibility of california corn silages.** 2013. 64f. Thesis (Master of Science in Animal Science) – California State University, Fresno.

HEGUY, J.M.; MEYER, D.; SILVA DEL RIO, N. A survey of silage management practices on California dairies. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.2, p. 1649-1654, 2016.

HEINRICHS, J. The Penn State Particle Separator. **Penn State Extension**, 2013.

HUTJENS, M.F. Manureology 101. In: FOUR-STATE DAIRY NUTRITION AND MANAGEMENT CONFERENCE, 2010, Dubuque. **Proceedings...** Dubuque, Iowa: 2010.

JANCEWICZ, L.J.; SWIFT, M.L.; PENNER, G.B. et. al. Development of near-infrared spectroscopy calibrations to estimate fecal composition and nutrient digestibility in beef cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v.97, p.51-64, 2017.

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, p. 101-119, 2007. Suplemento esp.

JOHNSON, J.R. **Techniques to increase silage stability and starch availability and the effects of heat stress abatement systems on reducing heat load in dairy cattle.** 2017. 193f. Dissertation (Doctor of Philosophy) – Kansas State University, Manhattan, Kansas.

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, p.2813-2825, 1999.

JUNGES, D.; MORAIS. G.; DANIEL. J. L. P. et al. Contribution of proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 17., 2015, Piracicaba. **Proceedings...** São Paulo: 2015.

JUNGES, D. **Tempo de armazenamento e manejo do painel no valor nutritivo de silagens de milho.** 2014. 150f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, ESALq, Piracicaba.

KAPP JUNIOR, C. **Custo forragens verão safra 2018/2019.** 2018. Relatório de Pesquisa – Fundação ABC, Castro. (Área Restrita – Publicação interna).

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, p.2438-2451, 2003.

KUNG JR, L.; MUCK, R. Silage harvesting and storage. In: LARGE DAIRY HERD MANAGEMENT, 3., 2017, Champaign, IL. **American Dairy Science Association (ADSA).** Champaign, 2017. p. 723-738.

LEONARD, E.E.; POND, K.R.; HARVEY, R.W. et al. Effects of corn grinding and time of corn feeding on growth, starch utilization and digesta passage characteristics of growing steers fed hay-based diets. **Journal of Animal Science**, v.67, p. 1603-1611, 1989.

LIDY, D.; OSORIO, J.S.; HUTJENS, M.F. et al. Evaluating total tract starch digestibility. Illinois Livestock Trail. **University of Illinois-Extension**, 2009.

LOPES, J.C.; SHAVER, P.C.; HOTTMAN, M.S. et al. Type of corn endosperm influences nutrient digestibility in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.92, p. 4541-4548, 2009.

LUCK, B. SilageSnap. **Wisconsin Machinery Extension**, 2019. Disponível em: <https://wimachineryextension.bse.wisc.edu/precision-agriculture/silagesnap/>
Acesso em: 29 setembro 2019.

LUCK, B.; WILLETT, R.; DREWRY, J. **Monitoring kernel processing during harvest**. University of Wisconsin-Madison, 2019. Disponível em: https://www.canr.msu.edu/msu_agriculture_innovation_day/uploads/files/Kernel%20processing%20score%20final.pdf. Acesso em: 28 setembro 2019.

MAHANNA, B. et. al. **Silage Zone Manual.** 2019. 83f. Pioneer-Corteva, Delaware, United States.

MAULFAIR, D.D.; FUSTINI, M.; HEINRICHS, A.J Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and fecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.94, n.7, p. 3527-3536, 2011.

MCALLISTER, T.A.; RODEI, L.M.; MAJORI, D.J. et.al. Effect of ruminal microbial colonization on cereal, grain digestion. **Canadian Journal of Animal Science**, v.70, p. 571-579, 1990.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The Biochemistry of Silage.** Nd ed. Merlow:Chalcomb Publications, 1991. 340p.

MELLO, R.P.; DALLE CARBONARE, M.S. Chemical quality of corn silage in Brazilian capital of milk during nine years. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 18., 2018, Bonn. **Proceedings...** Alemanha, 2018.

MELLO, R.P.; DALLE CARBONARE, M.S.; PEREIRA, D. **Concurso de Silagem de Milho da Fundação ABC: 10 anos de conquistas!** 2018. 16f. Relatório de Pesquisa – Fundação ABC, Castro.

MENEZES, B.B.; MORAIS, M.G.; BATISTA, R.S.; et al. Características estruturais do grão de milho sobre a digestibilidade do amido em bovinos. In: MOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ/UFMS, 5., 2017, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: FAMEZ/UFMS, 2017.

MERTENS, D.R. **Particle Size, Fragmentation Index, and Effective Fiber: Tools for Evaluating the Physical Attributes of Corn Silages**. Madison, 2005. Disponível em: http://www.whminer.org/pdfs/Mertens%20particle%20size%204%20state%202005.pdf. Acesso em: 28 setembro 2019.

MICHELOTTI, T.C.A.; SILVA, R.A.; CARNEIRO, J.H. et al. Effect of ensiling time on apparent total tract starch digestibility in Southern Brazilian dairy herds. **Scientia Agricola**, v.78, n.2, 2019.

MUCK, R.E. Factors influencing silage quality and their implications for management. **Journal of Dairy Science**, v.71, p. 2992–3002, 1988.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.

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, 1., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM/CCA/DZO, 2001. p.127-145.

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.

OWENS, C.E.; ZINN, R.A.; HASSEN, A. et al. Mathematical linkage of total tract digestion of starch and neutral detergent fiber to their fecal concentrations and the effect of site of starch digestion on extent of digestion and energetic efficiency of cattle. **The Professional Animal Scientist**, v.32, p. 531-549, 2016.

OWENS, F. Corn Silage – Facts, Fantasies, and the Future. In: FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 1., 2008, Gainesville. **Proceedings...** Gainesville: Pioneer Hi-Bred International, 2008. 31p.

OWENS, F.; SODERLUND, S. **Ruminal and postruminal starch digestion by cattle.** 2007. 13f. Pioneer Hi-Bred - DuPont Business, Johnston, Iowa.

OWENS, F.N.; ZINN, R.A.; KIM, Y.K. Limits to Starch Digestion In The Ruminant Small Intestine. **Journal of Animal Science**, v.63, p.1634-1648, 1986.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Circular Técnica.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Minas Gerais, 2006.

PFISTER, M. **Increase corn silage value with proper kernel processing**. 2014. Disponível em:< https://www.progressivedairycanada.com/topics/feed-nutrition/increase-corn-silage-value-with-proper-kernel-processing> Acesso em: 28 junho 2019.

PHILIPPEAU, C. F.; LE DESCHAULT DE MONREDON; B. MICHALET-DOREAU. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. **Journal of Animal Science**, v.77, p. 238-243, 1999.

RAMOS, M.H. Panorama da qualidade das silagens de milho no Brasil. **Revista Leite Integral**, 2016. Disponível em:< http://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/panorama-da-qualidade-das-silagens-de-milho-no-brasil> Acesso em: 29 junho 2019.

RANDBY, A.T.; NADEAU, E.; KARLSSON, L. et al. Effect of maturity stage at harvest and kernel processing of whole crop wheat silage on digestibility by dairy cows. **Animal Feed Science and Technology**, v.253, p. 141-152, 2019.

RASMUSSEN, C.B.; MOESLUND, T.B. Maize Silage Kernel Fragment Estimation Using Deep Learning-Based Object Recognition in Non-Separated Kernel/Stover RGB Images. **Sensors**, v.19, p.1-20, 2019.

SALVATI, G.G.S. **Strategies to improve kernel processing and dairy cow performance in wholeplant corn silage based on vitreous endosperm hybrid.** 2019. 89f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, Piracicaba.

SALVATI, G.; BERNARDES, T.F. Você é eficiente em colher milho para silagem? **Milk Point**, 2016. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/thiago-fernandes-bernardes/voce-e-eficiente-em-colher-milho-para-silagem-103049n.aspx?r=600276768#> Acesso em: 28 junho 2019.

SALVATI, G. Como avaliar o processamento de grãos durante a colheita e na silagem?. **Boletim da Forragem.** v.4, Jan-Fev. Piracicaba: Esalq, 2016. Disponível em: http://www.iagro.ms.gov.br/processamento-de-graos-na-colheita-e-silagem/. Acesso em: 28 setembro 2019.

SAVOIE, P.; SHINNERS, K.J.; BINVERSIE, B.N. Hydrodynamic Separation of Grain and Stover Components in Corn Silage. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.113, n.4, p. 0041-0054, 2004.

SCHWAB, E.C.; SHAVER, R.D.; SHINNERS, K.J. et.al. Processing and Chop Length Effects in Brown-Midrib Corn Silage on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.85, n.3, p. 613-623, 2002.

SILVA, M.G.B.; COSTA, C.; FACTORI, M.A. et al. Consumo e recuperação de amido fecal de cordeiros terminados em confinamento com associações de grãos secos e ensilados. In: SYNERGISMUS SCYENTIFICA UTFPR, 2., 2013, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

SILVA, L.H. **Dietas de alta proporção de concentrado para Bovinos de corte confinados.** 2009. 177f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

SHAVER, R.D.; FERRARETTO, L.F. **Making Sense of Modern Feed Tests**. University Wisconsin - Dairy Science Department, 2016. Disponível em: < https://www.shaverlab.dysci.wisc.edu/> Acesso em: 29 junho 2019.

SHAVER, R; HOFFMAN. P. Degree of Starch Access (DSA): Starch Digestibility in Forages and Grains fed to Dairy Cattle. **Focus on Forage**, University of Wisconsin Board of Regents, 2006. 3p.

SHINNERS, K.J.; HOLMES, B.J. Making Sure Your Kernel Processor Is Doing Its Job. **Focus on Forage**, v.15, n.4, 2013.

SHINNERS, K.J.; JIROVEC, A.G.; SHAVER, R.D. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. **Applied Engineering in Agriculture**, v.16, n.4, p.323-331, 2001.

WEISSBACH, F.; HONIG, H. Über die vorhersage und steuerung des gärungsverlaufs bei der silierung von grünfutter aus extensivem anbau. **Landbauforschung Völkenrode**, Heft 1,10-17, Germany, 1996.

ZEBELI, Q.; ASCHENBACH, J.R.; TAFAJ, M. et.al. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.95, n.3, p. 1041-1056, 2012.

3. CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS SILAGENS DE MILHO DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO DURANTE QUATRO ANOS

CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS SILAGENS DE MILHO DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO DURANTE QUATRO ANOS

RESUMO

A silagem de planta inteira de milho é a forrageira mais utilizada para bovinos leiteiros em todo o mundo. Objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico de processos ligados a escolha do híbrido, manejo de lavoura, colheita, ensilagem, desensilagem e parâmetros de qualidade química e física das silagens durante quatro anos nas regiões Centro Oriental Paranaense e Sul de São Paulo. Durante o período de julho de 2015 a junho de 2019 foram visitadas 470 propriedades, em 36 municípios da região Centro Oriental Paranaense e sul de São Paulo. Foram avaliadas 1.201 amostras de silagem utilizadas na alimentação dos animais. Em todos os silos avaliados foi realizado levantamento de dados em relação aos processos de lavoura, colheita, ensilagem e armazenamento que deram origem a silagem avaliada. Foi determinado a composição química por NIRS, tamanho de partículas e processamento dos grãos. Foi realizada análise de correlação de Pearson (PROC CORR) e para as variáveis qualitativas foi utilizado o procedimento de frequências (PROC FREQ) e demonstradas em gráficos de colunas. Para as variáveis de composição química foi utilizado o gráfico BoxPlot. Foram utilizados 77 diferentes híbridos de 12 empresas. A Pioneer foi a empresa com maior representatividade (27%), seguida da Dekalb (17%) e Syngenta (16%). A maior parte dos híbridos eram OGM sem a característica de *stay green*. A utilização de fungicidas nas lavouras foi crescente ao longo dos anos, com 74% de utilização no ano de 2019. A maior parte das lavouras foram colhidas com máquinas automotrizes (85% em 2019) e de maneira terceirizada (88% em 2019), com maior representatividade para a marca New Holland em 2016 (25%) e John Deere em 2019 (25%). O uso de inoculantes nas silagens foi baixo e decrescente ao longo dos anos (7% em 2019). O silo mais utilizado foi do tipo trincheira, coberto com lona dupla-face (branca-preta) e terra. A utilização de garfo manual para desabastecimento dos silos reduziu ao longo dos anos. A maior parte dos silos (56% em 2019) foi colhido dentro do teor de matéria seca adequado. Os teores de FDN, FDA e lignina reduziram, e os teores de amido, NDT e leite estimado seguiram uma tendência de aumento ao longo dos anos. O tamanho médio de partículas teve uma tendência de redução e o processamento dos grãos (KPS) melhorou. A maior parte das propriedades da região de estudo utilizam alta tecnologia nas lavouras de milho e nos processos de ensilagem, resultando em um alimento de alta qualidade para ser fornecido aos animais.

Palavras-chave: bromatologia, colheita, ensilagem, híbrido, silo

DATA CHARACTERIZATION AND DESCRIPTIVE STATISTICS OF CORN SILAGES FROM ORIENTAL CENTER OF *PARANÁ* AND SOUTHERN *SÃO PAULO* REGIONS FOR FOUR YEARS

ABSTRACT

Whole corn plant silage is the most widely used forage for dairy cattle worldwide. The goal of this study was to carry out a diagnosis of the processes related to the choice of hybrid, crop management, harvesting, ensiling, feed-out and parameters of chemical and physical quality of silages during four years, in the oriental center of *Paraná* and southern *São Paulo* regions, Brazil. From July 2015 to June 2019, 470 farms were visited in 36 counties. It were evaluated 1,201 silage samples used to feed the animals. In all the evaluated silos, data were collected in relation to the tillage, harvesting, silage and storage processes that gave rise to the evaluated silage. Chemical composition (determined by NIRS), particle size and grain processing were assessed. Pearson's correlation analysis (PROC CORR) was performed. The frequency procedure (PROC FREQ) was used for qualitative variables and demonstrated in column graphs. For the chemical composition variables, the BoxPlot graph was used. 77 different hybrids from 12 companies were identified. Pioneer was the most representative company (27%), followed by Dekalb (17%) and Syngenta (16%). Most of the hybrids were GMOs without the stay green characteristic. The use of fungicides in crops has grown over the years, with 74% utilization in 2019. Most of the crops were harvested using self-propelled machines (85% in 2019) and outsourced service (88% in 2019), with greater representation for the New Holland brand in 2016 (25%) and John Deere in 2019 (25%). The use of inoculants in silages has been low and decreasing over the years (7% in 2019). The most used silo was the bunker type, covered with double-layer plastic sheet (white-black) and soil. The use of agricultural fork to feed-out has reduced over the years. The most silos (56% in 2019) were harvested within the appropriate dry matter content. The levels of NDF, ADF and lignin decreased, as well as the levels of starch, NDT and estimated milk followed an increasing trend over the years. The average particle size tended to decrease and kernel processing score (KPS) has improved. Most of the farms in the study use high technology in maize crops and silage processes, resulting in a high quality food to be fed to the animals.

Keyword: bunker, bromatology, harvest, hybrid, silage

3.1. INTRODUÇÃO

A silagem de planta inteira de milho é a forrageira mais utilizada para bovinos leiteiros em todo o mundo (Ferraretto et al., 2017). Muitos fatores contribuem para essa elevada adoção, incluindo colheita mecanizada facilitada, com alto rendimento de massa seca por hectare e alta energia, juntamente com fibra fisicamente efetiva (Dias Junior et al., 2016; Ferraretto et al., 2017).

A produção de silagem de qualidade depende de fatores controláveis e incontroláveis (Bernardes et al., 2018) e a maior parte desses fatores estão sob controle dos produtores (Carvalho, 2013).

É importante entender que o processo de produção da silagem de milho não compreende somente a fase de campo, como o manejo da lavoura, a escolha do híbrido, adubação, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, mas também os processos de ensilagem, teor de matéria seca, tamanho de partículas, densidade, tipo de silo, uso de aditivos, vedação, desensilagem, formulação da dieta e manejo de cocho (Allen et al., 2003).

Diferentes estratégias podem ser tomadas durante a colheita para garantir que a silagem de milho seja processada de maneira adequada. Os ajustes nas configurações das máquinas podem melhorar a qualidade física da silagem (Luck et al., 2019) e são fundamentais para definição do tamanho de partículas e processamento dos grãos.

Esse ajuste adequado das máquinas é de extrema importância, pois as características físicas da silagem podem afetar a composição química, que influencia a disponibilidade de nutrientes para os animais (NRC, 2001). Portanto, as decisões tomadas durante os poucos dias de colheita e ensilagem podem afetar o valor alimentar da silagem durante todo o ano (Kung Jr. e Muck, 2017).

Para o armazenamento da massa forrageira, vários métodos são descritos na literatura (Savoie e Jofriet, 2003) e os silos horizontais são os mais comuns em todo o mundo (Muck e Shinners, 2001), cobertos por lona confeccionadas com diversos materiais e cores, e diversos tipos de cobertura e pesos sobre a lona, que funcionam como agentes mecânicos que aumentam a adesão da lona com a massa ensilada, diminuem a incidência de raios solares e as trocas gasosas com o ambiente (Amaral, 2011).

A fase de utilização da silagem também é importante, sendo que a remoção deve ser feita adequadamente, para evitar deterioração por fungos e leveduras, bem como contaminação por micotoxinas (Borreani e Tabacco, 2010).

Todos estes processos e a fermentação resultam em perdas de massa seca e qualidade nutricional, por isso, a ensilagem deve ser feita da melhor forma possível, a fim de minimizar tais perdas (Muck, 1988). O controle de todos esses aspectos é considerado passo fundamental para garantir eficiência e profissionalização ao processo de conservação de forragens (Reis et al., 2014). Contudo, a maior parte das propriedades produtoras de leite no Brasil, ainda carece de informações quanto as práticas produtivas ligadas à confecção e utilização de forragens conservadas. Desta forma, é de suma importância que a comunidade conheça quais são os manejos hoje utilizados por esses produtores e as barreiras encontradas por eles ao se produzir e utilizar silagens (Bernardes, 2012), a fim de melhor direcionar a transferência de tecnologia e a extensão rural.

Portanto, o estudo e o levantamento de informações ligadas a todas as etapas da produção da silagem de milho no Brasil contribui para definir ações que reduzam perdas e garantam uma melhor qualidade química e física das silagens fornecidas aos animais. O objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico da escolha do híbrido, manejo de lavoura, colheita, ensilagem, desensilagem e parâmetros de qualidade química e física das silagens de milho durante quatro anos nas regiões Centro Oriental Paranaense e Sul de São Paulo.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Local de avaliação

Durante o período de julho de 2015 a junho de 2019 foram visitadas 470 propriedades, em 36 municípios da região Centro Oriental Paranaense e sul de São Paulo, com maiores frequências para as cidades Carambeí (34%), Castro (33%) e Arapoti (7%).

Para a análise temporal dos dados, os silos avaliados de julho de 2015 a junho de 2016 foram considerados como ano de 2016, os silos avaliados de julho de 2016 a junho de 2017 foram considerados 2017, os de julho de 2017 a junho de 2018, foram

2018 e por fim, os avaliados em julho de 2018 a junho de 2019, foram considerados 2019.

Na Figura 1, está a distribuição dos 1.201 silos utilizados na alimentação dos animais, avaliados ao longo dos anos.

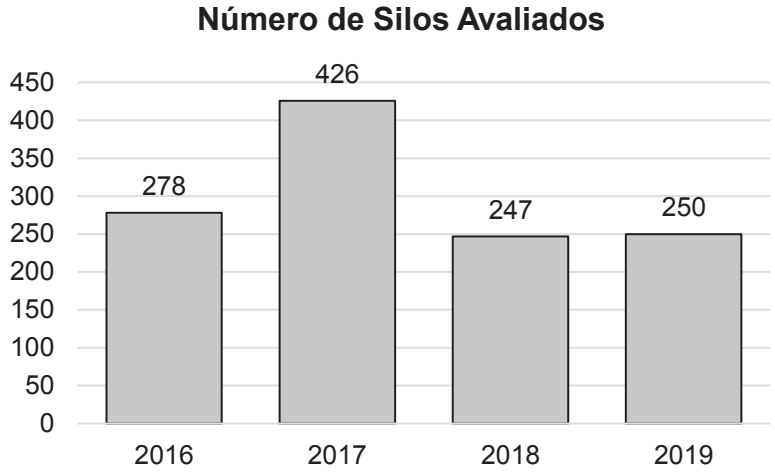


Figura 1. Distribuição do número de silos avaliados ao longo dos anos.

Todas as propriedades visitadas são associadas das cooperativas Capal, Frísia e Castrolanda, e juntas produzem em torno de 1.700.000 litros de leite por dia, com 70.000 vacas em lactação, produção de leite de 18 a 42 litros/vaca/dia e média de aproximadamente 24 litros/vaca/dia, sendo cerca de 25.000 hectares destinados à produção de silagem de milho por safra.

As propriedades foram selecionadas visando abranger a maior variabilidade em tamanho das áreas, manejo alimentar dos animais e sistemas de produção, em busca de resultados que explicassem todos os níveis tecnológicos.

3.2.2. Levantamento de dados

Em todos os silos foram coletados dados relativos aos processos que deram origem a silagem avaliada. Na Tabela 1 estão apresentadas todas as variáveis e suas possíveis respostas.

Tabela 1. Variáveis utilizadas no levantamento de dados e possíveis respostas.

Variável	Respostas		
Características Associadas aos Híbridos de Milho			
Híbrido	Nomenclatura do híbrido		
Stay Green	Sim	Não	
OGM[1]	Sim	Não	
Características Associadas a Lavoura e Colheita			
Fungicida	Sim	Não	
Colheita	Própria	Terceirizada	
Tipo Máquina	Tratorizada	Automotriz	
Marca Máquina	Nomenclatura da marca da máquina		
Características Associadas aos Silos			
Inoculante	Sim	Não	
Silo	Superfície	Trincheira	
Tipo de Lona	Branca-Preta	Preta	Outra
Cobertura	Terra	Nenhum	Outra
Desabastecimento	Concha	Desensiladeira	Garfo

[1]OGM: Organismo Geneticamente Modificado.

3.2.3. Coleta de amostras

As amostragens foram realizadas pelos técnicos das cooperativas responsáveis pela área da pecuária e nutrição dos animais de cada propriedade. Todos os avaliadores passaram por um treinamento prévio para padronização de metodologia.

Nos silos visitados foram coletadas amostras estratificadas em cinco pontos no painel de acordo com o tipo de silo: superfície (Figura 2) e trincheira (Figura 3).

Figura 2. Pontos avaliados em silo superfície.

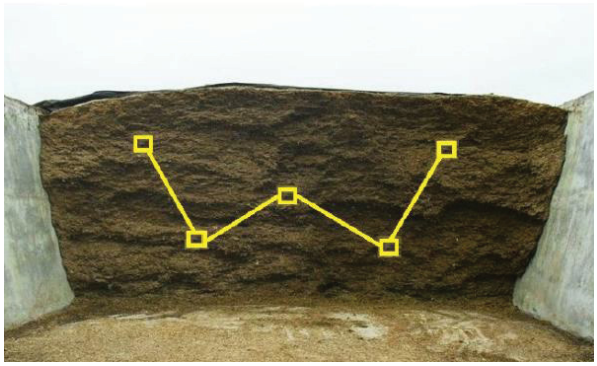


Figura 3. Pontos avaliados em silo trincheira.

As cinco subamostras foram depositadas em lona limpa, seca e posteriormente homogeneizadas. Para evitar a segregação dos grãos e das fibras, a amostra composta foi dividida em quatro partes iguais (Figura 4), descartado os dois quartos opostos (Figura 5), misturada novamente e quarteada mais uma vez.

Figura 4. Processo inicial para quarteamento da amostra.

Figura 5. Descarte dos dois quartos opostos.

Após esse processo, toda a silagem que restou foi colocada em saco plástico (aproximadamente 1 kg), identificada e envida ao abcLab (Castro, Paraná) para as análises.

A preferência era que a amostra chegasse ao laboratório no mesmo dia da coleta, mas como alguns municípios eram distantes, as amostras eram acondicionadas em geladeira por até 24 horas ou congeladas por até sete dias.

3.2.4. Tamanho de partículas

A distribuição e tamanho médio de partículas (TMP) foram determinados com uso das peneiras no modelo Penn State, que consistem em três peneiras com diâmetros de 19,0, 8,0 e 4,0 mm, mais uma caixa de fundo.

As peneiras foram empilhadas com a peneira de furos maiores em cima, seguida pela sequência de tamanho. Foram colocados 500 gramas de silagem fresca na peneira superior. Em uma superfície plana, as peneiras foram agitadas na mesma direção cinco vezes, posteriormente as peneiras foram giradas em um quarto de volta e o processo repetido por mais sete vezes, finalizando com um total de oito ciclos, totalizando 40 movimentos. A força e a frequência da agitação foram suficientes para a silagem deslizar sobre a superfície da peneira, permitindo que as partículas menores passassem pelos furos (Lammers et al., 1996). Depois de agitado, o material residual de cada peneira foi pesado separadamente e calculado a distribuição em porcentagem de cada peneira (Heinrichs, 2013).

Tabela 2. Recomendação da distribuição adequada do tamanho de partículas para silagem de milho (Heinrichs, 2013).

Peneira	Tamanho da Peneira	Distribuição Adequada
1	> 19 mm	3-8%
2	8 a 19 mm	45-65%
3	4 a 8 mm	40-30%
4	< 4 mm	<10%

3.2.5. Processamento de grãos (KPS)

Para determinação do KPS uma amostra de aproximadamente 300 g foi seca por no mínimo 18 horas à 60^{o}C em estufa de circulação de ar forçada (SS Scientific – S.S. Santana – Tecnologia Científica), a amostra seca foi transferida para o conjunto de peneiras de 19,0; 13,2; 9,5; 6,7; 4,75; 1,18 mm e o fundo e agitado por 10 minutos em agitador de peneiras.

Após a separação das partículas pelas peneiras, os resíduos das peneiras foram agrupados resultando em duas amostras, partículas maiores que 4,75 mm (>4,75 mm) e as menores que 4,75 mm (<4,75mm), cada amostra foi moída em moinho martelo, marca Peppink, modelo 200 AN, em peneira de 1 mm e determinado o amido de cada fração. O KPS foi definido pela porcentagem de amido que passa pela peneira de 4,75 mm em relação a porcentagem de amido retido na peneira de 4,75 mm e a porcentagem da fração de amostra que passou pela peneira de 4,75 mm (Mertens, 2005):

Cálculo Peneiras:

$$\% \text{ retido Peneiras} = (P3 - P2) \times P1 \times 100$$

Onde:

- P1: peso amostra úmida
- P2: peso das peneiras mais amostra após agitação (19,0 a 4,75 mm)
- P3: peso das peneiras mais amostra após agitação (Fundo)

$$KPS\ (\%) = \frac{(peneira\ fundo < 4{,}75mm\ X\ amido < 4{,}75mm)}{(peneira\ fundo < 4{,}75mm\ X\ amido < 4{,}75mm) + (amido > 4{,}75\ mm * (100 - peneira\ fundo < 4{,}75\ mm)} X\ 100$$

Na Tabela 3, está demonstrada a categorização do processamento de grãos definida pela metodologia do KPS.

Tabela 3. Categorização do processamento de grãos da silagem pela metodologia do KPS (Shinners e Holmes, 2013).

Categoria	**KPS (%)**
Ótimo	>70%
Bom	50 – 69%
Ruim	<50%

3.2.6. Amido

Para determinação do amido, as amostras permaneceram por no mínimo 18 horas à 60ºC em estufa de circulação de ar forçada (SS Scientific – S.S. Santana – Tecnologia Científica), em seguida foram moídas em moinho martelo, marca Peppink, modelo 200 AN, em peneira de 1 mm. Da amostra já moída e seca, foi pesado 1g em balança analítica (Ohaus Corporation, modelo AR2140) e transferido para tubo de ensaio de vidro com tampa, juntamente com 15 mL de solução tampão de acetato, mais 200 µL de cloreto de cálcio 0,2% e 100 µL da enzima Termamyl. A solução permaneceu em ebulição por 30 minutos. Posteriormente, foi retirada do banho fervente, e após resfriar foi adicionado 200 µL da enzima amiloglucosidase, passando para banho maria a 60ºC por 24 horas.

Passado este tempo, a amostra foi transferida para tubo de centrífuga (tubo Falcon) com tampa de 50 mL, centrifugado (4.000 rpm) por 2 minutos e coletado o sobrenadante em balão de 100 mL, processo repetido por três vezes. Terminada a centrifugação, o balão foi completado com água deionizada, homogeneizado e realizado as diluições (silagem e planta inteira 1:100 mL, grãos 1:200 mL).

Posteriormente, em tubo de ensaio foi colocado 2 mL de água, 2 mL da amostra diluída e 2 mL de glicose oxidase (reativo de GOD). Após 20 minutos à temperatura ambiente, foi realizada a leitura em espectofotômetro a 520 nm.

A curva foi desenvolvida utilizando glicose PA (pureza analítica) como padrão, nas concentrações de 6,25 a 50 mg L^{-1} (Demiate et al., 2001):

$$\text{Amido (\%)} = \frac{\text{(leitura em concentração x 1ª diluição x 2ª diluição)}}{\text{Peso amostra (g)}} \times 10.000$$

3.2.7. Análises em NIRS

Amostras permaneceram por no mínimo 18 horas à 60ºC em estufa de circulação de ar forçada (SS Scientific – S.S. Santana – Tecnologia Científica), em seguida foram moídas em moinho, marca Peppink, modelo 200 AN, em peneira de 1 mm.

Os teores de nutrientes foram analisados pela técnica da espectrofotometria de refletância no infravermelho proximal (NIRS), com equipamento da marca FOSS®

(XDS 2500), comprimento de onda 400-2500 nm, intervalo de dados espectrais 0,5 nm e calibração do laboratório holandês BLGG (Tabela 4). As variáveis analisadas foram: umidade final, fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), nutrientes digestíveis totais (NDT), valor relativo nutricional (VRN), amido, digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro (DIVFDN), liginina e digestibilidade do amido (DIVAMIDO).

Tabela 4. Regressão para a validação das curvas de calibração do laboratório BLGG e análises química do abcLab.

Nutriente	**R^2**
FDA	0,9391
FDN	0,9112
AMIDO	0,9905
DIVMO	0,9762
DIVFDN	0,8854
LIGNINA	0,7061

FDA: Fibra insolúvel em detergente ácido, FDN: Fibra insolúvel em detergente neutro, DIVMO: Digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica, DIVFDN: Digestibilidade *in vitro* da FDN.

A estimativa da produção de leite relativa ao consumo da silagem (kg T^{-1} MS) foi calculada através da planilha Milk 2006 da Universidade de Wisconsin (Shaver et al., 2006).

3.2.8. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas pelo programa SAS University Edition (2019). Foi realizada análise de correlação de Pearson (PROC CORR) e as correlações significativas ($P < 0,05$) e relevantes foram demonstradas. Para as variáveis qualitativas foi utilizado a estatística descritiva através do procedimento de frequências (PROC FREQ) em cada ano e demonstradas através de gráficos de colunas. Para as variáveis de qualidade química foi utilizado o gráfico BoxPlot para demonstração dos valores máximos, mínimos, médios, mediana e quartis.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Características Associadas aos Híbridos de Milho

Na Figura 6 está apresentada a distribuição das amostras por representatividade das empresas de sementes de híbridos de milho.

Foram utilizados 77 híbridos de 12 empresas. A Pioneer foi a com maior representatividade (27%), seguida da Dekalb (17%) e Syngenta (16%). No ano de 2011, na mesma região, a Pioneer representava 53% do mercado (Carvalho, 2013).

O ano de 2018 foi marcado pela fusão das grandes marcas de sementes de milho, desta forma, a maior participação do mercado foi da Bayer Monsanto (Dekalb, Agroeste e Agroceres) com 40%, seguido da Corteva (Pioneer e Brevant) com 31%, Syngenta (Syngenta e Nidera) com 18% e LongPing (Forseed e Morgan) com 7%.

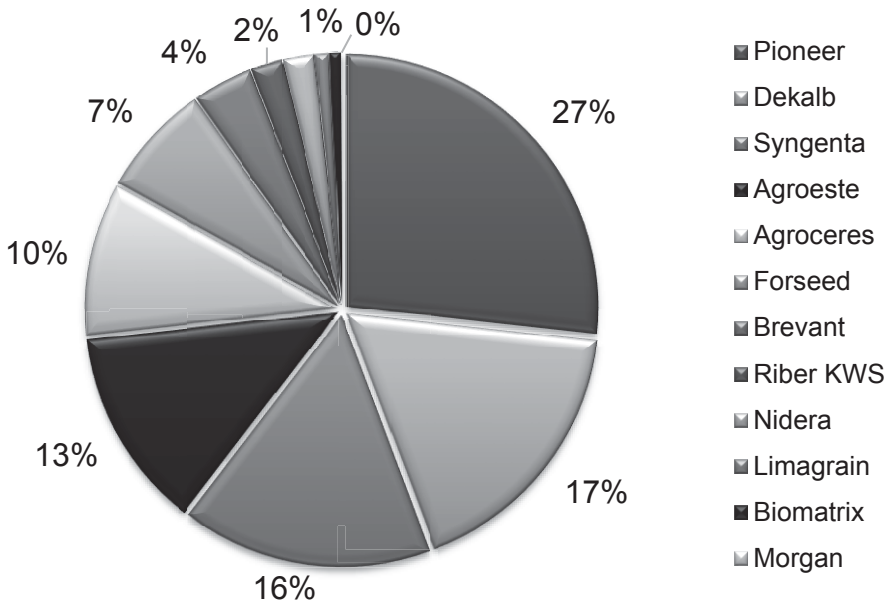


Figura 6. Distribuição por empresas de semente de híbridos de milho.

O processo de escolha do genótipo envolve a análise de vários fatores, em virtude da complexa interação genótipo/ambiente (Shioga et al., 2015). Já é consenso que genótipos respondem de forma diferenciada a distintas condições de ambiente, onde pode haver alteração na sua classificação de acordo com o local de cultivo. Isso indica que a recomendação de genótipos para utilização como silagem não pode ser generalizada (Mittelmann et. al., 2005). Assim, justifica-se a grande diversidade de

híbridos avaliados neste estudo, uma vez que a área de abrangência territorial das propriedades foi grande, com diferenças de ambientes, níveis tecnológicos, solos, características edafoclimáticas, além de fatores ligados ao mercado comercial, como marketing das empresas, preços e também o posicionamento da pesquisa e assistência técnica local.

De acordo com Pereira Filho et al. (2019), na safra 2019/2020, 196 genótipos de milho tinham sementes disponíveis no mercado, ou seja, o presente estudo, representou aproximadamente 40% do total de genótipos disponíveis, sendo que 66,8% dos genótipos comerciais eram OGM e 33,2% convencionais.

Na Figura 7 estão representados os dados da utilização de híbridos OGM para silagem, que foram a maioria desde o início das avaliações, representando 97% em 2016, 99% em 2017, 100% em 2018 e 99% em 2019.

No Brasil, a projeção é que 88,9% da área total de milho (grãos e silagem) semeada na safra 2019/2020 seja de híbridos OGM, e a tendência é que essa taxa se mantenha nesse patamar pelos próximos anos, uma vez que seu limite de adoção já foi atingido (Santos et al., 2019), considerando uma área de 10% de refúgio.

Neste estudo, as taxas de adoção de híbridos OGM estão além do limite preconizado, porém, os dados não representam área total e sim amostragens de silos.

Nos híbridos OGM, a tecnologia vem embutida na semente e sua grande utilização por parte dos produtores está ligada ao manejo da lavoura, podendo reduzir ou até mesmo dispensar a aplicação de inseticidas e minimizar as perdas em virtude dos danos das lagartas durante todo o ciclo da cultura. Alguns híbridos também possuem outras características específicas, como por exemplo, a tolerância a diferentes herbicidas (Cruz et al., 2011).

A utilização comercial destes milhos OGM no Brasil teve início na safra 2008/2009, aumentando sua utilização a cada ano. Na safra 2010/2011, os híbridos OGM representavam 60% da área total de milho plantada no Brasil (Santos et al., 2019), na região centro oriental paranaense, nesta mesma safra, a utilização de híbridos OGM na silagem foi de 41% (Carvalho, 2013).

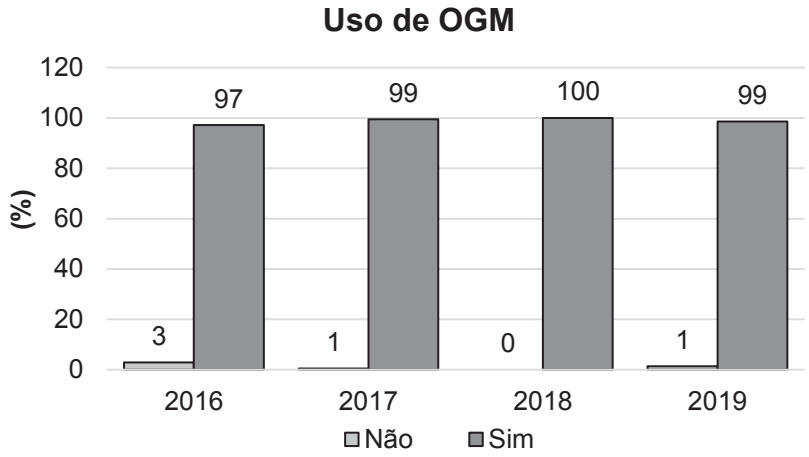


Figura 7. Distribuição da tecnologia utilizada ao longo dos anos nos híbridos de milho.

A utilização de híbridos com a característica de *stay green* cresceu ao longo dos quatro anos de avaliações, com participação de apenas 3% em 2016, aumentando para 17% em 2017, 33% em 2018 e 39% em 2019 (Figura 8). Esta pode ser uma característica favorável para a produção de silagem, uma vez que as plantas permanecem verdes por mais tempo durante o processo de enchimento dos grãos (Ueno e Souza Junior, 2015), aumentando amido e ampliando a janela de corte (Neumann et al., 2017). Existem diferentes graus de *stay green* entre os híbridos, desta forma, é importante observar com cautela a digestibilidade da fibra e do amido destes materiais, principalmente daqueles com essa característica mais acentuada.

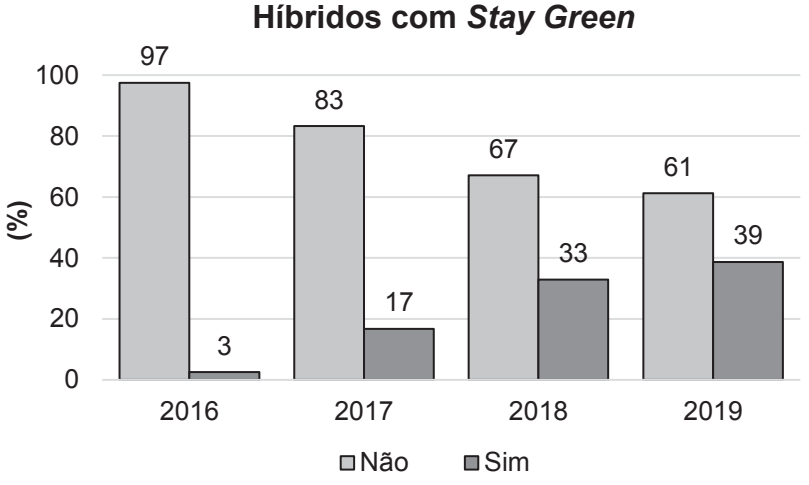


Figura 8. Distribuição da utilização de híbridos de milho com a característica de *stay green* ao longo dos anos.

3.3.2. Características Associadas a Lavoura e Colheita

Na Figura 9 está apresentada a distribuição das amostras de acordo com a utilização de fungicida na lavoura. Em 2016 pouco mais da metade das lavouras destinadas a silagem utilizavam fungicidas (55%), com o passar dos anos a utilização foi aumentando, passado para 65% em 2017, 72% em 2018 e 74% em 2019. Porém, estas informações não categorizam o número de aplicações, o estádio da cultura e os produtos utilizados.

Na mesma região de avaliação deste presente estudo, no ano de 2011, apenas 47% das lavouras destinadas a silagem realizaram aplicação de fungicidas (Carvalho, 2013). O uso de fungicidas na cultura de milho para silagem pode reduzir o conteúdo fibroso da planta (Kalebich et al., 2016) e melhorar a conversão alimentar de vacas em lactação, em relação a silagens não tratadas (Haerr et al., 2015).

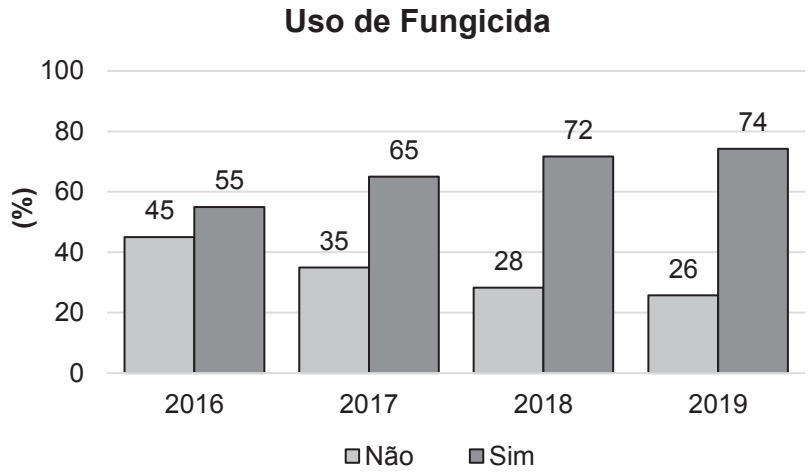


Figura 9. Distribuição da utilização de fungicida na lavoura ao longo dos anos.

No ano de 2016, a maioria das colheitas já foi realizada por serviços de terceirização (74%), passando para 75% em 2017, 82% em 2018 e 88% em 2019 (Figura 10). Há duas décadas, as fazendas na Europa estavam crescendo em tamanho e as operações contratadas estavam se tornando mais comuns (Muck e Shinners, 2001); da mesma forma, isso vem acontecendo no Brasil, com o crescente mercado de terceirização da colheita das silagens, o que possibilita aos produtores adquirirem serviços mais especializados. A alguns anos, em questionário aplicado em todas as regiões do Brasil, os dados eram bem diferentes, onde a maioria das

colheitas eram realizadas com equipamentos próprios e apenas 41,2% terceirizado (Bernardes e Rêgo, 2014). Na região deste presente estudo, com levantamento realizado em época semelhante ao questionário brasileiro geral, a terceirização já era responsável por 65% das colheitas (Carvalho, 2013).

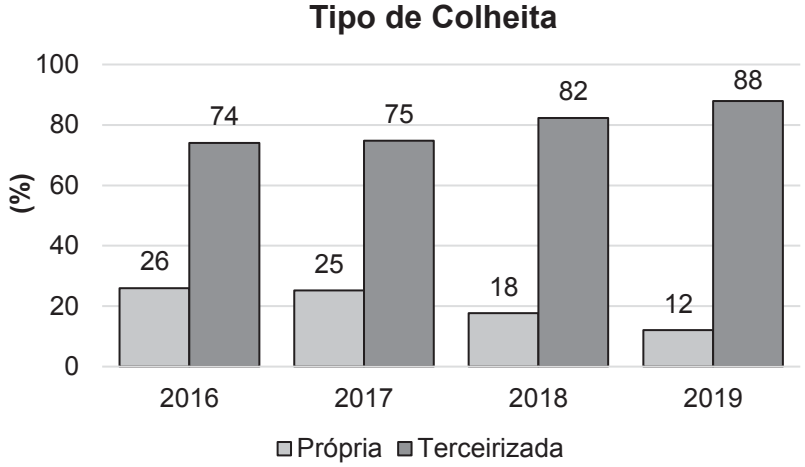


Figura 10. Distribuição do tipo de colheita realizada nas propriedades ao longo dos anos.

O tipo de máquina utilizada na colheita está relacionado com o serviço de terceirização. No ano de 2016, 73% das colheitas foram realizadas utilizando colhedora automotriz, e 69% em 2017, 79% em 2018 e 85% em 2019 (Figura 11).

A poucos anos atrás, a realidade geral brasileira era um pouco diferente, em 2012, 90,4% das colheitas ainda eram realizadas por máquinas tratorizadas. Quando essas propriedades foram separadas por grupos, aqueles pequenos produtores, ou seja, com uma menor tecnologia envolvida nos processos, 98,3% utilizavam máquinas tratorizadas para a colheita (Bernardes e Rêgo, 2014).

Com o aumento da terceirização da colheita em todas as regiões do Brasil, o uso de máquinas automotrizes cresceu significativamente (Daniel et al., 2019), na busca de maior eficiência de colheita e menor gasto relativo de combustível, com ganhos em velocidades operacionais e aumento na capacidade de produção (Ferraretto et al., 2017), fornecendo forragem mais uniforme e de qualidade superior. Porém, pela sua alta capacidade de colheita, podendo ser três a quatro vezes maior em relação a máquina tratorizada, a utilização das automotrizes em pequenas propriedades deve ser vista com atenção, pois a taxa de abastecimento do silo é muito

maior, desta forma, a estrutura de compactação e dimensionamento de silos deve estar bem estabelecida (Muck e Shinners, 2001).

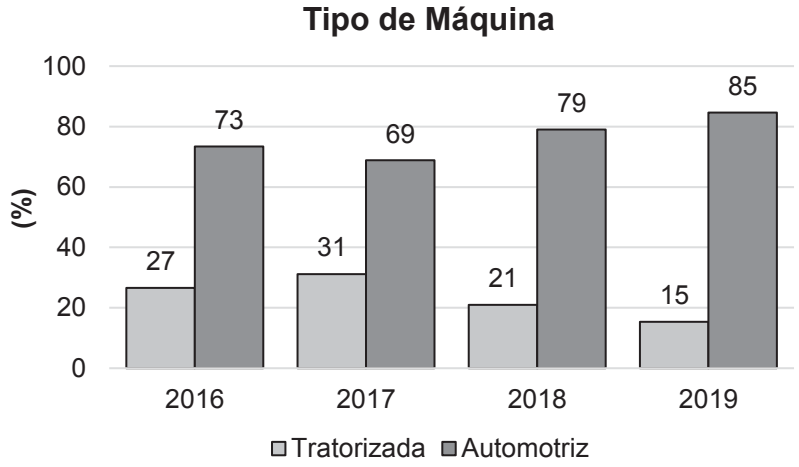


Figura 11. Distribuição do tipo de máquina utilizada na colheita ao longo dos anos.

A marca da máquina foi outro fator avaliado. Em 2016, a maior representatividade (25%) foi da marca New Holland; já em 2019, a marca John Deere foi a máquina com maior número de colheitas (25%) (Figura 12). As marcas Case, Ipacol, Jumil, Kemper, Maral, Menta, Pinheiro e Schemaq foram agrupadas no grupo “outro”.

Em questionário feito nos Estados Unidos, em 69 propriedades leiteiras, 61% das colheitas foram realizadas com a máquina Claas com o processador Shredlage e nenhuma colheita com máquina tratorizada (Salvati et al., 2014). No presente estudo não foi realizada diferenciação de processadores entre as marcas de máquinas automotrizes, porém nas máquinas tratorizadas nenhuma possuía sistema de processamento de grãos.

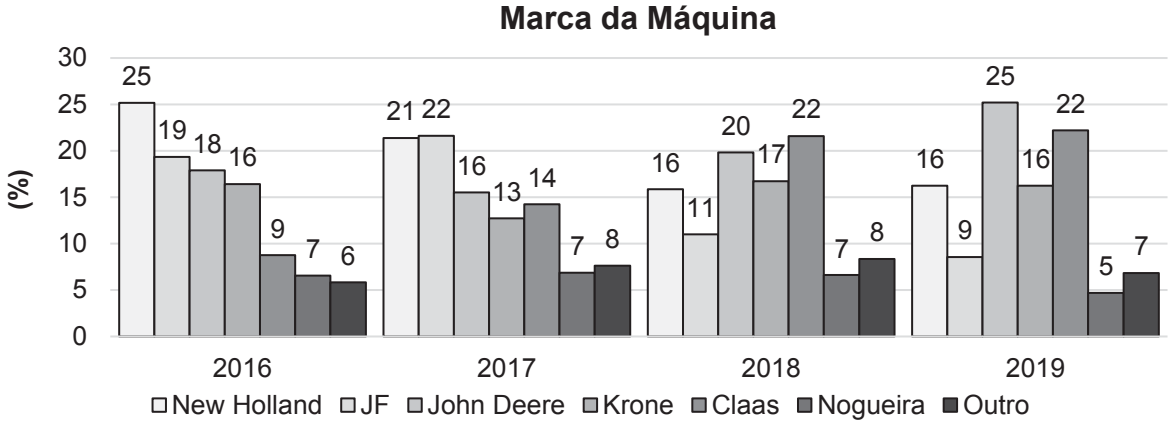


Figura 12. Distribuição da marca das máquinas utilizadas nas colheitas ao longo dos anos.

3.3.3. Características Associadas aos Silos

Na Figura 13 está apresentada a distribuição das amostras de acordo com a utilização de inoculante no momento da ensilagem. Em 2016, apenas 14% dos silos foram inoculados, reduzindo para 10% em 2017 e 7% nos anos de 2018 e 2019.

No ano de 2011, 19% das propriedades da região centro oriental paranaense utilizavam inoculante nas silagens de milho (Carvalho, 2013). Esses dados foram semelhantes ao levantamento feito no Brasil na mesma época, onde 27,7% das propriedades leiteiras utilizavam aditivos nas silagens (Bernardes e Rêgo, 2014).

Em outro levantamento realizado no Brasil, agora com a participação de mais silos do estado de Minas Gerais (75% das amostras), a utilização de aditivos na silagem de milho aumenta para 62,5% (Oliveira et al., 2017). Nos Estados Unidos, os dados são completamente diferentes do Brasil, onde 87% das silagens de milho são inoculadas (Salvati et al., 2014).

A baixa adesão por parte dos produtores está relacionada a grande capacidade de fermentação da planta de milho que, quando o manejo agronômico e a ensilagem são realizados dentro dos padrões aceitáveis de qualidade, dispensam o uso de aditivos. Ainda, a dificuldade de avaliar os benefícios do uso de aditivos à campo leva muitos produtores a descontinuar o uso desses produtos. Em alguns casos, porém, como condições de ambiente desfavorável, com colheita de plantas muito secas (>35% de MS), por exemplo, o uso de bactérias homo e

heterofermentativas podem otimizar o abaixamento do pH e aumentar a taxa de fermentação. O acompanhamento do processo pelo técnico ou responsável, o treinamento da equipe de campo e a correta distribuição do aditivo são cuidados para se assegurar o benefício esperado (Schmidt et al., 2014). Desta forma, o posicionamento para uso do inoculante específico para cada situação, espécie e manejo é muito importante para evitar frustrações e fomentar a continuidade do uso.

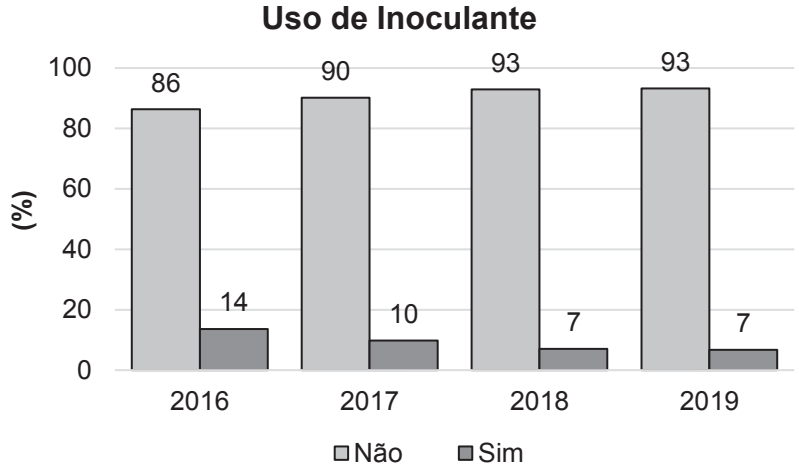


Figura 13. Distribuição da utilização de inoculante no momento da ensilagem ao longo dos anos.

A maior parte das silagens avaliadas neste trabalho foram armazenadas em silos do tipo trincheira (78%), sendo apenas 22% em silos de superfície (Figura 14). Esses dados são semelhantes aos do levantamento realizado na mesma região no ano de 2011, onde 25% dos silos eram superfície e 75% trincheira, sendo que 46% eram de trincheira de terra e 29% trincheira de concreto (Carvalho, 2013).

Nos Estados Unidos, 95% das silagens fornecidas as vacas leiteiras de fazendas avaliadas em Illinois (n = 1), Minnesota (n = 15) e Wisconsin (n = 53) eram do tipo trincheira ou superfície e apenas 5% armazenadas em *bags* (Salvati et al., 2014). Em levantamento realizado no Brasil, o cenário era semelhante, com 60,4% armazenado em trincheira, 38,1% em superfície e 1,5% em *bags* (Bernardes e Rêgo, 2014). Se o nível tecnológico da propriedade aumenta, a participação de silos trincheiras também aumenta (77,6%), sendo que a maioria das propriedades (79%) possuíam de um a quatro silos.

Os silos do tipo horizontal são os mais comuns em todo o mundo. As perdas durante o armazenamento e a qualidade da silagem são altamente dependentes do manejo adequado desses silos (Muck e Shinners, 2001). Em estudo realizado por Carvalho (2013), os silos tipo trincheira apresentaram menor ocorrência de perdas por camada deteriorada classificada como “alta” em relação aos silos superfície (1,23% x 14,81%, respectivamente).

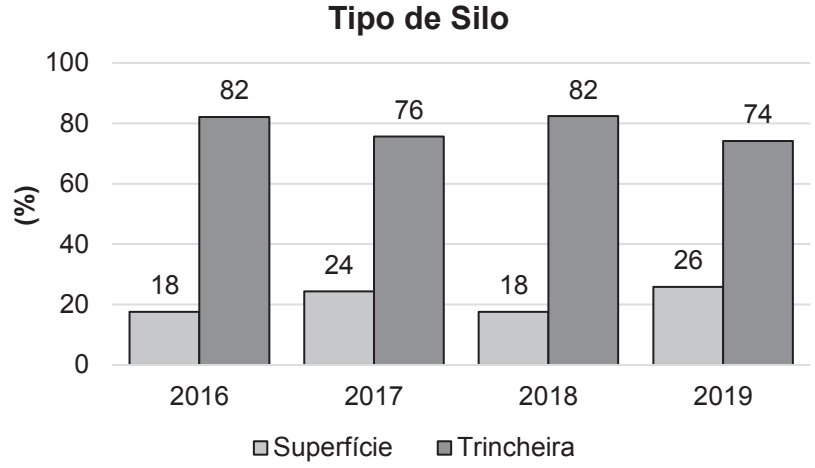


Figura 14. Tipo de silo utilizado para armazenamento das silagens longo dos anos.

O tipo da lona mais utilizada para cobrir os silos foi a branca-preta, com frequência de 88% em 2016, 96% em 2017 e 98% em 2018 e 2019 (Figura 15). Em 2011, nesta mesma região, a maior utilização era da lona preta, com 49%, seguida da branca-preta, com 39% (Carvalho, 2013).

No Brasil a lona dupla face branca-preta é a mais utilizada em relação as demais (77,7%), independentemente do nível de tecnológico da propriedade (Bernardes e Rêgo, 2014). Resultados que também concordam com outro levantamento realizado no Brasil, onde 59,4% das silagens eram vedadas com este mesmo tipo de lona (Oliveira et al., 2017).

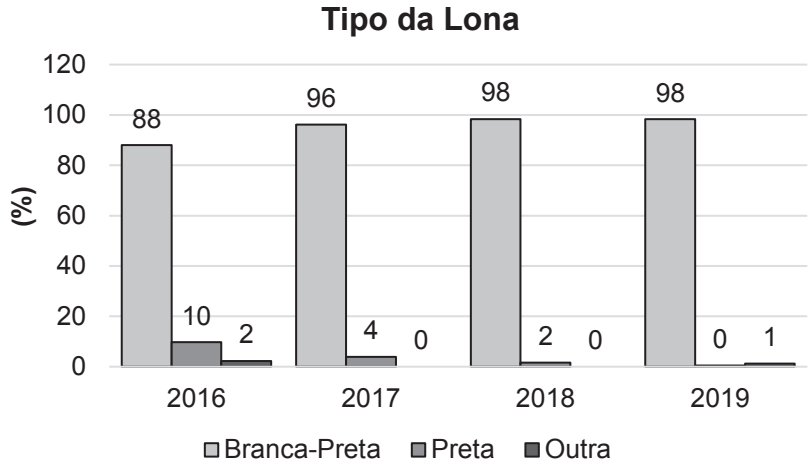


Figura 15. Tipo da lona utilizada nos silos ao longo dos anos.

Na Figura 16 está representada a frequência dos materiais utilizados sobre a lona para cobrir os silos. Em 2016, 81% dos silos eram cobertos com terra, 14% não tinham nenhuma cobertura e 5% outros materiais (sacos de areia, pneu, telhas...). Em 2019, 63% dos silos eram cobertos com terra, 23% não tinham nenhuma cobertura e 14% outros materiais. Imagina-se que a redução da utilização da terra e o aumento do número de silos sem nenhuma cobertura, seja devido ao aumento na utilização das películas de barreira de oxigênio por baixo da lona. Contudo, essa variável não foi avaliada.

Em levantamento online realizado em todo o Brasil, os resultados também apontaram a predominância da utilização de terra em cima da lona (69,2%), independe do nível tecnológico das propriedades (Bernardes e Rêgo, 2014). Da mesma forma, em outro levantamento realizado no Brasil, 59,4% dos silos eram cobertos com terra (Oliveira et al., 2017).

A utilização de terra aumenta a adesão da lona com a massa ensilada, diminui a incidência de raios solares e as trocas gasosas com o ambiente (Amaral, 2011), reduzindo a ocorrência de perdas por camada deteriorada (Carvalho, 2013). Porém, representa grande demanda de trabalho, durante a vedação e no desabastecimento do silo (Amaral, 2011).

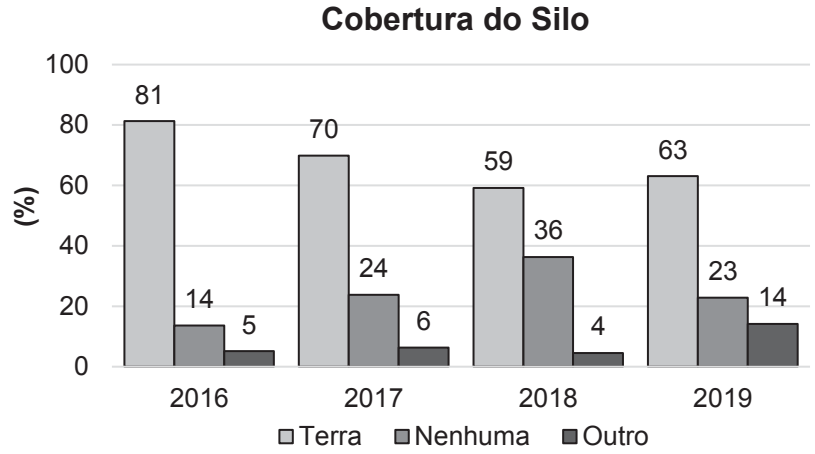


Figura 16. Material utilizado para cobertura dos silos ao longo dos anos.

Observando os dados de quais equipamentos são mais utilizados no desabastecimento dos silos, no ano de 2016, metade dos silos avaliados eram desabastecidos manualmente com o garfo (50%), 27% com desensiladeira e 23% com trator acoplado com concha/pá carregadeira. No ano de 2019, a proporção de utilização dos equipamentos ficou semelhante, sendo 34% dos silos desabastecidos com concha, 35% com desensiladeira e 31% com garfo manual (Figura 17), evidenciando o crescimento do uso de máquinas para desensilagem, principalmente nas grandes propriedades (Carvalho, 2013).

Em levantamento realizado no Brasil, apenas 15% dos silos eram desabastecidos por meio mecânico e 85% eram desabastecidos manualmente. Em propriedades pequenas, 100% dos silos eram desabastecidos manualmente. Quando a avaliação foi realizada em propriedades com nível tecnológico maior, 44,9% das propriedades utilizavam técnicas mecanizadas para desabastecimento (Bernardes e Rêgo, 2014).

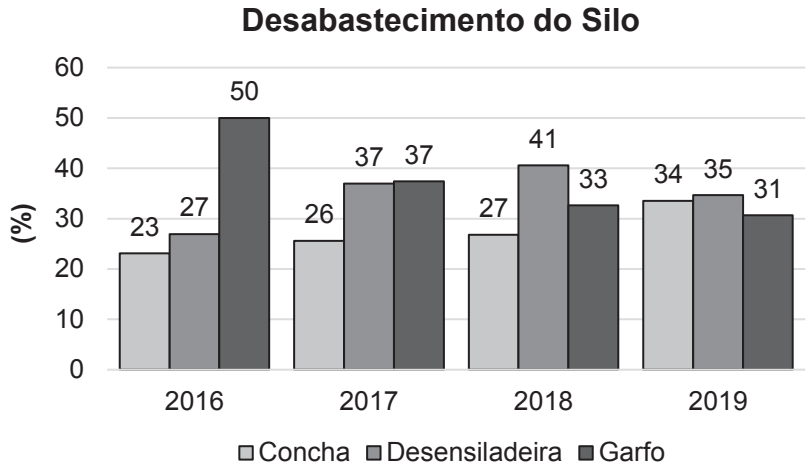


Figura 17. Distribuição do tipo de equipamento utilizado para o desabastecimento dos silos ao longo dos anos.

3.3.4. Características Químicas das Silagens Avaliadas

Matéria Seca:

Na Figura 18 está apresentada a distribuição das amostras por teor de matéria seca ao longo dos anos. Entre 2016 e 2019, a frequência de amostras que estavam dentro do teor de matéria seca adequado (30 a 35%) não tiveram grandes variações, com 55% em 2016, 57% em 2017, 52% em 2018 e 56% em 2019. Porém, a participação de amostras colhidas mais úmidas (< 30%) foi reduzindo ao longo dos anos, com 21% em 2016, 16% em 2017, 15% em 2018 e 8% em 2019.

O ponto de maturidade para colheita representa um aspecto importante de manejo, silagens muito úmidas (< 30%) favorecem a fermentação clostrídica e a produção de efluentes, reduzindo o valor nutricional da silagem (Muck et al., 2003).

Ainda na Figura 18, chama a atenção o aumento das silagens colhidas com teor de matéria seca entre 36 a 40%, com frequência de 17% em 2016, chegando a 29% em 2019. A busca por um maior valor energético das silagens, preconizando o acréscimo do teor de amido ($P < 0,0001$, r = 0,54), pode estar influenciando o aumento das silagens colhidas mais secas, porém, o correto teor de matéria seca é fundamental para manter o equilíbrio entre produção de massa, quantidade de amido dos grãos e qualidade de fermentação da forragem (Ashley, 2001). Silagens secas são mais porosas e mais susceptíveis à deterioração aeróbia, desenvolvimento de fungos,

leveduras e reação de Maillard (Muck et al., 2003), podendo comprometer a qualidade final da silagem.

Em meta-análise realizada por Ferraretto e Shaver (2012) foram categorizados 105 amostras de matéria seca de silagens planta inteira: 5% das amostras estavam com teor de matéria seca menor e/ou igual a 28%, 51% das amostras com matéria seca entre 28,1 – 36% e 44% das amostras com matéria seca maior que 36,1%. Esses dados são semelhantes aos encontrados neste presente estudo, no ano de 2019.

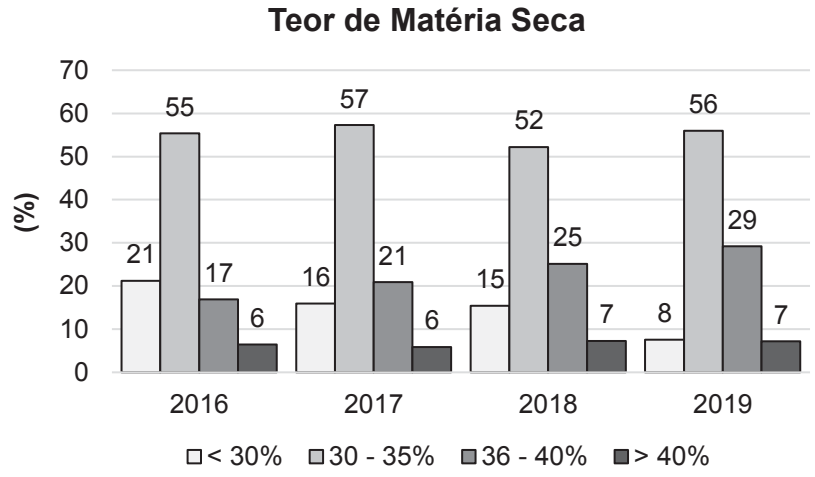


Figura 18. Distribuição do teor de matéria seca das amostras ao longo dos anos.

Na Figura 19 está apresentado o gráfico boxplot do teor de matéria seca das amostras ao longo dos anos. O teor médio de matéria seca do conjunto de dados foi semelhante durante os quatro anos, com 33% em 2016 e 2017 e 34% em 2018 e 2019, e desvio padrão de 4,2. A homogeneidade das amostras foi semelhante nos quatro anos, característica que é determinada avaliando o tamanho da caixa dos dados, que correspondem a 50% das amostras. Todos os anos tiveram amostras consideradas *outliers* pelo gráfico boxplot, sendo o menor teor de matéria seca encontrado no ano de 2016 (19%) e o maior no ano de 2019 (51%).

Em 327 amostras de silagem de milho planta inteira originadas de cinco regiões brasileiras, a variação dos teores de matéria seca foi de 148%, com valor mínimo de 19,8% e valor máximo de 49,1% (Novinski, 2013), dados muito próximos aos encontrados neste estudo. Dados igualmente próximos, foram observados nos Estados Unidos, em 32 amostras analisadas em laboratório comercial, com média de

34,7%, sendo o valor mínimo de 19,2% e valor máximo de 48,1% (Ferreira e Mertens, 2005).

Em avaliação realizada na mesma região do presente estudo, no ano de 2011, em 108 silos de fazendas comerciais, o valor mínimo de matéria seca foi de 23,8%, máximo de 47,0% e média de 31,1% (Carvalho, 2013). Ainda em avaliações com maior parte dos dados oriundos de fazendas comerciais, nos Estados Unidos as médias de matéria seca foram de 34,3%, com valor mínimo de 25,5% e máximo de 47,1% (Salvati et al., 2017).

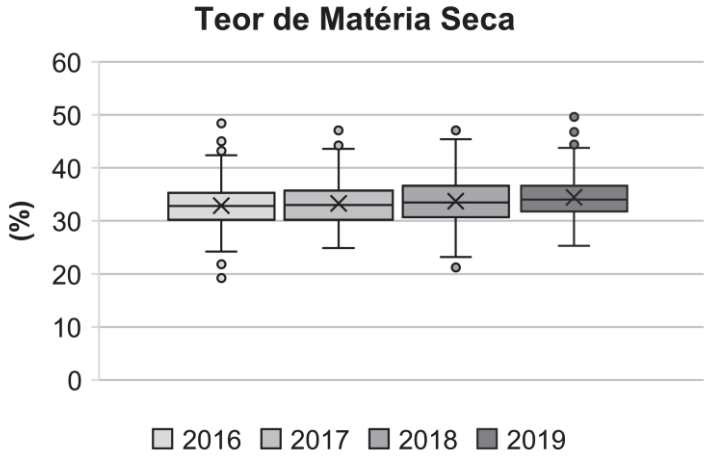


Figura 19. Gráfico BoxPlot do teor de matéria seca das amostras ao longo dos anos.

Variáveis relacionadas as fibras:

As médias de teor de FDN seguiram uma tendência de redução ao longo dos anos, com 43% em 2016, 41% em 2017 e 2018 e 40% em 2019. A menor variação de dados ocorreu no ano de 2018 e a maior variação em 2016. O desvio padrão de todas as amostras foi de 4,1 (Figura 20).

Em meta-análise realizada com 126 diferentes experimentos publicados ao redor do mundo, os valores médios de FDN em silagens de milho foram de 41,5%, com valor mínimo de 32,8% e máximo de 52,8% (Ferraretto e Shaver, 2015). Ebling e Kung Jr. (2004), comparando híbridos de milho para silagem de planta inteira sem a genética BMR e com o gene BMR, nos Estados Unidos, não encontraram diferenças nos teores de FDN, com médias de 41,6% e 41,8%, respectivamente. Estes dados

são semelhantes aos encontrados neste estudo, e menores do que os encontrados em estudos em diferentes regiões do Brasil, com média de 52,2% (Novinski, 2013), 50,3% (Oliveira et al., 2017) e 54,9% de FDN (Neumann et al., 2017).

O nível tecnológico das propriedades leiteiras pode afetar a porcentagem de FDN das silagens. Propriedades com maior tecnologia, tendem a ter menor FDN em relação a propriedades com menor tecnologia (Carvalho, 2013). Neste sentido, é possível identificar que os teores médios de FDN do presente estudo, são semelhantes a silagens de países considerados tecnificados nesta área, como por exemplo os Estados Unidos e Europa e diferentes de outras regiões brasileiras, caracterizando o grande potencial de produção de silagens de milho desta região.

A FDN é uma das variáveis mais importantes para gado de leite nutricionalmente falando, pois representa parte dos carboidratos de digestão lenta ou indigestível, sendo que teores elevados de FDN impõe limitações de consumo de matéria seca e energia para os ruminantes (Berchielli et al., 2006), sendo um fator de impacto nas dietas dos animais especializados, com alta produção leiteira, que necessitam ingerir grandes volumes energéticos diários.

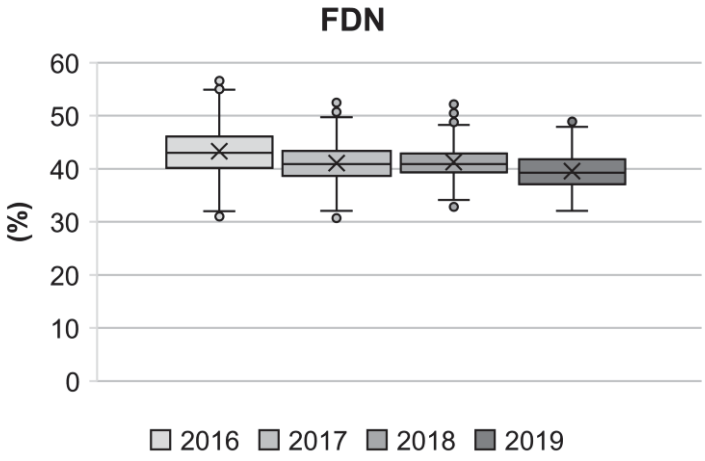


Figura 20. Gráfico BoxPlot do teor da FDN das amostras ao longo dos anos.

Da mesma forma que o FDN, as médias de FDA também seguiram uma tendência de redução ao longo dos anos, com média de 25% em 2016, 23% em 2017 e 2018 e 21% em 2019. A menor variação de dados ocorreu no ano de 2018 e a maior variação em 2016 (Figura 21).

Utilizando os mesmos trabalhos referenciados para os dados de FDN, o comportamento também foi semelhante para a FDA, sendo que na meta-análise com os experimentos publicados ao redor do mundo, os valores médios de FDA foram de 24,2%, com valor mínimo de 18,5% e máximo de 31,8% (Ferraretto e Shaver, 2015). Em híbrido sem a genética BMR e com o gene BMR nos Estados Unidos, não foram encontradas diferenças nos teores de FDA, com médias de 24,0% e 24,5%, respectivamente (Ebling e Kung Jr., 2004). Nas avaliações em diferentes regiões do Brasil, os valores médios de FDA foram de 26,3% (Novinski, 2013) e 28,8% de FDA (Neumann et al., 2017).

Semelhante ao comportamento do FDN, os teores de FDA deste presente estudo estão semelhantes os das silagens consideradas referências, com valores médios, máximos e mínimos muito próximos, determinando mais uma vez, a alta qualidade das silagens produzidas nesta região.

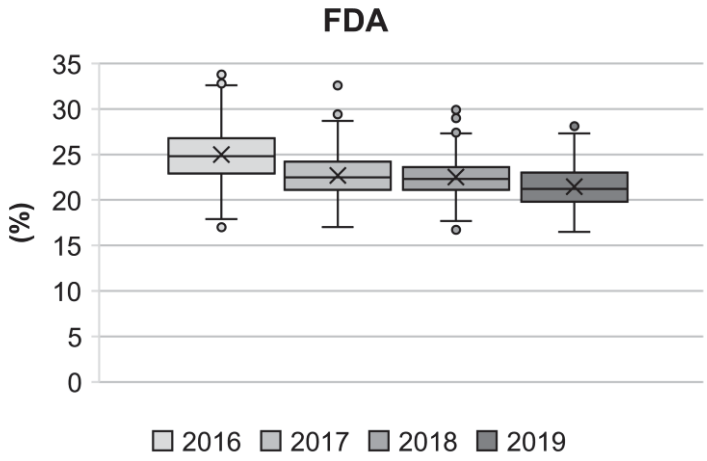


Figura 21. Gráfico BoxPlot do teor da FDA das amostras ao longo dos anos.

A lignina tem alta correlação com o FDN ($P < 0,0001$, r = 0,73) e FDA ($P < 0,0001$, r = 0,72), pois é um dos componentes destas duas variáveis, sendo assim, apresentou um comportamento semelhante, ou seja, tendência de redução nos valores ao longo dos anos, com média de 2,2% em 2016, 2,1% em 2017, 2,0% em 2018 e 1,9% em 2019 (Figura 22).

Em dados ao redor do mundo, a variação da porcentagem de lignina em silagens de milho planta inteira foi maior, com valor mínimo de 0,9%, máximo de 5,3%

e média de 2,6% (Ferraretto e Shaver, 2015). Valores maiores foram encontradas em avaliações realizadas em diferentes regiões brasileiras, com média de 4,0% de lignina (Novinski, 2013).

Para o fator lignina, quando a comparação é realizada entre híbrido sem a genética BMR e com o gene BMR nos Estados Unidos em mesma condição experimental, os valores de lignina são menores para o híbrido BMR (1,02 x 2,25%, respectivamente) (Ebling e Kung Jr., 2004).

No Brasil ainda não tem disponível comercialmente híbridos com a genética BMR, o que faz dessa variável um fator a ser melhor estudado no nosso pais, uma vez que o teor de lignina está relacionado diretamente à digestibilidade da fração fibrosa das silagens de milho ($P < 0,0001$, r = -0,48). Porém, alguns cuidados devem ser tomados no desenvolvimento das plantas com o gene BMR. Plantas que apresentam a síntese de lignina comprometida ou com composição alterada, podem perder as capacidades de suportar sua própria estrutura e a autodefesa contra pragas e doenças (Ribas, 2010).

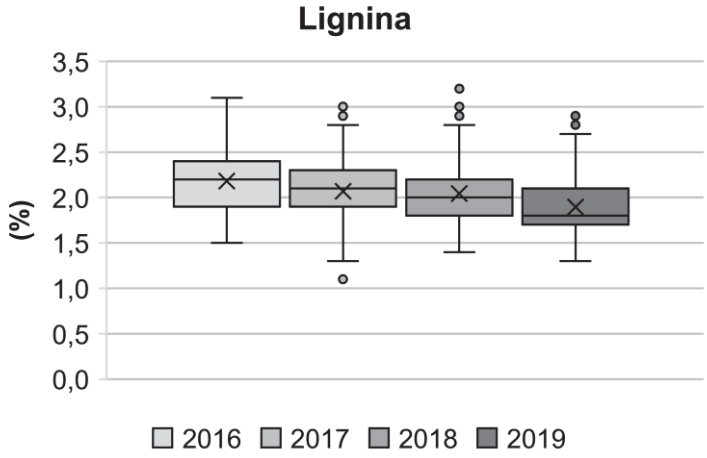


Figura 22. Gráfico BoxPlot do teor de lignina das amostras ao longo dos anos.

Ainda com variáveis relacionadas as fibras, a DIVFDN a partir de 2017 permaneceu constante, com média de 51% (Figura 23). Estes valores são superiores aos encontrados por Oliveira et al. (2017), que observaram valor mínimo de 24,9%, valor máximo de 60,6% e média de 40,7% para a DIVFDN. Já Ferraretto et al. (2015a) encontraram maiores DIVFDN em híbrido duplo-propósito (57,4%) e maior ainda para

híbrido com o gene BMR (67,5% de DIVFDN), semeados em mesmas condições experimentais nos Estados Unidos. Em meta-análise realizada com trabalhos publicados em todo o mundo, os valores médios de DIVFDN foram de 46,7% para híbridos convencionais e 58,1% para híbridos BMR (Ferraretto e Shaver, 2015).

Um dos pontos a ser questionado em relação a adoção de híbridos BMR, está em qual limite de aumento de digestibilidade pode ser alcançado, uma vez que este gene está relacionado ao acamamento e autodefesa da planta (Ribas, 2010), podendo também diminuir o rendimento de grãos e de folhas em comparação a híbridos sem este gene (Barrière e Argillier, 1993), porém, com o passar dos anos, o melhoramento genético já tem mostrados resultados de melhoria em relação a produtividade.

Além disso, por ser uma forrageira de maior fermentabilidade ruminal, a sua efetividade ruminal foi questionada, supondo que poderia ser fisicamente menos efetiva e estimular menos a ruminação, porém, quando comparado a concentrados, sua taxa de fermentabilidade é bem menor, desta forma sua degradação rápida, não causa problemas metabólicos (Zebeli et al., 2012), e aumenta a taxa de ingestão para vacas em lactação (Barrière e Argillier, 1993).

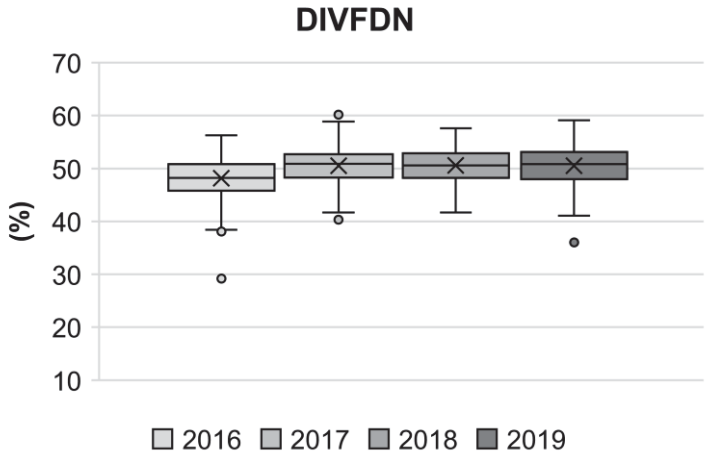


Figura 23. Gráfico BoxPlot da DIVFDN das amostras ao longo dos anos.

Variáveis energéticas:

Na Figura 24 está apresentado o gráfico boxplot do teor de amido das amostras ao longo dos anos. Como esperado, o teor de amido apresentou alta correlação negativa com os teores de fibras: FDN (*P < 0,0001*, r = -0,86) e FDA (*P <*

0,0001, r = -0,85), desta forma, o comportamento desta variável segue uma tendência oposta as fibras, ou seja, aumento ao longo dos anos, com média de 30% em 2016, 32% em 2017 e 2018 e 33% em 2019. A maior variação aconteceu no ano de 2016.

Dados semelhantes foram encontradas no ano de 2011 na mesma região de estudo, com médias de 33,2% de amido nas silagens (Carvalho, 2013). Em avaliações realizadas em diversas regiões do Brasil, as médias de amido foram 30,8%, com valor mínimo de 16,3% e máximo de 41,8% (Oliveira et al., 2017).

Em meta-análise realizada com trabalhos publicados ao redor do mundo, a média de amido encontrada nas silagens foi de 31,2%, com valor mínimo de 15,9% e máximo de 45,9% (Ferraretto e Shaver, 2015). Em levantamento realizado com dados de laboratório comercial nos Estados Unidos, as médias de porcentagem de amido nas silagens foram mais baixos (25,2% de amido), com valor mínimo de 12,2% e máximo de 36,2% (Ferreira e Mertens, 2005). Em estudo também realizado nos Estados Unidos, com 80 amostras e a grande maioria oriundas de fazendas comerciais, as médias foram de 33,6% de amido, valor mínimo de 17,1% e máximo de 42,6% (Salvati et al., 2017).

O amido das silagens apresenta alta correlação negativa com os teores de fibras, que no caso do presente estudo apresentaram valores baixos e comparáveis aos países com alta adoção de tecnologia. Dessa forma, os teores de amido das silagens de milho na região estudada apresentaram valores elevados, e semelhantes aos relatados em países de referência em silagens de alta qualidade.

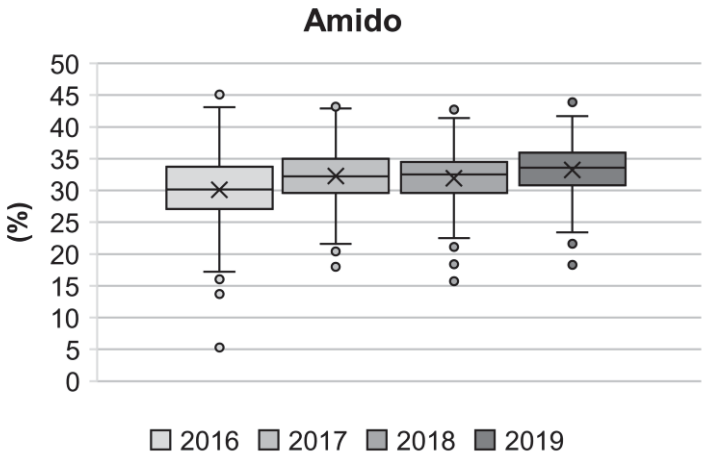


Figura 24. Gráfico BoxPlot do teor de amido das amostras ao longo dos anos.

Além do teor de amido das silagens, a digestibilidade deste nutriente é assunto de grande importância na nutrição de ruminantes. Na Figura 25 estão apresentados os dados da DIVAMIDO ao longo dos anos. As médias nos quatro anos foram semelhantes, com valores de 76% em 2016 e 2019 e 75% em 2017 e 2018.

Em experimento realizado nos Estados Unidos, a silagem de milho de planta inteira apresentou DIVAMIDO média de 75,4% (Ferraretto e Shaver, 2012a), muito próxima das obtidas neste estudo.

Uma das formas de melhorar a DIVAMIDO da silagem de milho é aumentar o tempo de fermentação, silagens com maior tempo de estocagem tendem a ter maior DIVAMIDO (Owens, 2008), além das propriedades físicas dos grãos (Ferreira e Mertens, 2005), que quando quebrados em partículas menores apresentam alto grau de degradação ruminal (Dias Junior et al., 2016), porém esta avaliação ocorreu com silagens secas e moídas em peneira a 1 mm, o que limita avaliações relacionadas a estas propriedades físicas.

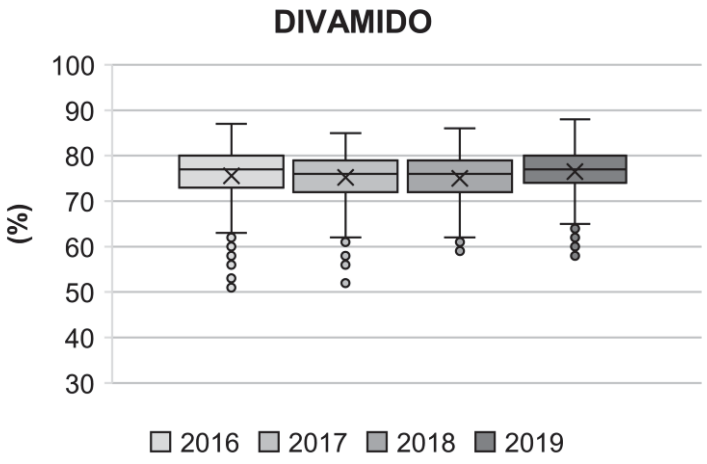


Figura 25. Gráfico BoxPlot da DIVAMIDO das amostras ao longo dos anos.

Os valores estimados de NDT apresentaram leve aumento ao longo dos anos, com média de 70% em 2016, 71% em 2017 e 2018 e 72% em 2019. O menor valor de NDT foi observado no ano de 2017 (64%) e o maior em 2016 (77%) (Figura 26).

Em dados de experimento realizado em Guarapuava, Paraná, os valores médios de NDT foram 67,4% (Neumann et al., 2017). Em dados coletados em várias regiões do Brasil, foram encontrados valores médios de 63,5% (Novinski, 2013) e

58,3% (Oliveira et al., 2017). Em dados da mesma região do presente estudo, mas no ano de 2011, os valores médios de NDT foram 70,1% (Carvalho, 2013).

Os NDT têm alta correlação negativa com as fibras: FDN (*P < 0,0001*, r = -0,93) e FDA (*P < 0,0001*, r = -0,90) e alta correlação positiva com o amido (*P < 0,0001*, r = 0,81), como estas variáveis já estão atingindo níveis satisfatórios de composição, os NDT estão próximos dos seus limites para silagens de milho.

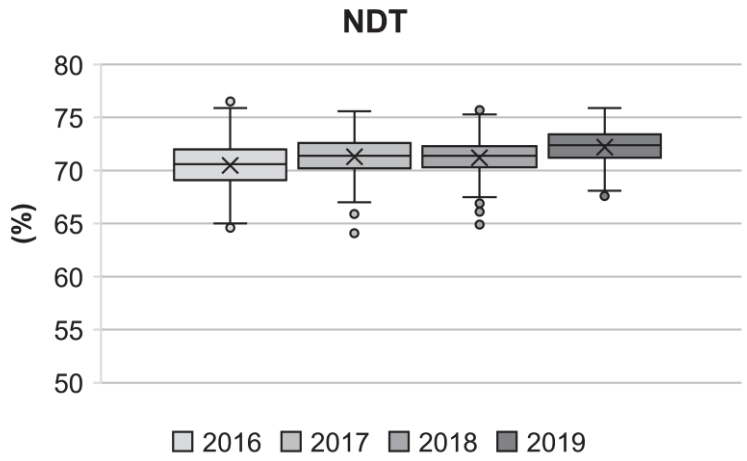


Figura 26. Gráfico BoxPlot dos teores de NDT das amostras ao longo dos anos.

Os dados da DIVMO das amostras ao longo dos anos estão apresentados na Figura 27. A variação dos dados para a DIVMO foi pequena e apenas quatro valores foram considerados *outliers* pelo gráfico boxplot. Os valores de DIVMO seguiram uma tendência de aumento durante os anos, com médias de 71% em 2016, 73% em 2017, 74% em 2018 e 75% em 2019.

Em estudo realizado nos Estados Unidos com híbrido de milho convencional, o valor médio da DIVMO das silagens planta inteira foi de 66,8% (Ferraretto e Shaver, 2015). A DIVMO está correlacionada com os NDT (*P < 0,0001*, r = 0,85) e muito próximos dos limites superiores para silagens de milho.

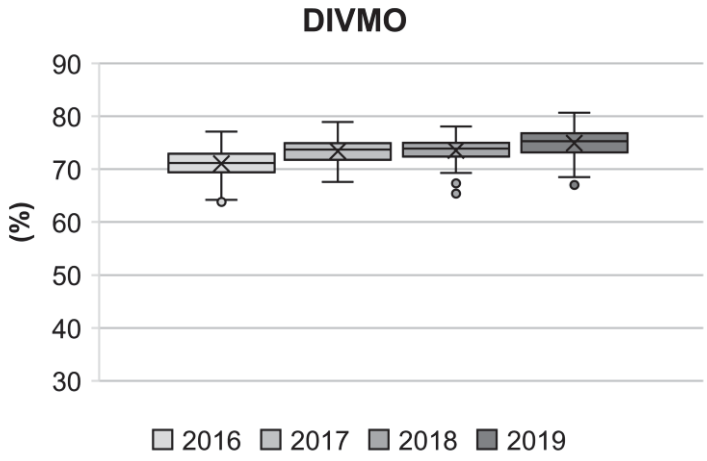


Figura 27. Gráfico BoxPlot da DIVMO das amostras ao longo dos anos.

Na Figura 28 estão apresentadas as produções estimadas de leite em função da qualidade das silagens, ao longo dos anos. O comportamento dessa variável foi semelhante ao do teor de amido (Figura 19), NDT (Figura 21) e DIVMO (Figura 22). Essas variáveis apresentaram alta correlação com a produção de leite estimada (*P < 0,0001*, r = 0,69; *P < 0,0001*, r = 0,84; *P < 0,0001*, r = 0,87, respectivamente). Desta forma, os resultados indicaram aumento nos valores de leite estimado ao longo dos anos, com média de 1.487 kg T^{-1} MS em 2016, 1.553 kg T^{-1} MS em 2017, 1.544 kg T^{-1} MS em 2018 e 1.576 kg T^{-1} MS em 2019. Em nenhum dos anos foram identificados *outliers* no limite superior, sendo que a maior variação foi no ano de 2016, com o menor valor (1.067 kg T^{-1} MS) e o maior (1.739 kg T^{-1} MS) encontrados.

Em avaliação realizada em diferentes regiões do Brasil, os valores de leite estimado encontrados foram menores do que os encontrados no presente estudo, com mínimo de 828 kg T^{-1} MS, máximo de 1.471 kg T^{-1} MS e média de 1.124 kg T^{-1} MS (Oliveira et al., 2017).

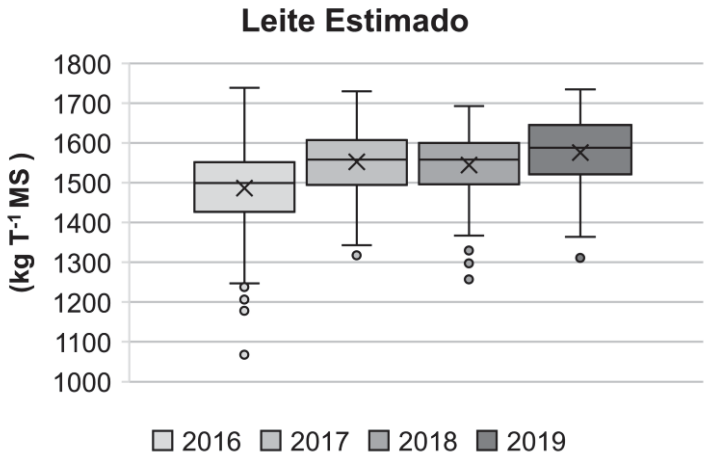


Figura 28. Gráfico BoxPlot da produção de leite estimada (kg T^{-1} MS) em função da qualidade das amostras de silagem ao longo dos anos.

Variáveis físicas das silagens:

Na Figura 29 está apresentado o gráfico boxplot da participação de partículas das silagens na peneira 1 (peneira que representa as partículas maiores de silagem, com tamanho > 19 mm). Ao longo dos anos, ocorreu redução da porcentagem de partículas retidas na peneira 1, em 2016 a média era de 8%, 2017 e 2018 com 7% e 2019 com 5%. Com o passar dos anos também houve redução na variabilidade dos dados. O valor máximo foi em 2016, com uma silagem com 37% das partículas na peneira 1, e os menores valores foram semelhantes nos quatro anos, com valores próximos a 1%.

Em estudo realizado nos Estados Unidos, a silagem colhida com máquina automotriz e processador de grãos tradicional, resultou em 5,6% das partículas retidas na peneira 1 (Ferraretto e Shaver, 2012a).

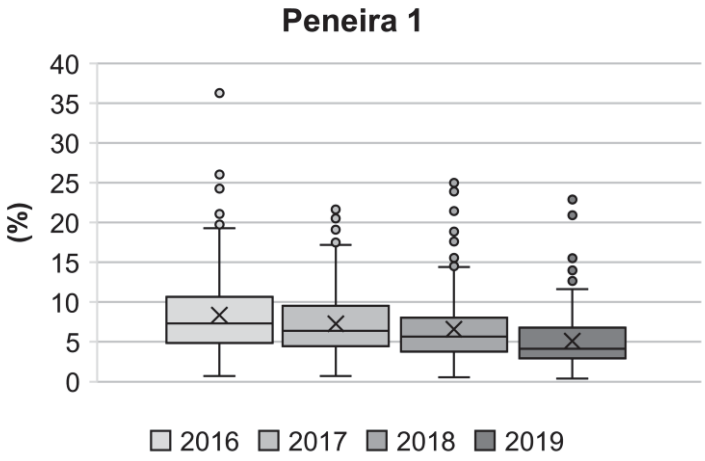


Figura 29. Gráfico BoxPlot da distribuição das partículas na peneira 1 ao longo dos anos.

Na peneira 2 (peneira que representa as partículas de 8 a 19 mm), a maior variação dos dados ocorreu no ano de 2017 e este mesmo ano, teve a amostra com a menor participação de partículas na peneira 2 (37%). As amostras mostram aumento na participação das partículas na peneira 2 no decorrer dos anos, com média de 67% em 2016, 66% em 2017 e 69% em 2018 e 2019. Os valores máximos ficaram semelhantes, com 85% nos anos de 2016, 2017 e 2018 e 82% em 2019, não resultando em *outliers* no limite superior (Figura 30). No mesmo estudo realizado nos Estados Unidos, onde 5,6% das partículas da silagem de milho ficaram retidas na peneira 1, 75,6% ficaram retidas na peneira 2 (Ferraretto e Shaver, 2012a).

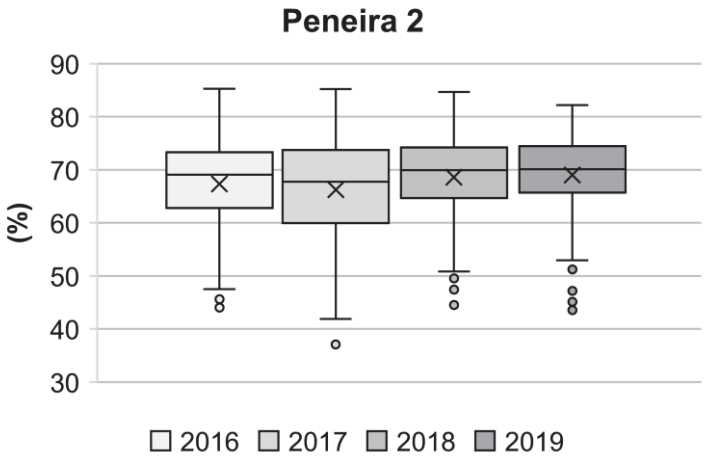


Figura 30. Gráfico BoxPlot da distribuição das partículas na peneira 2 ao longo dos anos.

O tamanho médio de partículas foi maior no ano de 2016 (10 mm) e estabilizou com 8 mm nos anos de 2017, 2018 e 2019. O maior valor foi no ano de 2016, com 15 mm e o menor em 2017 com 4,6 mm (Figura 31).

Em estudo realizado em 2011, na mesma região, o TMP foi de 9,6 mm (Carvalho, 2013). Em avaliação realizada em diversas regiões brasileiras, com 32 silagens, o TMP foi de 4,2 mm, com valor mínimo de 2,1 mm e máximo de 7,3 mm (Ferreira e Mertens, 2005). Nos Estados Unidos, o TMP encontrado por Salvati et al. (2017), com a maioria dos dados oriundos de fazendas comerciais, foi de 12 mm, com valor mínimo de 10,0 mm e máximo de 15,4 mm.

Os pontos relacionados ao tamanho de partículas e maquinários serão discutidos no próximo capítulo.

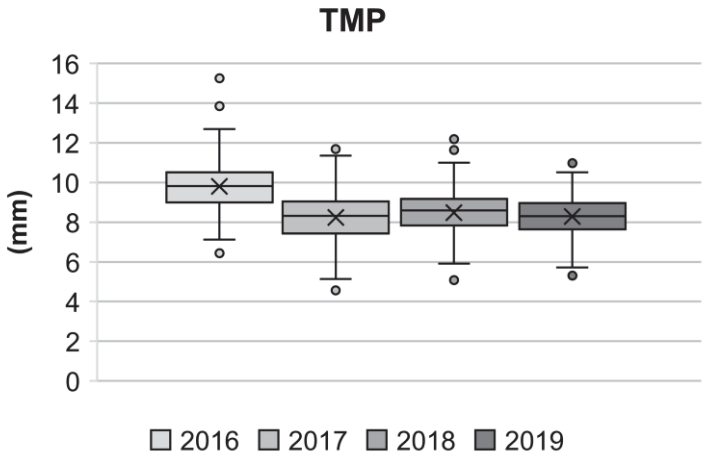


Figura 31. Gráfico BoxPlot da distribuição do tamanho médio de partículas das amostras ao longo dos anos.

Na Figura 32 está apresentado o gráfico boxplot do KPS das silagens. O ano de 2016 não apresentou nenhum valor *outlier* de acordo com a análise em boxplot, porém obteve a maior variação dos dados, com o menor valor (9%) e o maior valor (83%) encontrados. As médias apresentaram tendência de aumento no decorrer dos anos, com 44% em 2016, 46% em 2017, 50% em 2018 e 54% em 2019.

No Brasil, as médias de KPS analisadas pelo 3rLab em Minas Gerais foram de 51% em 2015 (Ramos, 2016) e no EsalqLab em São Paulo, as médias de KPS em 2017-2018 foram de 61% (Cassoli e Amaral, 2018).

No Canadá, no ano de 2013, 12% das amostras estavam acima de 70% de KPS (Pfister, 2014). Nos Estados Unidos, no laboratório da Pensilvânia, em 2013, a média de KPS foi de 64,6% com 36% das amostras acima de 70% (Shaver e Ferraretto, 2016). Ainda nos Estados Unidos, no laboratório de Wisconsin, em 2016, a média de KPS foi de 66,0% com valor mínimo de 55,5% (Goeser, 2017).

Em levantamento realizado nos Estados Unidos em 76 fazendas comerciais, as médias de KPS foram de 66,2%, com valor mínimo de 49,5% e valor máximo de 82,7% (Salvati et al., 2014).

Estes dados serão melhor discutidos no próximo Capítulo.

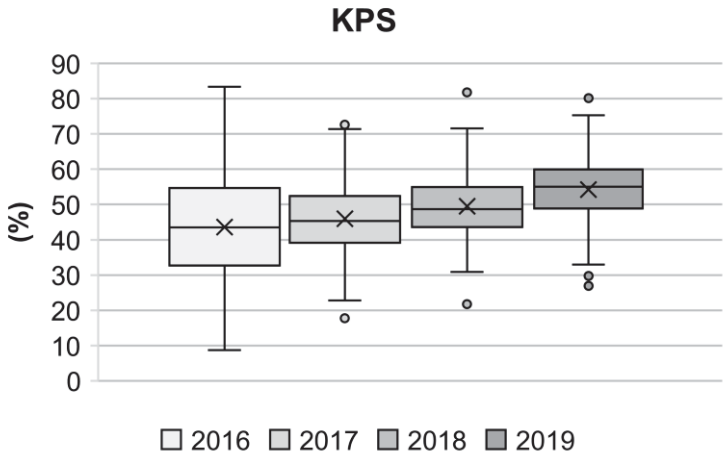


Figura 32. Gráfico BoxPlot da distribuição do KPS das amostras ao longo dos anos.

3.4. CONCLUSÕES

A utilização de fungicidas nas lavouras foi crescendo ao longo dos anos e o uso de inoculantes, mesmo baixo, reduziu com o passar dos anos. A prestação de serviços para colheita e ensilagem cresceu a cada ano junto com a utilização de máquinas automotrizes.

A maior parte dos silos foi colhida dentro do teor de matéria seca adequado, os teores de FDN, FDA e lignina reduziram e os teores de amido, NDT e leite estimado seguiram uma tendência de aumento ao longo dos anos. Estas variáveis relacionadas a composição química das silagens estão com os teores próximos a dados internacionais, de países referência.

A maior parte das propriedades da região de estudo utilizam alta tecnologia nas lavouras de milho e nos processos de ensilagem, resultando em um alimento de alta qualidade para ser fornecido aos animais. Porém, o processamento dos grãos (KPS) ainda deve ser melhorado, mesmo que tenha evoluído ao longo dos anos, ainda está longe da excelência.

3.5. REFERÊNCIAS

ALLEN , M.S.; COORS, J.G.; ROTH, G.W. Corn Silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Ed.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.547-608.

ASHLEY, R.O. Corn maturity and ensiling Corn. Dickinson: Dickinson Research **Extension Center**, 2001. Disponível em: < http://www.ag.ndsu.edu/archive/dickinso/agronomy/cornmaturity.htm> Acesso em: 04 fevereiro 2020.

AMARAL, R.C. do. **Estratégias de controle da deterioração aeróbia em silagem de milho e seu valor alimentício para vacas em lactação.** 2011. 175f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo – USP/Esalq, Piracicaba.

BARRIÈRE, Y.; ARGILLIER, O. Brown-midrib genes of maize: a review**. Agronomie**, v.13, p.865-876, 1993.

BERCHIELLI, T. T; PIRES, A. V e OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal, SP, 2006. 583p.

BERNARDES, T.F.; DANIEL, J.L.P.; ADESOGAN, A.L et. al. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of Dairy Science**, v.101, n.5, p. 4001–4019, 2018.

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

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.

CARVALHO, I.Q. de. **Tecnologia da produção de silagem de milho em sistemas de produção de leite.** 2013. 83f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá.

CASSOLI, L.D.; AMARAL, R.C. Raio X da qualidade da silagem de milho. **Milk Point**, 2018. Disponível em: < https://www.milkpoint.com.br/colunas/esalqlab/raio-x-da-qualidade-da-silagem-de-milho-207669/> Acesso em: 29 setembro 2019.

CRUZ, J.C.; MAGALHÂES, P.C.; PEREIRA FILHO, I.A et al. Milho: O produtor pergunta, a Embrapa responde. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, 2011. 16p.

DANIEL, J.L.P.; BERNARDES, T.F.; JOBIM, C.C. et. al. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. **Grass and Forage Science**, p. 1-13, 2019.

DEMIATE, I.M., KONKEL, F.E., PEDROSO, R.A. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de doce de leite pastoso – composição química. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n.1, p.108-114, 2001.

DIAS JUNIOR, G.S.; FERRARETTO, L.F.; SALVATI, G.G.S. et. al. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.99, n.4, p.2719-2729, 2016.

EBLING, T.L.; KUNG JR., L. A Comparison of Processed Conventional Corn Silage to Unprocessed and Processed Brown Midrib Corn Silage on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.8, p. 2519–2527, 2004.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D.; LUCK, B.D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. **Journal of Dairy Science**, v.101, n.5, p. 3937-3951, 2017.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.4, p. 2662-2675, 2015.

FERRARETTO, L.F.; CRUMP, P.M.; SHAVER, R.D. Effect of ensiling time and exogenous protease addition to wholeplant corn silage of various hybrids, maturities, and chop lengths on nitrogen fractions and ruminal in vitro starch digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.12, p. 8869-8881, 2015a

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, p. 141-149, 2012.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Effect of Corn Shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v.28, p. 639–647, 2012a.

FERREIRA, G.; MERTENS, D.R. Chemical and Physical Characteristics of Corn Silages and Their Effects on In Vitro Disappearance. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.12, p. 4414–4425, 2005.

GOESER, J. Corn Silage Kernel Processing Score (KPS) Guidelines and Benchmarks. **Rock River Laboratory**, 2017.

HAERR, K.J.; LOPES, N.M.; PEREIRA, M.N. et al. Corn silage from corn treated with foliar fungicide and performance of Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.12, p. 1-11, 2015.

HEINRICHS, J. The Penn State Particle Separator. **Penn State Cooperative Extension**, v.13, n.183, 2013.

KALEBICH, C.C.; WEATHERLY, M.E.; ROBINSON, K.N. et al. Foliar fungicide (pyraclostrobin) application effects on plant composition of a silage variety corn. **Animal Feed Science and Technology**, 2016.

KUNG JR, L.; MUCK, R. Silage harvesting and storage. In: LARGE DAIRY HERD MANAGEMENT, 3., 2017, Champaign, IL. **American Dairy Science Association (ADSA).** Champaign, 2017. p. 723-738.

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.

LUCK, B.; WILLETT, R.; DREWRY, J. **Monitoring kernel processing during harvest**. University of Wisconsin-Madison, 2019. Disponível em: https://www.canr.msu.edu/msu_agriculture_innovation_day/uploads/files/Kernel%20processing%20score%20final.pdf. Acesso em: 28 setembro 2019.

MERTENS, D.R. **Particle Size, Fragmentation Index, and Effective Fiber: Tools for Evaluating the Physical Attributes of Corn Silages**. Madison, 2005. Disponível em: http://www.whminer.org/pdfs/Mertens%20particle%20size%204%20state%202005.pdf. Acesso em: 28 setembro 2019.

MITTELMANN, A; SOUZA SOBRINHO, F.; OLIVEIRA, J. S. et al. Avaliação de híbridos comerciais de milho para utilização como silagem na Região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p. 684-690, 2005.

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.; SHINNERS, K.J. et al. Conserved forage (silage and hay): progress and priorities. **University of Wisconsin-Madison**, 2001. 32p.

MUCK, R.E. Factors influencing silage quality and their implications for management. **Journal of Dairy Science**, v.71, p. 2992–3002, 1988.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.

NEUMANN, M.; LEÃO, G.F.M.; COELHO, M.G. et al. Aspectos produtivos, nutricionais e bioeconômicos de híbridos de milho para produção de silagem. **Archivos de Zootecnia**, v.66, n.253, p. 51-58, 2017.

NOVINSKI, C.O. **Composição de micotoxinas e bromatologia de silagens de milho em silos de grande porte utilizando imagens em infravermelho.** 2013. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba.

OLIVEIRA, I.L.; LIMA, L.M.; CASAGRANDE, D.R. et al. Nutritive value of corn silage from intensive dairy farms in Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.46, n.6, p. 494-501, 2017.

OWENS, F. Corn Silage – Facts, Fantasies, and the Future. In: FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 1., 2008, Gainesville. **Proceedings...** Gainesville: Pioneer Hi-Bred International, 2008. 31p.

PEREIRA FILHO, A. I.; BRITO, S.; FAVARIN, A. Aplicativo Doutor Milho ganha podcast. **Embrapa Milho e Sorgo, 2019**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/48675766/aplicativo-doutor-milho-ganha-podcast> Acesso em: 19 dezembro 2019.

PFISTER, M. **Increase corn silage value with proper kernel processing**. 2014. Disponível em:< https://www.progressivedairycanada.com/topics/feed-nutrition/increase-corn-silage-value-with-proper-kernel-processing> Acesso em: 28 junho 2019.

RAMOS, M.H. Panorama da qualidade das silagens de milho no Brasil. **Revista Leite Integral**, 2016. Disponível em:< http://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/panorama-da-qualidade-das-silagens-de-milho-no-brasil> Acesso em: 29 junho 2019.

REIS, R.A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e gestão de recursos forrageiros**. Jaboticabal: FUNEP. 714p. 2014.

RIBAS, M.N. **Avaliação Agronômica E Nutricional De Híbridos De Sorgo Com Capim-Sudão, Normais E Mutantes BMR - Portadores De Nervura Marrom.** 2010. 140f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte.

SALVATI, G.G.S.; FERRARETTO, L.F.; DIAS JÚNIOR, G.S. et al. Survey of mean particle length in whole-plant corn silage. **American Registry of Professional Animal Scientists**, v.33, p. 708–715, 2017.

SALVATI, G.; SHAVER, R.; LIPPERT, M. et al. Corn Silage Processing: Dairy Farm Survey. **University of Wisconsin**, 14p. 2014.

SANTOS, D.; OLIVEIRA, E.; GASPARETTO, G. et al. Informativo de Biotecnologia Céleres®. **Céleres – your agribusiness intelligence, 2019.** Disponível em: < http://www.celeres.com.br/wp-content/uploads/2019/11/BoletimBiotecnologiaC%C3%A9leres_Novembro2019-2.pdf> Acesso em: 19 dezembro 2019.

SAVOIE, P.; JOFRIET, J.C. Silage Storage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Ed.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.405-467.

SCHMIDT, P.; SOUZA, C.M.; BACH, B.C. Uso estratégico de aditivos em silagens: Quando e como usar? In: JOBIM, C.C.; CECATO, U.; CANTO, M.W.; BANKUTI, F.I (eds.), Simpósio: produção e utilização de forragens conservadas, 5.ed., Maringá, 2014. **Anais...** Maringá: UEM, 2014. p.243-264.

SHAVER, R.D.; FERRARETTO, L.F. **Making Sense of Modern Feed Tests**. University Wisconsin - Dairy Science Department, 2016. Disponível em: < https://www.shaverlab.dysci.wisc.edu/> Acesso em: 29 junho 2019.

SHAVER, R.; HOFFMAN, P.; LAUER, J. et al. Milk 2006 for Corn Silage. **University of Wisconsin Corn Silage Evaluation System.** 2006.

SHINNERS, K.J.; HOLMES, B.J. Making Sure Your Kernel Processor Is Doing Its Job. **Focus on Forage**, v.15, n.4, 2013.

SHIOGA, P. S.; GERAGE, A. C.; ARAUJO, P. M. et. al. **Avaliação Estadual de Cultivares de Milho – Safra 2014/2015.** Londrina, 2015. 101p.

UENO, S.; SOUZA JUNIOR, C.L. Herança do caráter stay-green em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 8., 2015, Piracicaba. **Anais...** Goiânia: 2015.

ZEBELI, Q.; ASCHENBACH, J.R.; TAFAJ, M. et.al. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.95, n.3, p. 1041-1056, 2012.

4. CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO

CARACTERIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS DAS REGIÕES CENTRO ORIENTAL PARANAENSE E SUL DE SÃO PAULO

RESUMO

Grande parte dos nutrientes digestíveis totais das silagens de milho vem do amido, refletindo em altas taxas energéticas. Para as vacas digerirem eficientemente, os grãos devem ser processados e quebrados em pequenas frações. A técnica do KPS permite avaliar quantitativamente a extensão da fragmentação dos grãos como uma porcentagem do amido total da silagem de milho. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diversos aspectos de lavoura, colheita e ensilagem relacionados a quebra de grãos e a influência sobre esta variável em propriedades comerciais produtoras de leite. Durante o período de julho de 2015 a junho de 2019 foram visitadas 470 propriedades, em 36 municípios da região Centro Oriental Paranaense e sul de São Paulo. Foram avaliadas 1.201 amostras de silagem utilizadas na alimentação dos animais. Em todos os silos avaliados foi realizado levantamento de dados em relação aos processos de lavoura e colheita que deram origem a silagem avaliada. Foi determinado a composição química por NIRS, tamanho de partículas e processamento dos grãos. Na média 57% das silagens foram classificadas com processamento de grãos ruim, 41% bom e apenas 2% ótimo, o processamento dos grãos evolui ao longo dos anos e em 2019 o valor médio de KPS foi de 54%. As lavouras com aplicação de fungicida e os híbridos com *stay green* tiveram uma relação positiva com o KPS. Em média, as colheitas terceirizadas resultaram em maiores valores médios de KPS (48,5 versus 45,4%, respectivamente) em relação a lavouras com colheita própria, bem como as colheitas realizadas com máquinas automotrizes em relação a máquinas tratorizadas (48,5 versus 45,3%, respectivamente), porém colheitas próprias e com máquinas tratorizadas também conseguiram bons resultados absolutos. Todas as marcas de máquinas e prestadores de serviços foram capazes de processarem a silagem adequadamente. As características químicas da silagem mesmo que algumas significativas, resultaram em baixa correlação com o KPS, já o tamanho médio de partículas resultou em uma correlação negativa com o KPS ($P < 0,0001$ e r = -0,39), independentemente do tipo de máquina. Na análise de componentes principais o CP1 foi determinado como o componente da composição química e o CP2 ortogonal ao CP1 foi determinado pela composição física da silagem e parâmetros de colheita. Na árvore de decisão, a característica de *stay green*, marca da máquina e tipo de máquina foram as mais relevantes. Nenhuma das variáveis foi responsável sozinha por explicar toda a variância do KPS. O ótimo processamento de grãos é definido por uma série de estratégias conjuntas, como exemplo: a escolha do híbrido, práticas de colheita, tipo de máquina, marca da máquina, prestador de serviços e tamanho de partículas.

Palavras-chave: ensiladeira, ensilagem, silo, *stay green*, tamanho de partículas

CHARACTERIZATION AND DETERMINATION OF THE FACTORS THAT INFLUENCE THE KERNEL PROCESSING SCORE (KPS) OF THE SILAGES OF ORIENTAL CENTER OF PARANÁ AND SOUTHERN SÃO PAULO REGIONS

ABSTRACT

Much of the total digestible nutrients in corn silages comes from starch, reflecting high energy rates. For cows to digest it efficiently, grains must be processed and broken down into small fractions. The KPS technique allows to quantitatively assess the extent of kernel fragmentation as a percentage of total corn silage starch. The goal of this study was evaluate the influence of different aspects of farming, harvesting and ensiling related to grain breakage, and the factors related to this variable in commercial dairy farms. From July 2015 to June 2019, 470 farms were visited in 36 counties in the oriental center of *Paraná* and southern *São Paulo* regions. 1,201 silage samples used to feed the animals were evaluated. In all the evaluated silos, data were collected in relation to the tillage and harvesting processes that gave rise to the evaluated silage. Chemical composition (determined by NIRS), particle size and kernel processing were evaluated. On average, 57% of silages were classified as poor kernel processing, 41% as good and only 2% as optimal. The KPS has evolved over the years, and the average KPS value was 54% in 2019. Crops with fungicide application and hybrids with stay green had a positive correlation with KPS. On average, outsourced harvests resulted in higher average KPS values in relation to own harvest (48.5 versus 45.4%, respectively). The harvests carried out with self-propelled in relation to pull-type machinery presented the same pattern (48.5 versus 45.3%, respectively). However, own harvest and pull-type have also showed some good results. All brands of machines and service providers were able to process the silage properly. The chemical characteristics of the silage, although significant, resulted in a very low correlation with KPS. The mean particle size resulted in a negative and relatively strong correlation with KPS ($P < 0,0001$ and r = -0,39), regardless of the type of machine. In the principal component analysis, CP1 was determined as the chemical composition component and CP2 orthogonal to CP1 was determined by the physical composition of the silage and harvest parameters. In the decision tree, the stay green characteristic, machine brand and machine type were the most relevant. None of the variables was responsible for explaining the entire KPS variance. Optimal kernel processing is defined by a serie of joint strategies, such as the choice of hybrid, harvesting practices, machine type, machine brand, service provider and particle size.

Keywords: ensilage, forage harvester, ground silo, particle size, stay green

4.1. INTRODUÇÃO

A planta de milho é considerada padrão para fermentação, em virtude do teor de matéria seca (MS) apropriado, baixo poder tampão e o mínimo de 3% de carboidratos solúveis na matéria original (Nussio et al., 2001), que levam à fermentação láctica e favorecem a conservação (Weissbach e Honig, 1996; Allen et al., 2003; Oliveira et al., 2010), além do alto rendimento de massa seca por hectare e alta energia, juntamente com fibra fisicamente efetiva (Dias Junior et al., 2016; Ferraretto et al., 2017).

Na nutrição animal, a silagem de milho apresenta dois componentes distintos: a fração vegetativa, composta basicamente de carboidratos estruturais, e a fração granífera, representada principalmente pelo amido do endosperma (Ferreira, 2001). Estes componentes contêm variáveis proporções e diferem em características químicas e físicas (Mertens, 2005), porém grande parte dos nutrientes digestíveis totais vem do amido, refletindo nas altas taxas energéticas para a silagem de milho (Lopes et al., 2009).

A digestibilidade deste amido é afetada por propriedades físicas dos grãos (Ferreira e Mertens, 2005). Para as vacas digerirem eficientemente, os grãos devem ser processados e quebrados em pequenas frações (Shinners e Holmes, 2013). Grãos quebrados em partículas menores apresentam alto grau de degradação ruminal (Dias Junior et al., 2016). Neste pensamento, Ferreira e Mertens (2005), propuseram a técnica do KPS que permite avaliar quantitativamente a extensão da fragmentação dos grãos como uma porcentagem do amido total da silagem de milho.

Diferentes estratégias podem ser tomadas durante a colheita para garantir que a silagem de milho seja processada de maneira adequada (Luck et al., 2019), porém existe grande variabilidade de eficiência e desempenho na produção de silagem, pois atualmente existem vários tipos de máquinas, marcas e sistemas operacionais para colheita (Dias Junior, 2016).

Com o aumento da terceirização da colheita em todas as regiões do Brasil, o uso de máquinas automotrizes cresceu significativamente (Daniel et al., 2019), estas máquinas possuem processadores mecânicos conhecidos como “cracker”, que quebram os grãos e cortam o material à medida que ele passa (Eun et al., 2004), permitindo o ajuste do tamanho de partículas da parte vegetativa, mantendo o processamento dos grãos (Johnson et al., 1999).

Nas máquinas tratorizadas, o dano nos grãos é normalmente obtido por redução no tamanho de partículas, o que também reduz o FDN fisicamente efetivo da silagem (Dias Junior, 2016), geralmente resultando em partículas com menor uniformidade e maior proporção de grãos não processados (Daniel et al., 2019).

Estudos sugerem que o processamento mecânico dos grãos da silagem de milho aumenta a digestibilidade do amido (Dhiman et al., 2000), pode melhorar o desempenho da lactação e reduzir os custos de alimentação (Ferraretto e Shaver, 2012).

Portanto, caracterizar quais são os fatores que influenciam a quebra de grãos das silagens planta inteira são de fundamental importância para entender a dinâmica do processamento de grãos e identificar quais aspetos podem ser melhorados nas propriedades leiteiras comerciais. O objetivo deste estudo foi levantar dados e analisar de forma cientifica a influência de diversos aspectos de lavoura, colheita e ensilagem relacionados a quebra de grãos e a influência sobre esta variável em propriedades comerciais produtoras de leite.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Local de avaliação

Durante o período de julho de 2015 a junho de 2019 foram visitadas 470 propriedades, em 36 municípios da região Centro Oriental Paranaense e sul de São Paulo, com maiores frequências para as cidades Carambeí (34%), Castro (33%) e Arapoti (7%). Foram avaliados 1.201 silos utilizados na alimentação dos animais.

Todas as propriedades visitadas são associadas das cooperativas Capal, Frísia e Castrolanda, e juntas produzem em torno de 1.700.000 litros de leite por dia, com 70.000 vacas em lactação, produção de leite de 18 a 42 litros/vaca/dia e média de aproximadamente 24 litros/vaca/dia, sendo cerca de 25.000 hectares destinados à produção de silagem de milho por safra.

As propriedades foram selecionadas visando abranger a maior variabilidade em tamanho das áreas, manejo alimentar dos animais e sistemas de produção, em busca de resultados que explicassem todos os níveis tecnológicos.

4.2.2. Levantamento de dados

Em todos os silos foram coletados dados relativos aos processos que deram origem a silagem avaliada. Na Tabela 1 estão apresentadas todas as variáveis e suas possíveis respostas.

Tabela 1. Variáveis utilizadas no levantamento de dados e possíveis respostas.

Variável	**Respostas**	
Características Associadas aos Híbridos de Milho		
Stay Green	Sim	Não
OGM[1]	Sim	Não
Características Associadas a Lavoura e Colheita		
Fungicida	Sim	Não
Colheita	Própria	Terceirizada
Tipo Máquina	Tratorizada	Automotriz
Marca Máquina	Nomenclatura da marca da máquina	
Prestador de Serviço	Nomenclatura dos prestadores de serviços	

[1]OGM: Organismo Geneticamente Modificado.

4.2.3. Coleta de amostras

As amostragens foram realizadas pelos técnicos das cooperativas responsáveis pela área da pecuária e nutrição dos animais de cada propriedade. Todos os avaliadores passaram por um treinamento prévio para padronização de metodologia.

Nos silos visitados foram coletadas amostras estratificadas em cinco pontos no painel de acordo com o tipo de silo, demonstrado nas Figuras 2 e 3 do Capítulo I.

As cinco subamostras foram depositadas em lona limpa, seca e posteriormente homogeneizadas. Para evitar a segregação dos grãos e das fibras, a amostra composta foi dividida em quatro partes iguais, descartado os dois quartos opostos, misturada novamente e quarteada mais uma vez, também como demonstrado nas Figuras 4 e 5 do Capítulo I.

Após esse processo, toda a silagem que restou foi colocada em saco plástico (aproximadamente 1 kg), identificada e envida ao abcLab (Castro, Paraná) para as análises.

A preferência era que a amostra chegasse ao laboratório no mesmo dia da coleta, mas como alguns municípios eram distantes, as amostras eram acondicionadas em geladeira por até 24 horas ou congeladas por até sete dias.

4.2.4. Tamanho de partículas

A distribuição e tamanho médio de partículas (TMP) foram determinados com uso das peneiras no modelo Penn State, que consistem em três peneiras com diâmetros de 19,0, 8,0 e 4,0 mm, mais uma caixa de fundo (Lammers et al., 1996), como descrito no Capítulo I, item 3.2.4.

Tabela 2. Recomendação da distribuição adequada do tamanho de partículas para silagem de milho (Heinrichs, 2013).

Peneira	Tamanho da Peneira	Distribuição Adequada
1	> 19 mm	3-8%
2	8 a 19 mm	45-65%
3	4 a 8 mm	40-30%
4	< 4 mm	<10%

4.2.5. Processamento de grãos (KPS)

Para determinação do KPS uma amostra de aproximadamente 300 g foi seca por no mínimo 18 horas à 60^{o}C em estufa de circulação de ar forçada (SS Scientific – S.S. Santana – Tecnologia Científica), a amostra seca foi transferida para o conjunto de peneiras de 19,0; 13,2; 9,5; 6,7; 4,75; 1,18 mm e o fundo e agitado por 10 minutos em agitador de peneiras.

Após a separação das partículas pelas peneiras, os resíduos das peneiras foram agrupados resultando em duas amostras, partículas maiores que 4,75 mm (>4,75 mm) e as menores que 4,75 mm (<4,75mm), cada amostra foi moída em

moinho martelo, marca Peppink, modelo 200 AN, em peneira de 1 mm e determinado o amido de cada fração. O KPS foi definido pela porcentagem de amido que passa pela peneira de 4,75 mm em relação a porcentagem de amido retido na peneira de 4,75 mm e a porcentagem da fração de amostra que passou pela peneira de 4,75 mm (Mertens, 2005):

Cálculo Peneiras:

% retido Peneiras = (P3 - P2) x P1 x 100

Onde:

- P1: peso amostra úmida
- P2: peso das peneiras mais amostra após agitação (19,0 a 4,75 mm)
- P3: peso das peneiras mais amostra após agitação (Fundo)

$$KPS\ (\%) = \frac{(peneira\ fundo < 4{,}75mm\ X\ amido < 4{,}75mm)}{(peneira\ fundo < 4{,}75mm\ X\ amido < 4{,}75mm) + (amido > 4{,}75\ mm * (100 - peneira\ fundo < 4{,}75\ mm)} X\ 100$$

Análise de amido foi determinada pela metodologia enzimática, descrita por Demiate et al. (2001) e detalhada no Capítulo I, item 3.2.6.

Na Tabela 3, está demonstrada a categorização do processamento de grãos definida pela metodologia do KPS.

Tabela 3. Categorização do processamento de grãos da silagem pela metodologia do KPS (Shinners e Holmes, 2013).

Categoria	**KPS (%)**
Ótimo	>70%
Bom	50 – 69%
Ruim	<50%

4.2.6. Análises em NIRS

As amostras permaneceram por no mínimo 18 horas à 60ºC em estufa de circulação de ar forçada (SS Scientific, SS Santana, Tecnologia Científica), em seguida foram moídas em moinho, marca Peppink, modelo 200 AN, em peneira de 1 mm.

Os teores de nutrientes foram analisados pela técnica da espectrofotometria de refletância no infravermelho proximal (NIRS), com equipamento da marca FOSS® (XDS 2500), comprimento de onda 400-2500 nm, intervalo de dados espectrais 0,5 nm e calibração do laboratório holandês BLGG. As variáveis analisadas foram: umidade final, fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), nutrientes digestíveis totais (NDT), valor relativo nutricional (VRN), amido, digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro (DIVFDN), lignina e digestibilidade do amido (DIVAMIDO). As equações de validação das curvas estão descritas no Capítulo I, item 3.6.7, Tabela 4.

A estimativa da produção de leite relativa ao consumo da silagem (kg T^{-1} MS) foi calculado através da planilha Milk 2006 da Universidade de Wisconsin (Shaver et al., 2006).

4.2.7. Análise estatística

As primeiras análises estatísticas foram realizadas pelo programa SAS University Edition (2019). Para as variáveis qualitativas foi realizada uma análise qui-quadrado de independência (PROC FREQ/CHISQ) com a variável resposta KPS categorizada (Ruim, Bom e Ótimo). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando houve significância ($P < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey-Kramer para dados não balanceados a 5% de probabilidade (PROC GLM). Para as variáveis quantitativas foi realizada análise de correlação de Pearson (PROC CORR). Também foi realizada análise de componentes principais (PROC PRINCOMP) e para a confecção deste gráfico o programa JMP Statistical Discovery From SAS. A análise da árvore de decisão foi realizada pelo Software RStudio, com os pacotes rpart e rpart.plot.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Caracterização do processamento dos grãos (KPS)

Na Figura 1 é possível observar o histograma de distribuição das silagens de acordo com os resultados de KPS. A distribuição seguiu a normalidade e a grande maioria apresentou valores entre 30 e 59,99% de KPS (79% dos dados).

Em um conjunto de 1.862 amostras do Laboratório Dairyland, com porcentagem de matéria seca maior que 32%, 19,9% das amostras possuíam KPS abaixo de 50%, 61,7% entre 50-70% de KPS e 18,4% valores maiores que 70% de KPS (Shaver e Ferraretto, 2016).

Em dois estudos com amostras oriundas de colheitas realizadas com máquinas automotrizes, nenhuma silagem apresentou resultados abaixo de 50% de KPS. Na avaliação do processamento de grãos com híbridos BMR, a maior parte das amostras ficou distribuída entre 61 e 65% de KPS (Vanderwerff et al., 2015). Já no levantamento em fazendas comerciais dos Estados Unidos, 37% das amostras ficaram na faixa de 70% de KPS, seguido de 24% das amostras na faixa de 65% KPS e 17% das amostras com 75% de KPS (Salvati et al., 2014).

A comparação dos dados do presente estudo com levantamentos internacionais permite afirmar que, mesmo na região de maior adoção de tecnologia do Brasil, muitas fazendas ainda produzem silagens com processamento inadequado dos grãos.

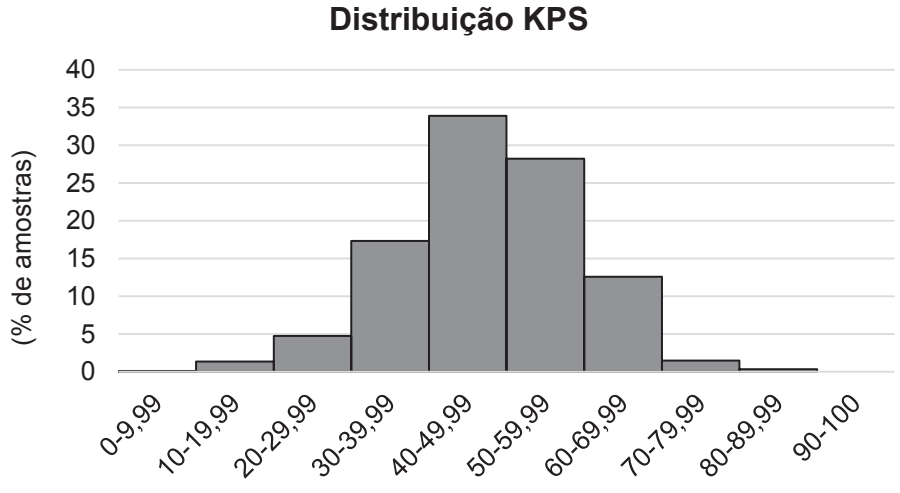


Figura 1. Histograma dos valores de KPS dos silos avaliados.

Quando estes dados são separados pelas classes de KPS (ruim, bom e ótimo), 57% das silagens foram classificadas com processamento de grãos ruim, 41% bom e apenas 2% ótimo (Figura 2).

No estado de Wisconsin (EUA), 15% das silagens apresentaram processamento (KPS) ruim, 68% bom e 17% ótimo (Shaver e Ferraretto, 2016). Já na Pensilvânia, 42% foram ruins, 51% bons e apenas 7% apresentaram KPS ótimo (Shaver e Ferraretto, 2016). No Canadá, 23% apresentaram processamento ruim, 65% bom e 12% ótimo (Pfister, 2014). Esses dados mostram que o processamento dos grãos é um desafio até mesmo para países com maior adoção de tecnologia e mais tempo de pesquisas na área.

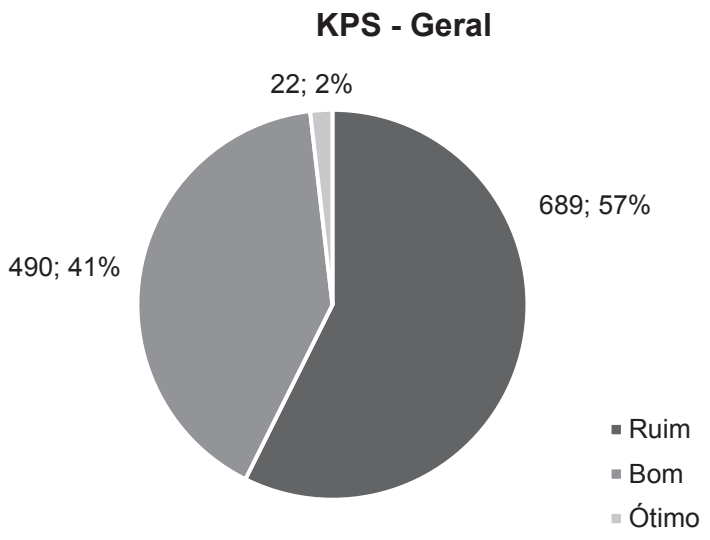


Figura 2. Distribuição de todos os valores de KPS dentro das classes.

Ao redor do mundo, nos anos 90, avaliações em relação ao processamento dos grãos já eram realizadas em países da Europa e se popularizaram nos Estados Unidos por volta dos anos 2000 (Dhiman et al., 2000). No Brasil, o início das avaliações de KPS foi recente e poucos laboratórios fazem esta análise. Na região de estudo, os primeiros levantamentos foram realizados no ano de 2016, sendo uma das pioneiras no Brasil a trabalhar de maneira efetiva no processamento dos grãos.

Mesmo com apenas 2% das silagens com ótimo processamento de grãos no ano de 2019 (Figura 3), é possível observar a evolução no KPS durante os anos. No primeiro ano de avaliações, 67% das amostras estavam classificadas na categoria

ruim, quatro anos depois, esse número inverteu e apenas 30% das amostras foram classificadas como ruim, ou seja, 70% das silagens estavam com processamento de grãos entre bom e ótimo.

Esta melhora foi possível, porque no ano de 2016 a região iniciou as primeiras análises laboratoriais em relação ao processamento dos grãos, antes não se tinha informação e nenhum parâmetro científico para quantificar essa fragmentação. A partir de então começou um trabalho de difusão de conhecimento através da empresa de pesquisa da região, responsáveis técnicos das cooperativas diretamente nos produtores assistidos, treinamentos com prestadores de serviços da ensilagem e operadores de máquinas.

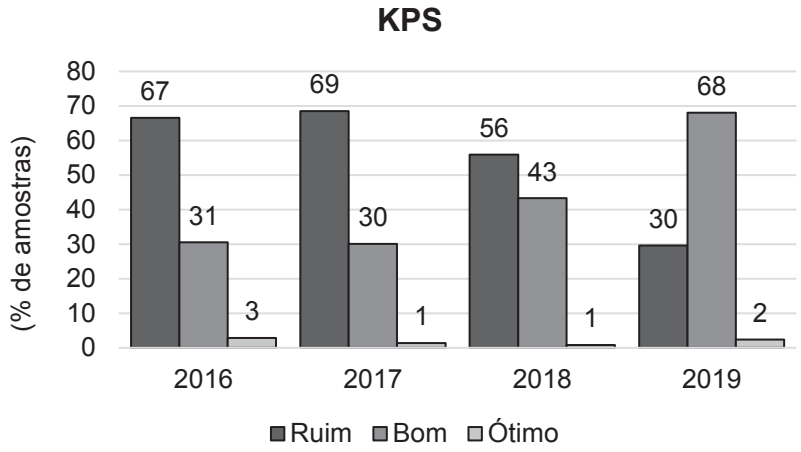


Figura 3. Distribuição dos valores de KPS dentro das classes ao longo dos anos.

Outro fator interessante é que além da evolução em número de silagens que passaram a ter melhor processamento dos grãos, houve evolução na média geral de KPS (Figura 4), com médias de 44% em 2016, 46% em 2017, 50% em 2018 e 54% em 2019. Além disso, o valor mínimo encontrado de KPS também aumentou, com 9% em 2016, 18% em 2017, 22% em 2018 e 27% em 2019. Esses dados reforçam a evolução na atenção ao processamento dos grãos nos últimos anos.

Em levantamento realizado nos Estados Unidos em 76 fazendas comerciais, as médias de KPS foram de 66,2%, com valor mínimo de 49,5% e valor máximo de 82,7% (Salvati et al., 2014). Em trabalho clássico utilizado como referência para a metodologia do KPS, Ferreira e Mertens (2005) avaliaram 32 silagens com média de

47,9% de KPS e amplitude de 0% a 91,3%, sendo esses os valores extremos relatados na literatura.

No Brasil, as médias de KPS analisadas pelo 3rLab em Minas Gerais foram de 51% em 2015 (Ramos, 2016) e no EsalqLab em São Paulo, as médias de KPS em 2017-2018 foram de 61% (Cassoli e Amaral, 2018).

No laboratório Rock River em Wisconsin, EUA, no ano de 2016, a média de processamento dos grãos das amostras foi de 66,0% de KPS e 56,8% em 2010 (Goeser, 2017). Observando outra base de dados na região da Pensilvânia (EUA), em 2006, a média de KPS das amostras analisadas no laboratório Cumberland foi de 52,8%, e em 2013, 64,3% (Shaver e Ferraretto, 2016). Mesmo os dados destes laboratórios localizados nos EUA sendo mais antigos, eles são importantes para evidenciar o grau de evolução do processamento de grãos. Em Wisconsin, foram seis anos para a média percentual do KPS aumentar em torno de 10%. Na Pensilvânia, foram sete anos para aumentar 12%.

Na região deste presente estudo, após quatro anos de avaliações a média de KPS aumentou em 10%, ou seja, as médias desta região do Brasil ainda estão mais baixas em relação aos países com maior tempo de avaliação de processamento de grãos da silagem, porém a evolução tem sido mais rápida. Resultado do trabalho de capacitação e treinamentos realizados na região por todos os elos responsáveis pelo processamento dos grãos da silagem, como comentado anteriormente.

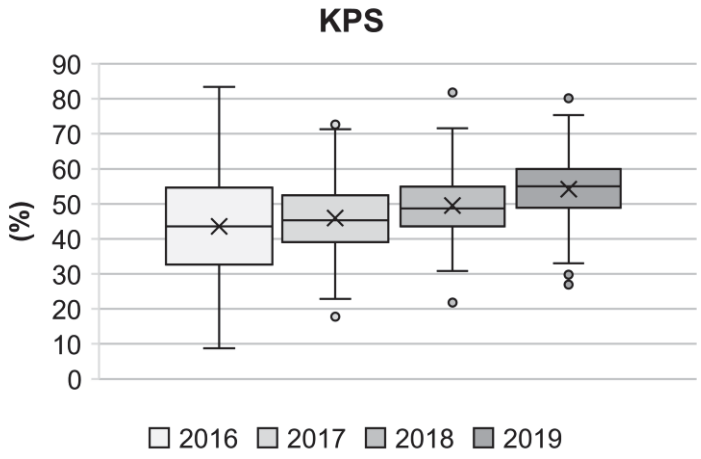


Figura 4. Distribuição dos valores de KPS ao longo dos anos.

4.3.2. Processamento dos Grãos nas Características Associadas aos Híbridos de Milho

Na Tabela 4, está representado a análise de qui-quadrado de independência entre as variáveis "Uso de OGM" e "*Stay Green*" com o KPS.

A utilização de híbridos de milho geneticamente modificados ou convencionais, não afetou os valores de KPS (*P = 0,8342*), porém, a participação de híbridos convencionais no conjunto de dados é pequena, representando apenas 1%. Por outro lado, a característica de *stay green*, exerceu influência nos valores de KPS (*P <0,0001*).

Tabela 4. Análise de qui-quadrado de independência entre as variáveis qualitativas associadas aos híbridos de milho em relação ao processamento de grãos (KPS).

Variável	**V^2 de Cramer**	**Qui-Quadrado (X^2)**
Uso de OGM	0,02	0,8342
Stay Green	0,17	**<0,0001**

Mesmo com um número reduzido de dados, a variação dos valores de KPS foi maior para os híbridos convencionais em relação aos OGM; outro ponto interessante é que o maior valor de KPS encontrado nos híbridos convencionais foi de 63%, enquanto que o valor máximo dos OGM foi 83%, ou seja, nenhum híbrido convencional obteve valores de KPS classificados como ótimo. O valor mínimo de KPS foi para o grupo convencional, com valor de 9% (Figura 5). Não foram encontradas explicações científicas para justificar este resultado.

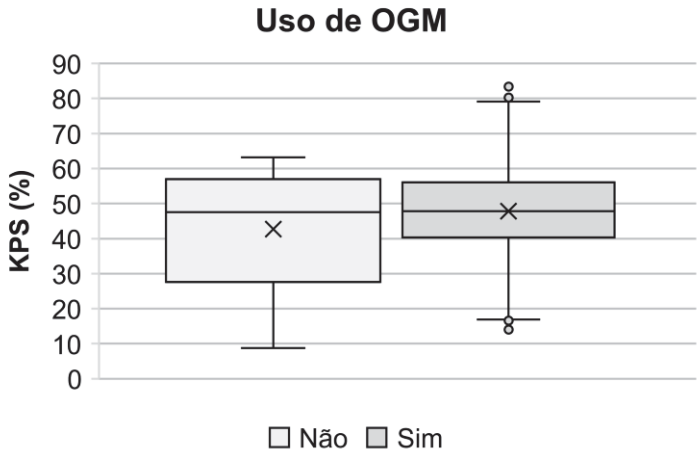


Figura 5. Distribuição dos valores de KPS de acordo com a uso de OGM.

Quando comparado as médias de KPS dos híbridos convencionais com os OGM, as médias foram 42,7% e 47,8%, respectivamente. Como mencionado no parágrafo anterior, o número de silagens confeccionadas com híbridos convencionais foi reduzido, o que pode ter interferido na análise dos dados, sendo que não houve diferença estatística entre estas duas categorias (*P = 0,1135*) para o processamento de grãos (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de KPS de acordo com o uso de OGM.

Uso de OGM	**n**	**KPS (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Não	13	42,7	16,8	11,6	6,3	0,1135
Sim	1.097	47,8	11,5			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.

Nos dados de *stay green*, os valores máximo e mínimo de KPS foram encontrados nos híbridos sem essa característica, com mínimo de 9% e máximo 83% (Figura 6). Interessante observar que de todos os híbridos avaliados com *stay green*, apenas um dado foi *outlier* (15% de KPS), e posteriormente, todos acima de 30% de KPS.

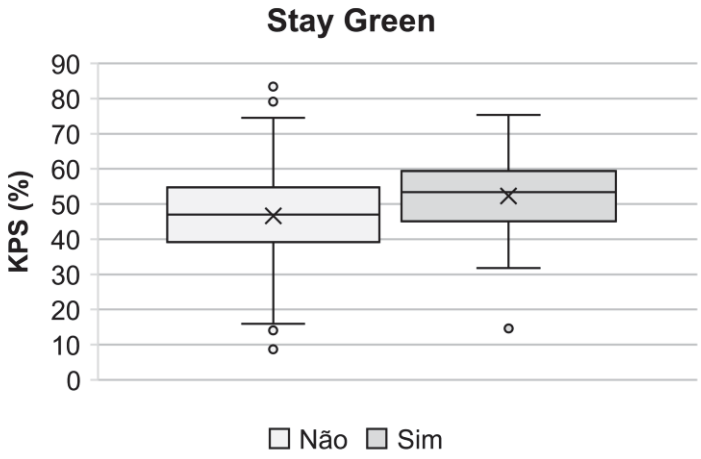


Figura 6. Distribuição dos valores de KPS de acordo com a característica de *Stay Green* dos híbridos de milho.

A média de KPS foi maior para as silagens com *stay green* em relação a silagens confeccionadas com híbridos sem essa característica (52,3% versus 46,6%, *P < 0,0001,* respectivamente) (Tabela 6). Híbridos que tem a característica de *stay green* permanecem com folhas e colmos verdes por mais tempo durante o processo de enchimento dos grãos (Ueno e Souza Junior, 2015).

Desta forma, especula-se que o declínio no teor de umidade dos grãos, resulta em um grão mais seco que será melhor fragmentado pelas máquinas em pequenas partículas (Allen et al., 2003). Grãos com alto teor de umidade, dificultam a quebra e a máquina apenas esmaga o grão, que mesmo esmagado, permanece com o pericarpo em tamanho grande, deflacionando os valores de KPS e resultando em um grau de processamento abaixo do ideal. Contudo, não foram encontrados estudos que relacionem o teor de umidade dos grãos no momento da colheita com o KPS.

Tabela 6. Valores de KPS de acordo com a característica de *Stay Green* dos híbridos de milho.

Stay Green	**n**	**KPS (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Não	873	46,6	11,7	11,4	1,7	**< 0,0001**
Sim	228	52,3	10,0			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.

Na Tabela 7, estão os dados de MS, Amido, DIVAMIDO e DIVFDN de acordo com a característica de s*tay green* dos híbridos de milho. O *stay green* não influenciou os teores de MS das silagens (*P = 0,2257*). Embora tenha determinado maiores valores de amido (Tabela 7) e KPS (Tabela 6), menores valores de DIVAMIDO e DIVFDN foram para os híbridos com *stay green*, ainda que com médias próximas.

Neste estudo, não foi avaliado relação entre os diferentes de graus de *stay green* e as variáveis mencionadas. Desta forma, é interessante observar com cautela os reais benefícios para a produção de silagens, principalmente nos híbridos com essa característica mais acentuada.

Tabela 7. Valores de MS, Amido, DIVAMIDO e DIVFDN de acordo com a característica de *Stay Green* dos híbridos de milho.

Stay Green	**n**	**MS (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Não	873	33,5	4,3	4,3	0,6	0,2257
Sim	228	33,9	4,1			

Stay Green	**n**	**Amido (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Não	873	31,7	4,9	4,7	0,7	**0,0272**
Sim	228	32,5	3,8			

Stay Green	**n**	**DIVAMIDO (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Não	873	75,9	5,7	5,7	0,8	**0,0008**
Sim	228	74,4	5,4			

Stay Green	**n**	**DIVFDN (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Não	873	50,1	3,8	3,7	0,5	**0,0446**
Sim	228	49,5	3,3			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.

4.3.3. Processamento dos Grãos nas Características Associadas a Lavoura e Colheita

Na Tabela 8, estão apresentados os dados da análise de qui-quadrado de independência entre as variáveis: aplicação de fungicida, tipo de colheita, tipo de máquina, marca da máquina e prestador de serviços.

Todas as variáveis resultaram em associação significativa com o KPS. Desta forma, será discutido cada uma destas variáveis separadamente para entender a influência do grau de associação com o processamento dos grãos.

Tabela 8. Análise de qui-quadrado de independência entre as variáveis qualitativas das características associadas a lavoura e colheita em relação ao processamento de grãos (KPS).

Variável	**V^2 de Cramer**	**Qui-Quadrado (X^2)**
Fungicida	0,10	**0,0042**
Colheita	0,11	**0,0008**
Tipo de Máquina	0,11	**0,0015**
Marca da Máquina	0,18	**< 0,0001**
Prestador de Serviços	0,26	**< 0,0001**

Na Figura 7, está a distribuição dos valores de KPS de acordo com a utilização de fungicida na lavoura. Na média, a utilização de fungicida resultou em silagens melhor processadas (48,9 versus 46,0%, *P < 0,0001*) (Tabela 9). Porém, estas informações não categorizam o número de aplicações, o estádio da cultura e os produtos utilizados.

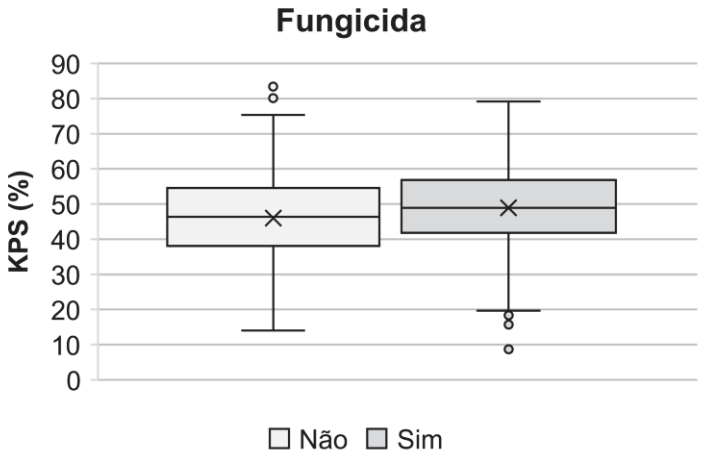


Figura 7. Distribuição dos valores de KPS de acordo com a aplicação de fungicida na lavoura.

A utilização de fungicida resultou em maiores valores de KPS (Tabela 9). Plantas mais sadias, permanecem com teores de matéria seca mais baixos por mais tempo, permitindo uma maior maturidade dos grãos no ponto correto de colheita e, da mesma forma que nos híbridos com *stay green* (Tabela 6), um grão mais seco será melhor fragmentado pelas máquinas em pequenas partículas (Allen et al., 2003), deflacionando os valores de KPS. Especula-se ainda, que esse efeito pode também ter uma relação causal e direta, pois produtores que fazem mais investimento em suas lavouras, tendem a ter mais investimentos e cuidados com a colheita e os processos de ensilagem.

Tabela 9. Valores de KPS de acordo com a aplicação de fungicida na lavoura.

Fungicida	**n**	**KPS (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Não	379	46,0	12,5	11,5	1,4	**< 0,0001**
Sim	734	48,9	10,9			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.

Os valores de KPS também foram separados em relação ao tipo de colheita (própria ou terceirizada), sendo que maiores médias foram observados em colheitas terceirizadas (48,5%) em relação a colheitas próprias (45,4%) (*P = 0,0001*) (Tabela 11).

Quase que 80% das colheitas realizadas nas silagens avaliadas neste estudo, foram por empresas terceirizadas (Tabela 10). Há alguns anos, em questionário aplicado em todas as regiões do Brasil, os dados eram diferentes, onde a maioria das colheitas eram realizadas com equipamentos próprios e apenas 41,2% terceirizado (Bernardes e Rêgo, 2014). Porém, nos últimos anos, o cenário de colheita de milho para silagem mudou muito no Brasil, e as empresas de prestação de serviço de colheita do Paraná estão prestando serviços em outras regiões, como também novas empresas têm sido criadas.

Há duas décadas, as fazendas na Europa estavam crescendo em tamanho e as operações contratadas estavam se tornando mais comuns (Muck e Shinners, 2001); da mesma forma, isso vem acontecendo no Brasil, com o crescente mercado de terceirização da colheita das silagens, o que possibilita aos produtores adquirirem serviços mais especializados. A prestação de serviços no processo de colheita tem sido interessante quando se busca agilidade, profissionalismo, redução nos investimentos fixos em implementos e contratação de mão-de-obra. O sucesso da parceria presume uma relação de interdependência, baseada na confiança e responsabilidade (Schmidt e Nussio, 2010).

Tabela 10. Valores de KPS de acordo com o tipo de colheita.

Colheita	**n**	**KPS (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Própria	249	45,4	12,9	11,5	1,6	**0,0001**
Terceirizada	927	48,5	11,0			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.

Na Figura 8 está demonstrada a variação dos valores de KPS em função do tipo de colheita das silagens. É interessante destacar que mesmo com as colheitas terceirizadas resultando em maiores valores médios de KPS, o menor valor absoluto foi verificado em uma colheita terceirizada. Desta forma, é importante ter cuidado quando é feito a contratação deste tipo de serviço, e monitorar o KPS durante a colheita, para que não ocorram frustrações dessa parceria. Por outro lado, o maior valor de KPS foi verificado em uma colheita própria, o que significa, que também é possível obter um ótimo processamento de grãos e silagem de qualidade com este tipo de colheita.

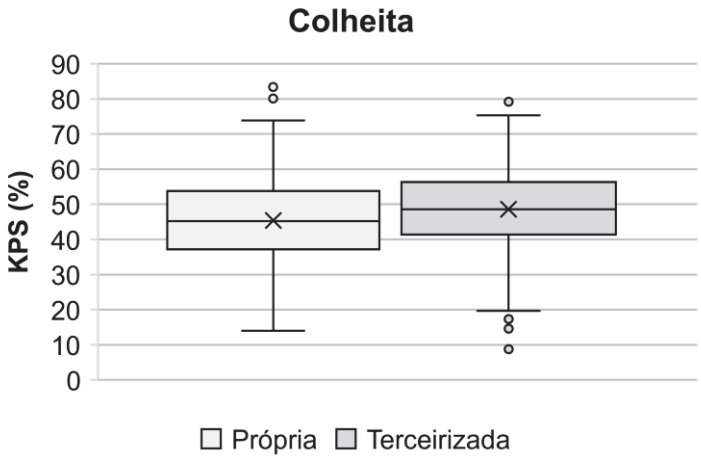


Figura 8. Distribuição dos valores de KPS de acordo com o tipo de colheita.

Com o aumento da terceirização da colheita em todas as regiões do Brasil, o uso de máquinas automotrizes cresceu significativamente (Daniel et al., 2019), tendência essa que já vem ocorrendo a anos em países como Estados Unidos e Europa, reduzindo drasticamente o total de vendas unitárias das máquinas tratorizadas (Muck e Shinners, 2001).

Na Tabela 11 é possível observar que 75% das colheitas realizadas nas silagens avaliadas, foram por máquinas automotrizes. Há poucos anos, a realidade geral brasileira era bastante diferente. Em 2012, 90,4% das colheitas eram realizadas por máquinas tratorizadas e essa porcentagem era ainda maior (98,3%) em propriedades pequenas, principalmente pelo alto custo das automotrizes (Bernardes e Rêgo, 2014).

Ainda na Tabela 11 estão os resultados comparativos de KPS em relação ao tipo de máquina. Automotrizes resultaram em maior processamento médio de grãos em relação a máquinas tratorizadas (48,5 versus 45,3%, respectivamente) ($P < 0,0001$). Porém, as médias ainda ficaram abaixo da classificação considerada boa, que tem seu mínimo em 50% de KPS. Apesar da diferença estatística, os valores médios são relativamente próximos entre os tipos de máquinas, o que refuta o pensamento comum que em todos os casos as automotrizes são superiores a máquinas tratorizadas para KPS. Para alcançar bons resultados no processamento

dos grãos, os ajustes nas configurações das máquinas são fundamentais (Luck et al., 2019).

Em estudo realizado por Salvati (2019), foram realizados dois experimentos distintos, oriundos da mesma lavoura, sendo um colhido com máquina tratorizada sem processador de grãos e o outro com automotriz, ambos com um comprimento teórico de corte (TLOC) de 6 mm. As médias de KPS para o experimento colhido com máquina tratorizada foram de 26,4% e as médias para o experimento colhido com máquina automotriz foram de 60,4% de KPS.

O uso de automotrizes gera maior eficiência de colheita, com ganhos em velocidade operacional e aumento na capacidade de produção (Ferraretto et al., 2017), fornecendo forragem mais uniforme e de qualidade superior. Porém, existe uma certa dificuldade de aquisição de máquinas automotrizes por fazendas, devido ao alto investimento somado a pequena quantidade de horas trabalhadas durante o ano, o que eleva o custo de amortização do equipamento (Gomides, 2013).

Tabela 11. Valores de KPS de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita.

Tipo de Máquina	**n**	**KPS (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Tratorizada	282	45,3	13,0	11,4	1,5	**< 0,0001**
Automotriz	858	48,5	10,9			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.

Na Figura 9, os dados de KPS foram separados nas classes e por tipo de máquina. De todas as silagens colhidas com máquinas tratorizadas, 66% estavam com o processamento de grãos ruim, 32% bom e apenas 2% ótimo. Quando observamos os dados para as silagens colhidas com máquinas automotrizes, da mesma forma que nas tratorizadas, apenas 2% estavam com processamento ótimo, porém, 43% estavam com processamento bom e 55% com processamento ruim, evidenciando, mais uma vez, que quando dados médios são levantados, as máquinas automotrizes são superiores as tratotizadas.

A superioridade das colhedoras automotrizes está relacionada aos processadores mecânicos, conhecidos como "*cracker*". Os rolos quebram os grãos e cortam o material à medida que ele passa (Eun et al., 2004), permitindo o ajuste do

tamanho de partículas da parte vegetativa e mantendo o processamento dos grãos (Johnson et al., 1999).

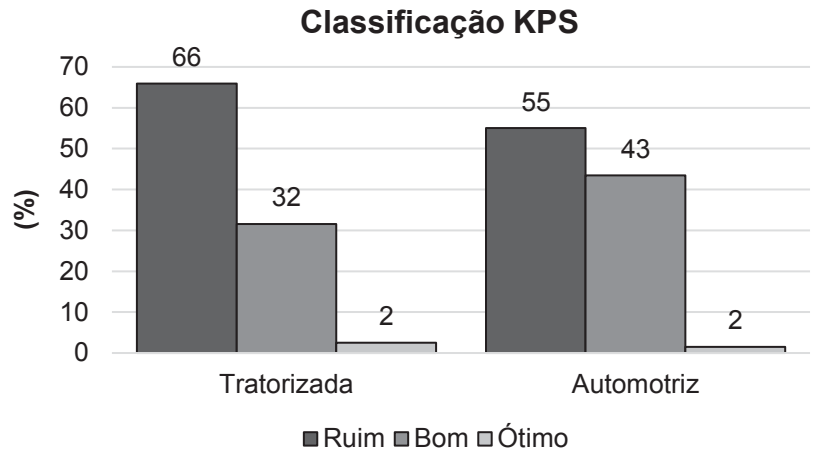


Figura 9. Distribuição dos valores de KPS dentro de cada classe acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita.

Como visto na Figura 8, referente distribuição do KPS de acordo com o tipo de colheita (própria ou terceirizada), os dados de KPS são muito semelhantes para a utilização de máquina tratorizada ou automotriz (Figura 14).

Mesmo com maior média geral (Tabela 12) e maior porcentagem de silagens na categoria boa (Figura 9), o menor valor absoluto de KPS (9%) foi para uma colheita com máquina automotriz (Figura 10). Essa informação é importante para ilustrar que a adoção de colheita por máquina automotriz não implica, necessariamente, em melhoria nos valores de KPS na silagem da fazenda.

Em algumas situações, produtores ou prestadores de serviço aumentam a distância entre os rolos processadores (“abrem o cracker”) para que eles possam economizar combustível e aumentar a taxa de colheita (Cooke e Bernard, 2005), permitindo a passagem de maior quantidade de forragem, reduzindo assim a capacidade de processamento dos grãos e resultando em silagens mal processadas mesmo com máquinas de alta capacidade de fragmentação de grãos.

Nas máquinas tratorizadas, o dano nos grãos é normalmente obtido por redução no tamanho de partículas, o que também reduz o FDN fisicamente efetivo da silagem (Dias Junior, 2016), geralmente resultando em partículas com menor

uniformidade e maior proporção de grãos não processados (Daniel et al., 2019). Em algumas regiões, ainda há falta de informação sobre o processamento dos grãos e as configurações de tamanho teórico de partículas (Salvati, 2019).

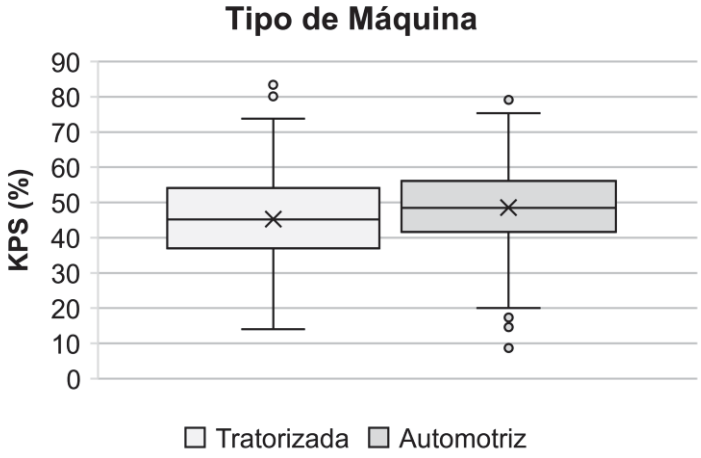


Figura 10. Distribuição dos valores de KPS de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita.

Atualmente existem várias marcas de máquinas e sistemas operacionais para colheita, o que gera produção de silagens com grande variabilidade de eficiência e desempenho (Dias Junior, 2016). Na Tabela 12 está apresentada a média de KPS por marca de máquina ensiladeira. As marcas Case, Ipacol, Jumil, Kemper, Maral, Menta, Pinheiro e Schemaq foram retiradas desta análise por apresentarem poucos dados. Dentro das marcas avaliadas, as maiores médias foram para Claas (51,6%), Nogueira (51,0%) e Krone (49,1%). Corroborando com dados de que é possível fazer silagem com bom processamento de grãos com máquina tratorizada (Figura 14), a Nogueira está entre as máquinas com melhor média de KPS.

Algumas limitações na produção de silagens no Brasil, estão diretamente ligadas a baixa disponibilidade de equipamentos e manutenção inadequada, carência de informações, resistência por parte dos produtores em aceitar e executar as recomendações dos consultores, como também a falta de qualificação da mão de obra e a falta de planejamento das operações quando as silagens estão sendo confeccionadas (Bernardes, 2012). Desta forma, nos dois últimos anos, a Nogueira junto com as cooperativas da região do estudo, fizeram um trabalho a campo, com

treinamento e capacitação de produtores de como utilizar, afiar e regular as máquinas para obter melhor tamanho de partículas e processamento de grãos. Em questionário aplicado a produtores em todo o Brasil, 54,6% relataram que afiam as facas diariamente no momento da colheita, sendo que 26,9% só afiam no início. As facas devem ser afiadas, no mínimo, duas vezes ao dia (Salvati e Bernardes, 2016), pois o uso de facas “cegas” e ajuste deficiente faz com que a máquina rasgue as partículas ao invés de cortar, resultando em frações longas e baixa uniformidade de corte (Cooke e Bernard, 2005). Nesse cenário, o processamento dos grãos é bastante prejudicado.

Outro ponto que chama atenção nos dados é o fato das silagens colhidas por maquinários da marca New Holland estarem entre as com menor média de KPS (44,9%) (Tabela 12). Possivelmente isso seja devido a um único prestador de serviço responsável por 35% dos dados desta marca, e que não tem um bom cuidado com o processamento de grãos nas silagens confeccionada por ele (Figura 16, Prestador R). Esse fato pode ter prejudicado a média da New Holland.

Dentro da mesma marca também existem diferentes tipos de processadores de grãos. Vanderwerff et al. (2015) avaliou máquinas da marca Claas, uma equipada com Shredlage e outra com processador comum, e verificou que o processador Shredlage resultou em valores de KPS 5% maiores em relação ao processador comum (72,4% versus 67,6%, respectivamente).

Já Ferraretto e Shaver (2012a), avaliaram o valor de KPS entre a marca Claas com Shredlage e a marca John Deere com processador comum, e obtiveram médias de KPS de 75,0% e 60,3%, respectivamente. No presente estudo não foi realizada diferenciação de processadores entre as marcas de máquinas automotrizes, e nenhuma possuía o processador Shredlage.

Tabela 12. Valores de KPS de acordo com a marca da máquina utilizada na colheita.

Marca de Máquina	**n**	**KPS (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Claas	181	51,6 a	9,0	11,1	3,7	**< 0,0001**
Nogueira	71	51,0 ab	13,6			
Krone	171	49,1 ab	10,1			
John Deere	214	48,2 b	10,7			
New Holland	227	44,9 c	11,6			
JF	183	43,1 c	12,6			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.
Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer a 5%.

Todas as marcas de ensiladeira em boas condições de trabalho e regulagem podem produzir silagens bem processadas (Mahanna et al., 2019). Esse fato é comprovado pela Figura 11, onde é possível perceber que todas as marcas foram capazes de produzir silagens com ótimo processamento de grãos, ou seja, com valores de KPS superiores a 70%. Vale reforçar que apenas 2% das silagens avaliadas estão nesta classificação. O maior valor absoluto de KPS foi com a máquina da marca JF (83%), cuja marca, por outro lado, apresentou a menor média dentre todas as avaliadas.

A velocidade de colheita, o método de processamento e ajustes feitos no equipamento afetam os valores obtidos de KPS (Johnson et al., 1999). Uma boa inspeção da máquina e das peças antes do início da colheita é fundamental para garantir que a ensiladeira esteja prontamente ajustada de acordo com orientações específicas do fabricante (Mahanna et al., 2019).

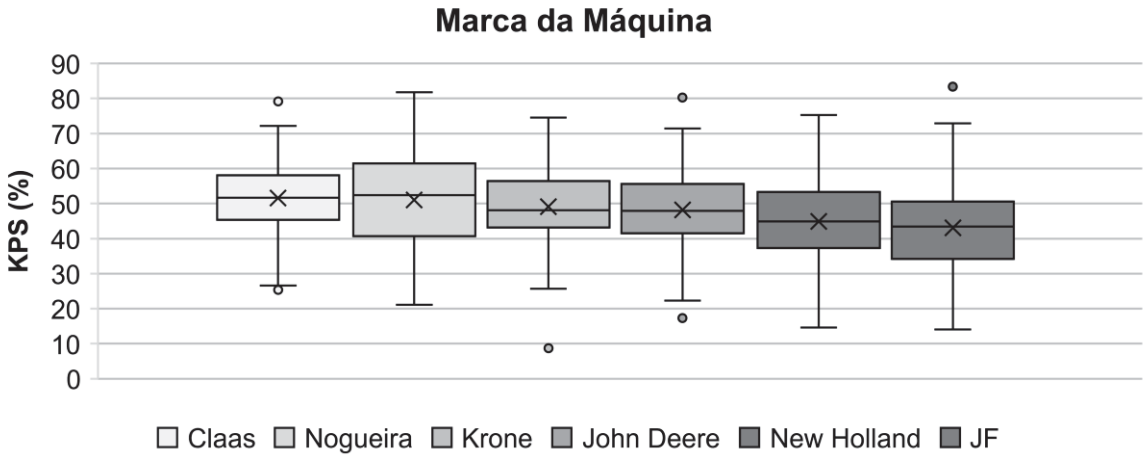


Figura 11. Distribuição dos valores de KPS de acordo a marca da máquina utilizada na colheita.

O sucesso da utilização das máquinas e dos equipamentos está vinculado também na qualificação e conscientização da mão de obra operacional, pois a regulagem e a manutenção destes equipamentos dependem do treinamento e grau de comprometimento dos operadores (Gomides, 2013). Dentro de uma mesma empresa de prestação de serviços, existem diferentes operadores de máquinas, e é possível verificar variação na qualidade do serviço pela mudança de operador.

Na Figura 12 está representado a distribuição do KPS por prestador de serviços. No total, foram computados mais de 60 prestadores de serviços diferentes. Para este gráfico foram selecionados os com maior número de colheitas, e seus nomes codificados.

Se verificarmos o “Prestador I”, esta empresa foi responsável pela melhor e por um dos piores valores absolutos de KPS (Figura 12). Sabe-se que diversos fatores interferem no processamento da silagem, mas variações tão grandes assim, não deveriam ocorrer a campo. Um dos fatores responsáveis por essa amplitude de resultados dentro de uma mesma empresa de prestação de serviços, está no acompanhamento no momento da colheita, seja do técnico responsável, gerente ou produtor. Este acompanhamento tem se mostrado de fundamental importância para um processamento de grãos satisfatório. Sabe-se que a eficácia do processamento pode mudar de área para área, de dia para dia, por isso é muito importante monitorar o processamento durante toda a colheita (Pfister, 2014). Porém, as empresas de

prestação de serviços deveriam entregar um trabalho de qualidade independente do acompanhamento do responsável pela silagem da propriedade.

Na região deste estudo já existe um projeto piloto de pagamento pela qualidade do processamento dos grãos na terceirização, onde o prestador de serviços tem um bônus ou ônus financeiro de acordo com o resultado do KPS (Fundação ABC, 2019). Esta tabela tem se mostrado eficiente e prestadores de serviços e produtores estão satisfeitos com o resultado final da remuneração e qualidade da silagem.

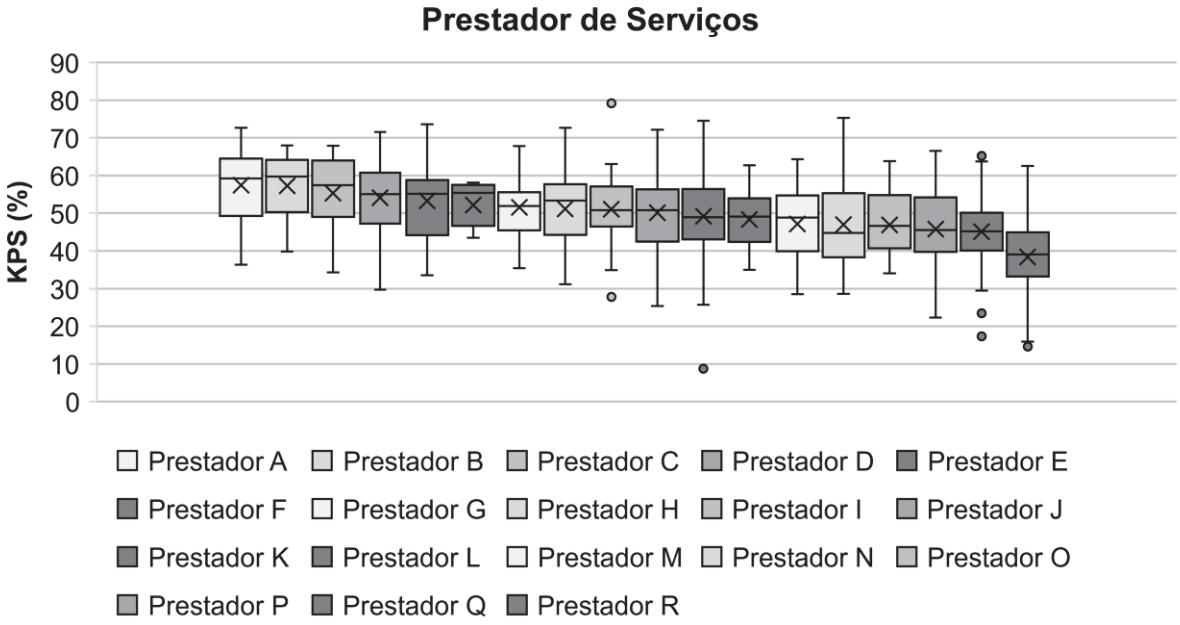


Figura 12. Distribuição dos valores de KPS de acordo com o prestador de serviços.

4.3.4. Processamento dos Grãos nas Características Químicas das Silagens

Matéria Seca:

Os teores de matéria seca não apresentaram correlação (*P = 0,1120*) com o KPS das silagens (Tabela 13). Na região de Guarapuava, o processamento dos grãos também não teve efeito nos teores de matéria seca das silagens (35,19 versus 34,37%, com e sem processamento, respectivamente) (Marafon et al., 2015).

Dados diferentes, entretanto, foram levantados por Dias Junior et al. (2015) e citados por Shaver e Ferraretto (2016), com amostras obtidas também em fazendas comerciais de leite. Os autores sugerem que o teor de matéria seca e o KPS, tem uma

relação fraca (R^2 = 0,2737), mas possível. Isso pode ser efeito do milho mais seco ser melhor fragmentado pelas máquinas (Allen et al., 2003), como já mencionado anteriormente neste trabalho.

Porém, os grãos podem estar em diferentes fases de maturação com o mesmo teor de matéria seca da planta, por diversos fatores, seja entre híbridos, sanidade, condições ambientais, nutrição da planta, *stay green,* etc. (Pioneer, 2019). Esta pode ser uma das explicações porque não foi possível obter relação significativa com o teor de matéria seca da planta neste estudo, ou seja, a relação seria mais próxima avaliando-se apenas o teor de umidade do grão, e não da planta.

Tabela 13. Correlação entre KPS e matéria seca das silagens avaliadas.

Variável	**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**
Matéria Seca (%)	0,05	0,1120

Variáveis relacionadas as fibras:

O KPS foi correlacionado negativamente com a FDA (*P = 0,0001), FDN* (*P = 0,0039)* e Lignina (*P = 0,0023),* porém todas as correlações foram de pequena magnitude (Tabela 14). Estes dados concordam com os encontrados por Marafon et al. (2015), onde silagens colhidas com máquina tratorizada com a opção de utilização ou não de equipamento de processamento de grãos, não encontraram diferenças nos teores de FDA (23,58 versus 23,15%) e FDN (40,66 versus 41,48%), quando compararam silagens colhidas com ou sem processador de grãos, respectivamente.

A DIVFDN teve uma tendência de correlação com o processamento dos grãos (*P = 0,0671)* (Tabela 14). Esses dados corroboram com os encontrados por Ferraretto e Shaver (2012), onde o processamento dos grãos da silagem não afetou as taxas de digestibilidade total da FDN (45,5% processado x 44,2% não processado) e a degradabilidade ruminal da FDN (42,7% processado x 41,8% não processado). Contudo, diferentes resultados foram encontrados por Schwab et al. (2002) e Ebling e Kung Jr. (2004), quando silagens processadas reduziram a digestibilidade da FDN. As menores digestibilidades da FDN para silagens processadas em relação a silagens não processadas, pode estar relacionada a maior disponibilidade do amido nas

silagens processadas, que reduz o pH ruminal, aumenta os teores de acetato, propionato e amônia (Dhiman et al., 2000) ou pelo possível aumento na taxa de passagem ruminal.

Tabela 14. Correlação entre KPS e as variáveis relacionadas as fibras das silagens avaliadas.

Variável	**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**
FDA (%)	-0,11	**0,0001**
FDN (%)	-0,08	**0,0039**
Lignina (%)	-0,08	**0,0046**
DIVFDN (%)	0,05	0,0671

Variáveis energéticas:

Na Tabela 15 estão apresentadas as correlações entre KPS e as variáveis energéticas das silagens avaliadas. Contrariando o esperado, a porcentagem de amido e a digestibilidade do amido (DIVAMIDO) não resultaram em correlações significativas com o KPS (*P = 0,0960* e *P = 0,4237*, respectivamente).

Entre os anos de 2009 e 2014, o laboratório Dairyland, nos Estados Unidos, dividiu os níveis de amido das silagens em baixo, médio e alto e verificou uma relação com o processamento dos grãos. Silagens com baixos teores de amido apresentaram maiores porcentagens de KPS na classe “ruim”. Esse fato também pode estar relacionado a maturidade do grão e a capacidade de fragmentação das máquinas (Pioneer, 2019).

Estudos sugerem que o processamento mecânico dos grãos da silagem de milho aumenta a digestibilidade deste amido (Dhiman et al., 2000), pois grãos quebrados tem uma maior superfície de contato para os microrganismos ruminais (Dias Junior et al., 2016). Porém, no presente estudo, a avaliação foi realizada após a silagem ter sido seca e moída em peneira de 1 mm, o que elimina este efeito de fragmentação dos grãos. Isso justifica a não correlação com a digestibilidade do amido. Vale ressaltar que para estudar corretamente o assunto, ensaios de avaliação de digestibilidade aparente *in vivo* são necessários.

Ainda na Tabela 15, o KPS foi correlacionado positivamente com os valores de NDT (*P = 0,0063), DIVMO* (*P < 0,0001)* e Leite Estimado (*P = 0,0023),* porém todas as correlações também foram de baixa magnitude. Em estudo realizado por Mertens (2005) o KPS foi positivamente correlacionado com a DIVMS, porém novamente, as silagens não estavam moídas, desta forma, fica claro que a metodologia empregada nos diferentes estudos influencia os resultados de avaliação dessas variáveis. Por outro lado, um dos motivos para estas correlações terem sido positivas pode estar relacionado a qualidade das silagens. Produtores que tem maior cuidado com o processamento dos grãos das silagens tendem a ter maior cuidado com os outros processos relacionados a confecção da silagem, desde escolha do híbrido, manejo de lavoura, ponto de corte, ensilagem e todos os aspectos envolvidos neste sistema de produção.

Tabela 15. Correlação entre KPS e as variáveis energéticas das silagens avaliadas.

Variável	**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**
NDT (%)	0,08	**0,0063**
Amido (%)	0,05	0,0960
DIVAMIDO (%)	0,02	0,4237
DIVMO (%)	0,15	**< 0,0001**
Leite Estimado (kg T^{-1} MS)	0,09	**0,0023**

4.3.5. Processamento dos Grãos nas Características Físicas das Silagens

Os dados de correlação entre as características físicas das silagens e o KPS estão apresentados na Tabela 16. Como esperado, a porcentagem de silagem retida nas peneiras 1 e 2 tiveram correlação negativa e significativa (*P < 0,0001*) com o KPS (r = -0,25 e r = -0,14, respectivamente), como também o tamanho médio das partículas (r = -0,39), independentemente do tipo de máquina. Esta variável fornece uma medida do quanto a silagem está picada, pode variar de acordo com a afiação das facas e contra facas (Mertens, 2005) e com a velocidade de colheita, Teodoro et al. (2013)

encontraram menor tamanho de partículas para velocidade de 2,2 km h^{-1} em relação a maiores velocidades (2,6 km h^{-1}, 3,2 km h^{-1}, e 3,9 km h^{-1}).

Tabela 16. Correlação entre KPS e as variáveis relacionadas a parte física das silagens avaliadas.

Variável	**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**
Peneira 1 (%)	-0,25	**< 0,0001**
Peneira 2 (%)	-0,14	**< 0,0001**
TMP (mm)	-0,39	**< 0,0001**

Na Figura 13, os dados de TMP foram separados de acordo com as classes de KPS (ruim, bom e ótimo). O TMP foi de 9,0, 8,2 e 8,0 mm para as classes ruim, bom e ótimo respectivamente. Nesta mesma ordem de classes, os valores máximos de TMP foram de 15,3, 12,5 e 11,2 mm, ilustrando a correlação negativa entre essas duas variáveis. Embora os valores de TMP médios tenham sido todos próximos entre as classes (Figura 13), a correlação foi significativa (Tabela 16), pois os desvios são maiores dentro das classes, e isso foi o fator de maior influência no KPS.

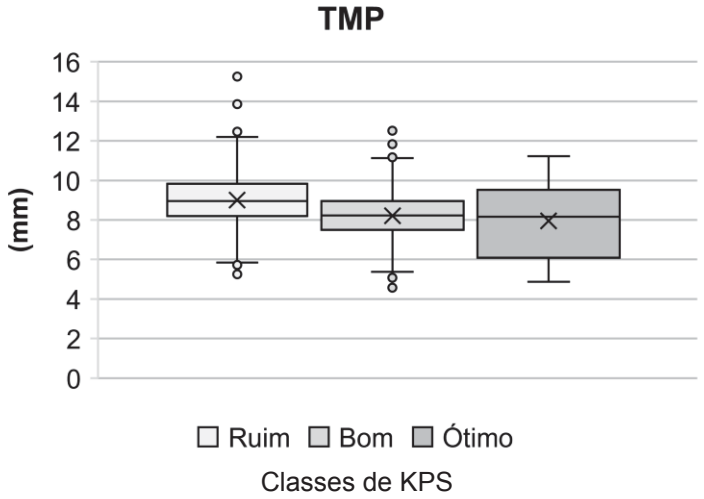


Figura 13. Distribuição dos valores de KPS de acordo com o TMP das silagens avaliadas.

Como mencionado anteriormente, os valores de KPS são influenciados pelo tamanho de partículas da silagem (Tabela 16). Na Tabela 16 também estão apresentados os dados de correlação entre as características físicas das silagens e o KPS, porém agora separadas por tipo de máquina (tratorizada x automotriz).

Concordando com os dados da Tabela 16, tanto para as máquinas tratorizadas como para as máquinas automotrizes, todas as variáveis de tamanho de partículas tiveram correlação significativa (*P < 0,0001*) e inversa com o KPS. A associação foi um pouco maior para as máquinas tratorizadas, onde o dano nos grãos é normalmente obtido por redução no tamanho de partículas (Dias Junior, 2016).

Tabela 17. Correlação entre KPS e as variáveis relacionadas a parte física das silagens avaliadas separadas por tipo de máquina utilizada na colheita.

Variável	**Tratorizada**		**Automotriz**	
	KPS (%)		**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**	**r**	**Pr > F**
Peneira 1 (%)	-0,290	**< 0,0001**	-0,21	**< 0,0001**
Peneira 2 (%)	-0,34	**< 0,0001**	-0,24	**< 0,0001**
TMP (mm)	-0,50	**< 0,0001**	-0,43	**< 0,0001**

Na Tabela 18 estão os dados de porcentagem de partículas retidas nas Peneiras 1 ou 2, e o TMP de acordo com o tipo de máquina.

As silagens colhidas com máquinas tratorizadas tiveram maior retenção de partículas na peneira 1 (> 19 mm) (7,9% versus 6,6%) e menor na peneira 2 (8-19 mm) (58,9% versus 70,5%). Esses dados concordam com os encontrados por Bernardes, T., dados não publicados e citados por Daniel et al. (2019), que amostraram durante dois anos 142 silagens, sendo 60 colhidas com máquinas tratorizadas e 82 com máquinas automotrizes.

Ainda na Tabela 18, o TMP para as silagens colhidas com máquinas tratorizadas foi menor em relação as silagens colhidas com máquinas automotrizes (8,0 versus 8,9 mm) (*P < 0,0001*). Em avaliação realizada em 2011, na mesma região deste estudo, o TMP avaliado foi de 9,6 mm (Carvalho, 2013).

A redução do TMP ao longo dos anos pode estar relacionada ao nível de informação dos produtores e assistência técnica, que passaram a monitorar o

tamanho de partículas na colheita, reduzindo a quantidade de partículas muito grandes retidas nas peneiras de maior tamanho, buscando também o melhor processamento de grãos. Sabe-se que existe correlação negativa entre comprimento de corte e fragmentação de grãos (Mertens, 2005), principalmente nas máquinas sem *cracker,* comprovado neste estudo.

O TMP é um fator muito importante na qualidade das silagens, pois pode afetar as características no silo, reduzindo a densidade, aumentando a porosidade, e relacionando-se a produção de efluentes (Muck et al., 2003), além de indiretamente afetar as características de fermentação da silagem (Mertens, 2005). Partículas grandes dificultam a compactação, sendo que o excesso de ar retido no interior da massa favorece o desenvolvimento de fungos e leveduras aeróbias, que degradam e aquecem a massa (CTRH Zootecnia, 2019), aumentam as chances de deterioração aeróbia, (Muck et al., 2003), degradação de nutrientes, reduzindo a qualidade final da silagem (CTRH Zootecnia, 2019).

Além das características fermentativas relacionadas aos processos de ensilagem, o uso de silagens com tamanho de partículas muito grande reduz a ingestão das vacas, aumenta a seleção no cocho (Kononoff e Heinrichs, 2003) e, consequentemente, pode reduzir a produção de leite (CTRH Zootecnia, 2019). Por outro lado, a saúde dos ruminantes depende diretamente de concentrações mínimas de fibra na ração (Berchielli et al., 2006). O tamanho de partículas pequeno (< 8 mm) pode reduzir o conteúdo de FDN fisicamente efetivo e trazer efeitos negativos na ruminação e consequente tamponamento ruminal (Zebeli et al., 2012).

Nos locais deste estudo e em regiões subtropicais do Brasil, espécies temperadas como o azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia (*Avena sativa*) são frequentemente conservados como pré-secados e incluído nas dietas das vacas para suprir partículas e fibras digestíveis. (Daniel et al., 2019). Desta forma, o tamanho ideal de partículas pode variar de fazenda para fazenda, dependendo das outras fontes de fibra efetiva disponíveis para formulação das rações (Kung Jr. e Muck, 2017).

Nos Estados Unidos, o TMP das silagens de milho encontrado por Salvati et al. (2017), com a maioria dos dados oriundos de fazendas comerciais e colhidos apenas com máquinas automotrizes, foi de 12 mm, com valor mínimo de 10,0 mm e máximo de 15,4 mm. Em outra avaliação de 32 silagens de diversas regiões dos Estados Unidos, o TMP foi de 4,2 mm, com valor mínimo de 2,1 mm e máximo de 7,3 mm (Ferreira e Mertens, 2005).

Tabela 18. Porcentagem de silagem retida nas Peneiras 1 e 2 e TMP de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita.

Tipo de Máquina	**n**	**Peneira 1 (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Tratorizada	282	7,9	4,9	4,3	0,6	**< 0,0001**
Automotriz	858	6,6	4,1			

Tipo de Máquina	**n**	**Peneira 2 (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Tratorizada	282	58,9	7,6	6,6	0,9	**< 0,0001**
Automotriz	858	70,5	6,2			

Tipo de Máquina	**n**	**TMP (mm)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Tratorizada	282	8,0	1,5	1,3	0,2	**< 0,0001**
Automotriz	858	8,9	1,2			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.

Para ilustrar melhor essa associação entre o TMP, tipo de máquina e KPS, as silagens foram separadas em quatro classes de acordo com o TMP (<4,9 mm, 5,0-8,9 mm, 9,0-11,9 mm e > 12,0 mm), o tipo de máquina e analisado as médias de KPS dentro de cada categoria (Tabela 19).

Entre as médias de KPS das máquinas tratorizadas, silagens com TMP menor que <4,9 mm e entre 5,0-8,9 mm tiveram maiores valores de KPS (66,1 e 47,6%, respectivamente), em relação a silagens com TMP entre 9,0-11,9 mm e maior que >12,0 mm (37,4 e 23,0%, respectivamente) (*P < 0,0001*). O mesmo efeito ocorreu quando as médias foram relacionadas com as silagens colhidas com máquinas automotrizes, sendo que os valores de KPS para os TMP entre 5,0-8,9 mm (51,9%) foram maiores em relação a silagens com TMP entre 9,0-11,9 mm e > 12 mm (44,3% e 34,9%, respectivamente).

Silagens colhidas com automotrizes não apresentaram tamanho de partículas < 4,9 mm. Quando comparamos as silagens dentro de uma mesma classe de TMP (5,0-8,9 mm e 9,0-11,9 mm), os valores de KPS foram maiores para as máquinas automotrizes.

Shinners et al. (2001) avaliaram a porcentagem de grãos quebrados em dois diferentes TLOC em silagens colhidas a 36% de MS e sem processador de grãos. As

silagens colhidas com TLOC de 9,5 mm possuíam 64% dos grãos quebrados, enquanto as silagens colhidas com o TLOC maior (19 mm), possuíam apenas 55% de grãos quebrados. Isso sugere que, semelhante a este trabalho, partículas menores permitem uma maior quebra de grãos (Johnson et al., 1999).

Salvati (2019) observou aumento nos valores de KPS de acordo com a redução no TLOC quando as silagens foram colhidas com máquina automotriz. Os TLOC foram 6 mm, 12 mm e 18 mm para valores de 60,4%, 52,8% e 51,1% de KPS, respectivamente. Esperava-se o mesmo efeito quando as silagens foram colhidas com máquina tratorizada, porém o TLOC (3 mm, 6 mm e 9 mm) não interferiu no KPS das silagens (24,7%, 26,4% e 25,0%, respectivamente), mais especificamente neste experimento, a máquina era praticamente nova, com poucas horas de uso, resultado que certamente seria diferente após 100 ou 200 horas de trabalho.

Nas máquinas automotrizes, a extensão do processamento dos grãos é afetada não apenas pelo espaçamento entre os rolos do *cracker*, mas também pelo tamanho das partículas de forragem e pela taxa de material picado que passa através do processador (Mertens, 2005). Embora a distância entre os rolos possa ser definida entre 1 a 3 mm (Kung Jr. e Muck, 2017), a distância operacional é maior de acordo com o comprimento do corte, uma vez que partículas maiores de espigas e talos forçam os rolos, reduzindo sua força de fragmentação dos grãos (Mertens, 2005). Ainda, o desgaste natural dos rolos, em maquinários sem a manutenção adequada, compromete a efetividade do processamento.

Novamente nos dados da Tabela 11, é possível verificar que máquinas automotrizes com *cracker* são realmente capazes de proporcionar um melhor processamento de grãos, independentemente do tamanho de partículas, quando comparadas às máquinas tratorizadas sem o sistema de processamento de grãos. Porém, mesmo estas máquinas automotrizes, reduzem o processamento de grãos em TMP maiores.

Não foi possível verificar neste trabalho se as máquinas automotrizes com *cracker* bem regulado seriam capazes de produzir silagens com mesmo processamento de grãos em diferentes tamanhos de partículas, como foi avaliado em experimento conduzido por Ferraretto et al. (2015). Esses autores utilizaram máquina automotriz, com processador de grãos convencional e distância entre rolos de 2 mm, com três diferentes híbridos, colhidos em duas maturidades e com dois diferentes

TLOC (6,4 mm e 19,5 mm), e não encontraram diferenças significativas nos valores de KPS, que variaram entre todas as amostras, porém não foram afetados pelo TLOC.

Tabela 19. Categorização do TMP e seus respectivos valores e KPS de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita.

Tipo de Máquina	**Tamanho Médio de Partículas (mm)**						
	< 4,9	**5,0 - 8,9**	**9,0 - 11,9**	**> 12,0**			
	KPS (%)				EPM[1]	DMS[2]	Pr > F
Tratorizada	66,1a	47,6a	37,4b	23,0b	12,0	20,2	**< 0,0001**
Automotriz	-	51,9a	44,3b	34,9b	10,1	8,0	**< 0,0001**
EPM[1]	-	9,8	11,7	17,5			
DMS[2]	-	1,6	3,2	29,2			
Pr > F	-	**< 0,0001**	**< 0,0001**	0,3704			

[1]EPM: Erro Padrão da Média; [2]DMS: Diferença Mínima Significativa.

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer a 5%.

4.3.6. Análise de Componentes Principais

Até este ponto, todas as variáveis e suas influências no processamento de grãos foram discutidas de maneira separada. Aqui será discutido a análise multivariada de componentes principais para determinar as inter-relações entre as variáveis.

Na análise de componentes principais, o componente principal 1 (CP1) é sempre o que tem a maior variância, sendo que o componente principal 2 (CP2) tem a propriedade de ter a maior variância possível que não é correlacionado com o primeiro componente (Manly, 2008), ou seja, os dois componentes são ortogonais e formam um ângulo de 90º.

O CP1 foi responsável por explicar 44,79% da variância, já o CP2, explicou 13,66% da variância e juntos (CP1 + CP2) explicaram 58,45% da variância acumulada (Tabela 20).

O CP1 foi denominado o componente da *Composição Química* das silagens, composto pelas variáveis FDA, FDN, NDT, VRN, amido e DIVMO; e o CP2 foi o

componente da *Composição Física e Colheita*, composto pelas variáveis Peneira 1, TMP, KPS e concatenados o Prestador de Serviços e Marca da Máquina de Colheita. É importante observar, que as variáveis que tinham autovetores altos sobre o primeiro eixo tendem a ter menor autovetor no segundo eixo (Tabela 20).

A separação do KPS em um componente ortogonal das características químicas da silagem, reforça o posicionamento anterior, cujas correlações (apesar de algumas terem sido significativas), foram de baixa intensidade, tanto para as variáveis relacionadas à fibra (Tabela 14), quanto as variáveis energéticas (Tabela 15). Porém, a disponibilidade do amido, por exemplo, é influenciada pelo KPS, e duas silagens com o mesmo teor de amido podem ter grau de aproveitamento diferente para o animal (Ferreira e Mertens, 2005). Além disso, dentro do mesmo componente (CP2) e com sinal contrário, o KPS apresentou alta relação inversa com o TMP, Peneira 1 e Peneira 2, mais uma vez corroborando com os dados anteriores (Tabela 16).

A variável “Terceirização” foi determinada pela concatenação do Tipo de Colheita (Própria ou Terceirizada) e Tipo de Máquina (Tratorizada ou Automotriz). Apesar da terceirização pouco influenciar tanto no CP1 e CP2, essa variável tem relação com o KPS, ou seja, quem terceiriza a colheita da silagem tende a ter maiores valores de KPS (Figura 15).

Tabela 20. Coeficientes de correlação entre as variáveis e dois componentes principais.

Variável	**Componentes**	
	CP1	**CP2**
	Composição Química	*Composição Física e Colheita*
Prestador e Marca Máquina	-0,0591	**0,3375**
Terceirização	0,0529	-0,0334
MS	0,1977	-0,1546
FDA	**-0,4001**	-0,0921
FDN	**-0,3979**	-0,1280
NDT	**0,3868**	0,1553
VRN	**0,3998**	0,1120
Amido	**0,3730**	0,0723
DIVMO	**0,3477**	0,1244
P1	-0,0655	**0,2806**
P2	-0,1092	**0,3294**
TMP	-0,2108	**0,5404**
KPS	0,0773	**-0,5473**
Variância Explicada (%)	**44,79**	**13,66**
Variância Acumulada (%)		**58,45**

A Figura 14 apresenta o gráfico *biplot* dos dois primeiros componentes, possibilitando uma visualização global dos principais agrupamentos no conjunto de variáveis. Os padrões de associação entre as variáveis estão em função das proximidades entre si, sendo que variáveis altamente correlacionadas tendem a ficar juntas e na mesma direção. Dessa forma, a proximidade dos vetores que representam as variáveis DIVMO, NDT, AMIDO e VRN indicam que estes têm alta correlação entre si. Esses dados estão de acordo com a análise de correlação univariada entre as variáveis (Tabela 21).

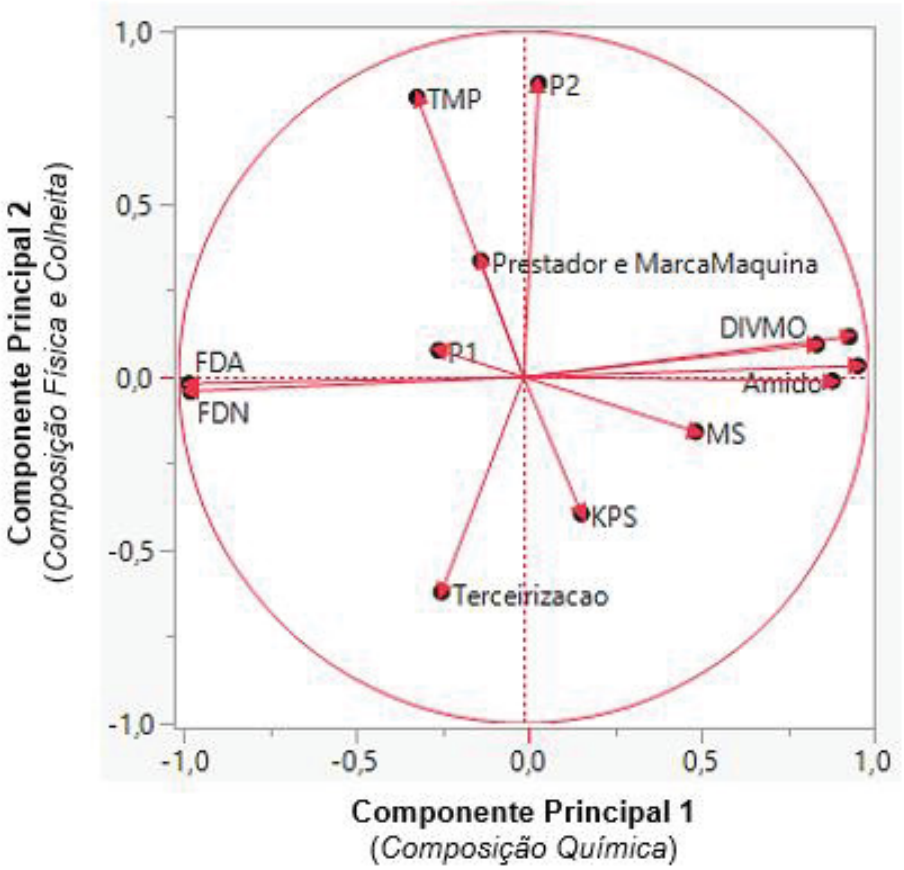


Figura 14. Gráfico *biplot* representativo do Componente Principal 1 (CP1) e Componente Principal 2 (CP2).

Tabela 21. Correlação entre as variáveis energéticas (Pr>F e r).

Variável	DIVMO	NDT	AMIDO	VRN
DIVMO		0,85	0,64	0,79
NDT	**< 0,0001**		0,84	0,92
AMIDO	**< 0,0001**	**< 0,0001**		0,85
VRN	**< 0,0001**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	

Da mesma forma, a localização e proximidade da FDA e FDN indicam alta correlação entre elas (*P < 0,0001* e r = 0,95, dados de correlação univariada).

Por apresentarem sinal contrário e posicionar-se também ao lado contrário dentro do mesmo componente principal (CP1), as variáveis energéticas (DIVMO,

NDT, AMIDO e VRN) e as variáveis relacionadas a fibra (FDA e FDN), indicam justamente o contraste entre elas, com altas e negativas correlações. Os dados são confirmados na Tabela 22. As fibras e o amido são as principais frações nutricionais da cultura do milho, onde maiores teores de amido e maior digestibilidade da fibra são fatores nutricionalmente desejáveis.

Tabela 22. Correlação entre FDA e FDN, com as variáveis energéticas das silagens.

Variável	**FDA (%)**		**FDN (%)**	
	r	**Pr > F**	**r**	**Pr > F**
DIVMO	-0,83	**< 0,0001**	-0,78	**< 0,0001**
NDT	-0,90	**< 0,0001**	-0,93	**< 0,0001**
AMIDO	-0,85	**< 0,0001**	-0,86	**< 0,0001**
VRN	-0,96	**< 0,0001**	-0,99	**< 0,0001**

Depois de verificada todas as associações entre as variáveis, foram construídas duas árvores de decisões (Figuras 15 e 16). Para a análise, o valor de KPS limitante foi 50%, sendo que silagens com KPS menor que 50% foram classificadas como “Inadequado” e silagens com valores de KPS maior que 50% classificadas como “Adequado”.

Na primeira árvore foram adicionadas as variáveis: Colheita (Terceirizada ou Própria), Tipo de Máquina, Marca da Máquina, Fungicida e *Stay Green*. A variável Prestador de Serviço não foi adicionada, pois os dados apresentaram confundimento devido ao grande número de empresas.

Na Figura 15 estão retratadas as associações resultantes da primeira árvore. Foram classificadas apenas duas variáveis com maior associação com os dados de KPS: o *Stay Green* e a Marca da Máquina. Os dados concordam com a análise de Qui-Quadrado, onde a as associações mais fortes foram para estas duas variáveis (Tabela 4 e Tabela 7, respectivamente), sem considerar o Prestador de Serviços como mencionado anteriormente.

Em um primeiro momento é possível observar que do total de silagens avaliadas, 58% foram classificadas com processamento “Inadequado”. A primeira variável que descrimina o KPS das silagens em “Adequado” ou “Inadequado”, é o *Stay Green*. Do conjunto de dados total, 81% das silagens não possuíam híbridos com *Stay*

Green, e destas, 62% tinham KPS “Inadequado”. Dos 19% que possuíam *Stay Green*, 40% das silagens tinham o KPS “Inadequado”.

Depois do *Stay Green*, o que influenciou o KPS foi a Marca da Máquina, sendo que dentre as silagens com híbridos com *Stay Green*, metade foi colhida com Claas, John Deere ou Nogueira (representando 10% do conjunto total de dados); dentro destas amostras, 27% das silagens estavam na categoria “Inadequado”. Já a outra metade com *Stay Green*, colhidas com outras máquinas, apresentaram 54% das silagens na classe “Inadequado”.

Esta primeira árvore de decisão classificou a Marca da Máquina como um componente mais importante em relação ao Tipo de Máquina, de forma semelhante a análise de componentes principais (Tabela 20). Um dos fatores que pode estar relacionado a isso é a alta média de KPS da máquina tratorizada da marca Nogueira. A separação entre as marcas das máquinas, apresentou resultado semelhante aos dados da Tabela 12, sem diferença estatística pelo teste de Tukey-Kramer entre as máquinas Claas e Nogueira. A diferença foi que a árvore de decisão não classificou a marca Krone neste mesmo grupo e colocou a John Deere. Uma possível explicação pode estar relacionada a marca Krone ter o resultado de KPS mais baixo (8,74%) e a marca John Deere ter um KPS máximo maior do que a Krone (80,27 versus 74,52%).

Diante disso, estes dados podem ajudar o produtor na tomada de decisão, podendo talvez optar por híbridos com *Stay Green* e preferir por máquinas das marcas Claas, John Deere e Nogueira, porém, os dados resultantes da árvore utilizaram apenas o fator KPS como ponto de decisão e no processo de produção de silagem compreende outros fatores que também são importantes e devem ser levados em consideração.

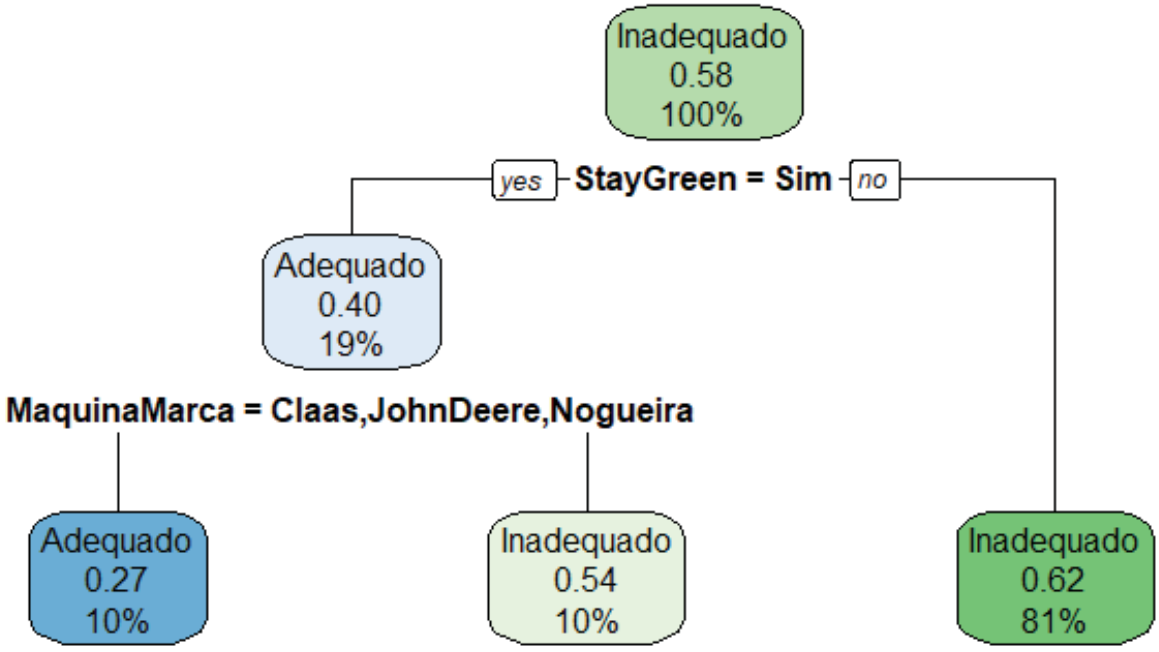


Figura 15. Árvore de decisão com a Marca da Máquina.

Na segunda árvore a variável Marca da Máquina foi retirada da avaliação, supondo que o produtor não saberia qual a Marca de Máquina seria utilizada, apenas se seria automotriz ou tratorizada (Figura 16). Assim, as variáveis adicionadas foram: Colheita (Terceirizada ou Própria), Tipo de Máquina, Fungicida e *Stay Green*.

O *Stay Green* continuou como primeiro critério de classificação, sugerindo mais uma vez que esta característica pode ser interessante para auxiliar no KPS das silagens, desde que sejam respeitados todos os critérios de manejo deste tipo de híbrido.

Do conjunto de dados em que os híbridos possuíam a característica de *Stay Green*, o Tipo de Máquina determinou uma segunda classificação, sendo que as silagens com *Stay Green* e que foram colhidas com máquina tratorizada (3%) apresentaram 61% com a classificação de KPS como “Inadequado”. As silagens com *Stay Green* e colhidas com automotriz (16%) apresentaram 36% classificadas com KPS “Inadequado” (Figura 16).

Nesta segunda árvore foi possível observar que, em média, as máquinas automotrizes foram superiores as máquinas tratorizadas nos valores de KPS. Os dados concordam com os da Tabela 11 e Figura 10.

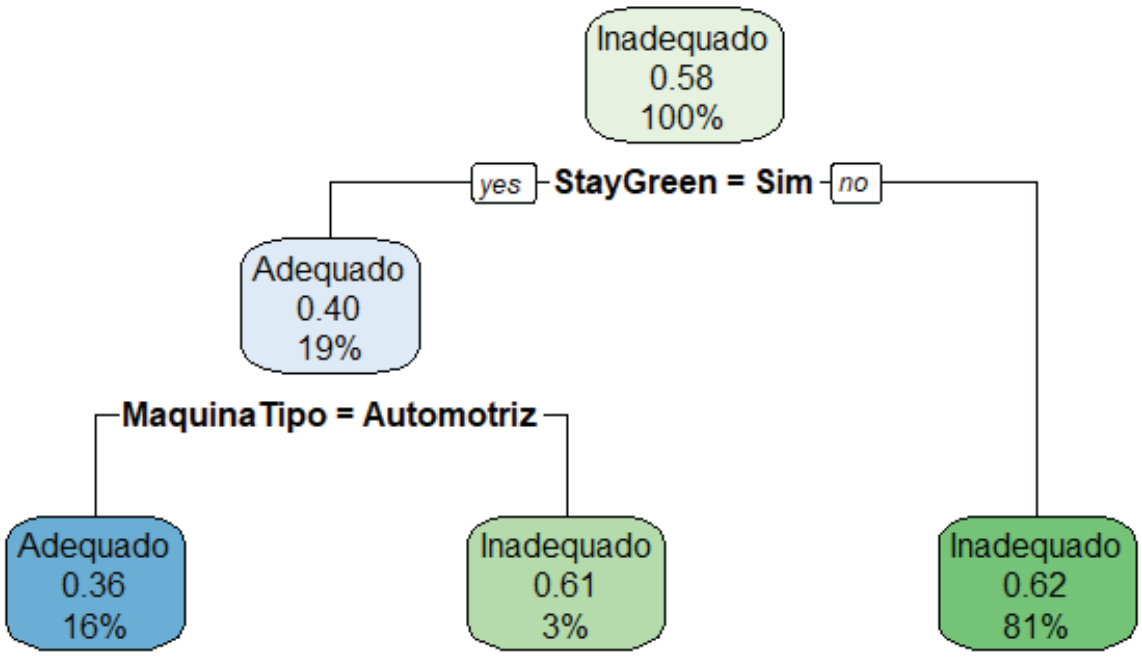


Figura 16. Árvore de decisão com o Tipo de Máquina.

4.4. CONCLUSÕES

O processamento dos grãos da região de estudo evoluiu de maneira significativa durante os quatro anos de avaliações; porém ainda pode melhorar para atingir os padrões médios de países Norte Americanos e Europeus.

As propriedades químicas das silagens possuem baixas correlações com o KPS, e as características físicas têm correlações significativas e inversas. Máquinas automotrizes têm maior capacidade de processamento de grãos em relação a máquinas tratorizadas sem sistema de processamento. Contudo, todas as marcas e tipos de máquinas são capazes de produzir silagens com KPS ótimo, desde que estejam bem reguladas e com boas condições de trabalho. A escolha do Prestador de Serviços é de fundamental importância.

Nenhuma das variáveis é responsável sozinha por explicar toda a variância do KPS, e o ótimo processamento de grãos é definido por uma série de estratégias conjuntas, desta forma, a escolha do híbrido, práticas de colheita, tipo de máquina, marca da máquina, prestador de serviços, tamanho de partículas são fatores que juntos contribuem para o ótimo processamento de grãos das silagens.

4.5. REFERÊNCIAS

ALLEN , M.S.; COORS, J.G.; ROTH, G.W. Corn Silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Ed.) **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2003. p.547-608.

BERCHIELLI, T. T; PIRES, A. V e OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal, SP, 2006. 583p.

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

BERNARDES, T.F. **Levantamento das práticas de produção e uso de silagens em fazendas leiteiras no Brasil.** 2012. 17f. E-book – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARVALHO, I.Q. de. **Tecnologia da produção de silagem de milho em sistemas de produção de leite.** 2013. 83f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá.

CASSOLI, L.D.; AMARAL, R.C. Raio X da qualidade da silagem de milho. **Milk Point**, 2018. Disponível em: < https://www.milkpoint.com.br/colunas/esalqlab/raio-x-da-qualidade-da-silagem-de-milho-207669/> Acesso em: 29 setembro 2019.

COOKE, K.M.; BERNARD, J.K. Effect of Length of Cut and Kernel Processing on Use of Corn Silage by Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.1, p. 310-316, 2005.

CTRH ZOOTECNIA. **Silagem de milho na alimentação de vacas leiteiras.** 2019. 21f. E-book – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, Piracicaba.

DANIEL, J.L.P.; BERNARDES, T.F.; JOBIM, C.C. et. al. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil**. Grass and Forage Science**, p. 1-13, 2019.

DEMIATE, I.M., KONKEL,F.E., PEDROSO, R.A. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de doce de leite pastoso – composição química. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n.1, p.108-114, 2001.

DHIMAN, T.R.; BAL, M.A.; WU, Z. et. al. Influence of Mechanical Processing on Utilization of Corn Silage by Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.83, p. 2521-2528, 2000.

DIAS JUNIOR, G.S. **Processamento de silagem de milho e suplementação de vacas leiteiras com enzimas fibrolíticas.** 2016. 180f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

DIAS JUNIOR, G.S.; FERRARETTO, L.F.; SALVATI, G.G.S. et. al. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.99, n.4, p.2719-2729, 2016.

EBLING, T.L.; KUNG JR., L. A Comparison of Processed Conventional Corn Silage to Unprocessed and Processed Brown Midrib Corn Silage on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.8, p. 2519–2527, 2004.

EUN, J.S.; BEAUCHEMIN, K.A.; HONG, S.H. et. al. Effects of Mechanical Processing on the Nutritive Value of Barley Silage for Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.12, p. 4170-4177, 2004.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D.; LUCK, B.D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. **Journal of Dairy Science**, v.101, n.5, p. 3937-3951, 2017.

FERRARETTO, L.F.; CRUMP, P.M.; SHAVER, R.D. Effect of ensiling time and exogenous protease addition to wholeplant corn silage of various hybrids, maturities, and chop lengths on nitrogen fractions and ruminal in vitro starch digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.12, p. 8869-8881, 2015.

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, p. 141-149, 2012.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Effect of Corn Shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v.28, p. 639–647, 2012a.

FERREIRA, J.J. Características qualitativas e produtivas da planta de milho e sorgo para silagem. 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.383-404.

FERREIRA, G.; MERTENS, D.R. Chemical and Physical Characteristics of Corn Silages and Their Effects on In Vitro Disappearance. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.12, p. 4414–4425, 2005.

FUNDAÇÃO ABC. **Tabela modelo pagamento KPS - Frísia.** 2019. Relatório de Pesquisa – Fundação ABC, Castro. (Área Restrita – Dados Não Publicados).

GOESER, J. Corn Silage Kernel Processing Score (KPS) Guidelines and Benchmarks. **Rock River Laboratory**, 2017.

GOMIDES, G.C. **Fatores determinantes na ensilagem de milho: Da colheita à utilização.** 2013. 31f. Monografia (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

HEINRICHS, J. The Penn State Particle Separator. **Penn State Cooperative Extension**, v.13, n.183, 2013.

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, p.2813-2825, 1999.

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, p.2438-2451, 2003.

KUNG JR, L.; MUCK, R. Silage harvesting and storage. In: LARGE DAIRY HERD MANAGEMENT, 3., 2017, Champaign, IL. **American Dairy Science Association (ADSA).** Champaign, 2017. p. 723-738.

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.

LOPES, J.C.; SHAVER, P.C.; HOTTMAN, M.S. et al. Type of corn endosperm influences nutrient digestibility in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.92, p. 4541-4548, 2009.

LUCK, B.; WILLETT, R.; DREWRY, J. **Monitoring kernel processing during harvest**. University of Wisconsin-Madison, 2019. Disponível em: https://www.canr.msu.edu/msu_agriculture_innovation_day/uploads/files/Kernel%20processing%20score%20final.pdf. Acesso em: 28 setembro 2019.

MAHANNA, B. et. al. **Silage Zone Manual.** 2019. 83f. Pioneer-Corteva, Delaware, United States.

MANLY, B.J.F. **Métodos Estatísticos Multivariados: Uma Introdução.** Porto Alegre, RS, 2008. 229p.

MARAFON, F.; NEUMANN, M.; CARLETTO, R. et.al. Características nutricionais e perdas no processo fermentativo de silagens de milho, colhidas em diferentes estádios reprodutivos com diferentes processamentos de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.2, p.917-932, 2015.

MERTENS, D.R. **Particle Size, Fragmentation Index, and Effective Fiber: Tools for Evaluating the Physical Attributes of Corn Silages**. Madison, 2005. Disponível em: http://www.whminer.org/pdfs/Mertens%20particle%20size%204%20state%202005.pdf. Acesso em: 28 setembro 2019.

MUCK, R.E.; MOSER, L.E.; PITT, R.E. Postharvest factors affecting ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARISSON, J.H. (Ed.) **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.; SHINNERS, K.J. et al. Conserved forage (silage and hay): progress and priorities. **University of Wisconsin-Madison**, 2001. 32p.

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, 1., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM/CCA/DZO, 2001. p.127-145.

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.

PFISTER, M. **Increase corn silage value with proper kernel processing**. 2014. Disponível em:< https://www.progressivedairycanada.com/topics/feed-nutrition/increase-corn-silage-value-with-proper-kernel-processing> Acesso em: 28 junho 2019.

PIONEER SEMENTES. **Colheita**. 2019. Disponível em: < http://www.pioneersementes.com.br/silagem/colheita/> Acesso em: 20 Fevereiro 2020.

RAMOS, M.H. Panorama da qualidade das silagens de milho no Brasil. **Revista Leite Integral**, 2016. Disponível em:< http://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/panorama-da-qualidade-das-silagens-de-milho-no-brasil> Acesso em: 29 junho 2019.

SALVATI, G.G.S. **Strategies to improve kernel processing and dairy cow performance in wholeplant corn silage based on vitreous endosperm hybrid.** 2019. 89f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba.

SALVATI, G.; BERNARDES, T.F. Você é eficiente em colher milho para silagem? **Milk Point**, 2016. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/thiago-fernandes-bernardes/voce-e-eficiente-em-colher-milho-para-silagem-103049n.aspx?r=600276768#> Acesso em: 28 junho 2019.

SALVATI, G.G.S.; FERRARETTO, L.F.; DIAS JÚNIOR, G.S. et al. Survey of mean particle length in whole-plant corn silage. **American Registry of Professional Animal Scientists**, v.33, p. 708–715, 2017.

SALVATI, G.; SHAVER, R.; LIPPERT, M. et al. Corn Silage Processing: Dairy Farm Survey. **University of Wisconsin**, 14p. 2014.

SCHMIDT, P.; NUSSIO, L.G. **Silagem De Milho Produzir Terceirizar Ou Comprar Silage Pronta**. 2010. Disponível em: < http://www.ensilagem.com.br/silagem-de-milho-produzir-terceirizar-ou-comprar-silagem-pronta/> Acesso em: 20 Fevereiro 2020.

SCHWAB, E.C.; SHAVER, R.D.; SHINNERS, K.J. et.al. Processing and Chop Length Effects in Brown-Midrib Corn Silage on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.85, n.3, p. 613-623, 2002.

SHAVER, R.D.; FERRARETTO, L.F. **Making Sense of Modern Feed Tests**. University Wisconsin - Dairy Science Department, 2016. Disponível em: < https://www.shaverlab.dysci.wisc.edu/> Acesso em: 29 junho 2019.

SHAVER, R.; HOFFMAN, P.; LAUER, J. et al. Milk 2006 for Corn Silage. **University of Wisconsin Corn Silage Evaluation System.** 2006.

SHINNERS, K.J.; HOLMES, B.J. Making Sure Your Kernel Processor Is Doing Its Job. **Focus on Forage**, v.15, n.4, 2013.

SHINNERS, K.J.; JIROVEC, A.G.; SHAVER, R.D. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. **Applied Engineering in Agriculture**, v.16, n.4, p.323-331, 2001.

TEODORO, A.G.; FERREIRA, L.G.S.; LACERDA NETO, J.I. et al. Colheita de milho para silagem com colhedora de forragem montada em trator agrícola. In: SEMANA DO CURSO DE ZOOTECNIA- SEZUS, 1., 2013, São Luís de Montes Belos. **Anais...** São Luís de Montes Belos: UEG, 2013. p.13-15.

UENO, S.; SOUZA JUNIOR, C.L. Herança do caráter stay-green em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 8., 2015, Piracicaba. **Anais...** Goiânia: 2015.

VANDERWERFF, L.M.; FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Brown midrib corn shredlage in diets for high-producing dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v.98, n.8, p.1-11, 2015.

WEISSBACH, F.; HONIG, H. Über die vorhersage und steuerung des gärungsverlaufs bei der silierung von grünfutter aus extensivem anbau. **Landbauforschung Völkenrode,** Heft 1,10-17, Germany, 1996.

ZEBELI, Q.; ASCHENBACH, J.R.; TAFAJ, M. et.al. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.95, n.3, p. 1041-1056, 2012.

5. CAPÍTULO III

INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS NO APROVEITAMENTO DO AMIDO E PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE NA REGIÃO CENTRO ORIENTAL PARANAENSE

INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO DE GRÃOS (KPS) DAS SILAGENS NO APROVEITAMENTO DO AMIDO E PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LEITE NA REGIÃO CENTRO ORIENTAL PARANAENSE

RESUMO

Comparado com outros nutrientes, o amido foi o tópico de pesquisa mais subestimado em nutrição de gado de leite por muitos anos e estimulado pelo alto custo do milho em relação a preços históricos, existe um crescente interesse em otimizar a utilização do amido, melhorando o desempenho produtivo e reduzindo os custos com alimentação. O grau de processamento dos grãos da silagem de milho altera a digestibilidade desse amido. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do processamento dos grãos da silagem, sua influência nas perdas por amido fecal, determinar as variações na produção e composição do leite e realizar análise financeira através do pagamento final do leite ao produtor. Durante o período de janeiro a junho de 2017 foram visitadas 100 propriedades, em 17 municípios da região Centro Oriental Paranaense. Foram avaliadas 90 amostras de silagens utilizadas na alimentação dos animais, 61 dietas correspondentes, 90 fezes para análise de amido fecal e 43 controles leiteiros. O valor mínimo de amido fecal foi de 3,8% e o máximo de 12,3%, com média de 7,0±1,9%. O tempo de armazenamento da silagem resultou em uma correlação significativa e negativa com o amido fecal ($P = 0,0303$ e r = -0,28). O escore visual de amido fecal também resultou em correlação significativa com o amido fecal ($P < 0,0001$ e r = 0,58). A colheita terceirizada e a utilização de automotriz resultaram em menores valores de amido fecal em relação as colheitas próprias e colheitas com máquinas tratotizadas. Os parâmetros de composição química da silagem não foram correlacionados com os teores de amido fecal. A produção de leite e produção de leite corrigida para 4% de gordura significativa e negativa com o amido fecal ($P = 0,0393$ e r = -0,32, $P = 0,0092$ e r = -0,39, respectivamente), a produção total de gordura e proteína do leite também foram correlacionadas significativamente e negativamente como amido fecal. O KPS das silagens foi correlacionado negativamente e de alta magnitude com amido fecal ($P < 0,0001$ e r = -0,50). As silagens de milho que estavam com KPS inadequado, resultaram em valores de amido fecal de 6,7% e silagens com processamento adequado resultaram em valores de 6,1% de amido fecal ($P = 0,4151$). Todas as equações de digestibilidade aparente total do amido avaliadas neste trabalho resultaram em correlação significativa e positiva com o KPS das silagens. A produção de leite e a produção de leite corrigida para 4% de gordura foram correlacionadas de forma significativa e positiva com o KPS das silagens, da mesma forma para a composição do leite. Portanto, a maior perda por amido fecal reduz produção e composição do leite e está correlacionado com o processamento dos grãos da silagem, que por sua vez também influenciam na produção e composição do leite e podem resultar em grande impacto econômico para o produtor.

Palavras-chave: amido fecal, ensilagem, gordura do leite, proteína do leite, silos

INFLUENCE OF KERNEL PROCESSING SCORE (KPS) OF SILAGES ON THE USE OF STARCH AND MILK PRODUCTION AND COMPOSITION IN THE CENTRAL REGION OF *PARANÁ*

ABSTRACT

Compared to other nutrients, starch has been the most underestimated research topic in dairy cattle nutrition for many years and stimulated by the high cost of corn compared to historical prices, there is a growing interest in optimizing the use of starch, improving performance productive and reducing food costs. The degree of processing of the corn silage kernel alters the digestibility of its starch. The goal of this work was to evaluate the effect of silage kernel processing, its influence on fecal starch losses, estimate variations in milk production and composition, and the economics on the milk price. From January to June 2017, 100 farms were visited in 17 counties in the Centro Oriental of *Paraná* region. 90 silage samples fed to the animals were evaluated, 61 corresponding TMR, 90 feces for fecal starch analysis and 43 milk production controls. The lowest fecal starch value was 3.8% and the highest was 12.3%, with an average of 7.0 ± 1.9%. The storage time of the silage resulted in a significant and negative correlation with fecal starch ($P = 0.0303$ and r = -0.28). The visual score of fecal starch also resulted in a significant correlation with fecal starch ($P < 0.0001$ and r = 0.58). Outsourced harvesting and the use of self-propelled machines resulted in lower fecal starch values compared to own harvests and pull-type machines. The chemical composition parameters of the silage were not correlated with the fecal starch contents. Milk production and 4% fat-corrected milk production were significantly and negatively correlated with fecal starch ($P = 0.0393$ and r = -0.32, $P = 0.0092$ and r = -0.39, respectively). Total milk fat and protein production were also significantly and negatively correlated with fecal starch. The KPS of the silages was negatively and strongly correlated with fecal starch ($P < 0.0001$ and r = -0.50). Corn silages with inadequate KPS resulted in fecal starch values of 6.7% and silages with adequate processing resulted in 6.1% fecal starch values ($P = 0.4151$). All the apparent starch digestibility equations evaluated here resulted in significant and positive correlation with the silage KPS. Milk production and 4% fat-corrected milk production were significantly and positively correlated with the KPS of silages, as well as the milk composition. Thus, the greater loss by fecal starch impairs milk production and milk composition, and it is correlated with the processing of grains during silage harvesting, which can result in great economic impact to the farmers.

Keywords: ensilage, fecal starch, ground silos, milk fat, milk protein

5.1. INTRODUÇÃO

A silagem de planta inteira de milho é a forrageira mais utilizada para bovinos leiteiros em todo o mundo (Ferraretto et al., 2017) e o maior componente das dietas na região Centro Oriental Paranaense (Janssen, 2009).

Os grãos de milho possuem cerca de 72-74% de amido (Paes, 2006), representando 50% do total da matéria seca da planta (Mertens, 2005), com variações entre 16 a 46% nos teores de amido total das silagens (Ferraretto e Shaver, 2015), chegando a extremos de 5 a 47% na região Centro Oriental Paranaense, Brasil (Mello e Dalle Carbonare, 2018).

Comparado com outros nutrientes, o amido foi o tópico de pesquisa mais subestimado em nutrição de gado de leite por muitos anos (Ferraretto, 2016). Estimulado pelo alto custo dos grãos de cereais, principalmente do milho em relação a preços históricos, existe um crescente interesse em otimizar a utilização do amido pelos ruminantes (Fredin et al., 2014), melhorando o desempenho produtivo e reduzindo os custos com alimentação (Ferraretto et al., 2013).

Muitos fatores podem afetar a taxa e a extensão da digestão do amido pelo ruminante, interferindo de forma dinâmica na quantidade de amido que será fermentado no rúmen ou que chegará ao intestino (Berchielli et al., 2006).

Para as vacas digerirem eficientemente este amido, os grãos devem ser processados e quebrados em pequenas frações (Shinners e Holmes, 2013).

A digestibilidade total deste amido deve ser superior a 98%, considerada adequada até valores próximos a 95%; valores abaixo deste são inadequados (Fredin, 2015), embora o grau de processamento altere muito esse número. O local e a extensão da digestão do amido pelos animais ruminantes variam de acordo com a espécie, tipo de grão e método de processamento (Owens, 1986). O amido que não foi capaz de ser absorvido pelas diferentes etapas de aproveitamento, é eliminado nas fezes (Fredin et al., 2014).

A avaliação do teor de amido presente nas fezes tem ganhado grande importância nos últimos anos, com foco em maximizar a eficiência na nutrição dos ruminantes, sobretudo em animais confinados. O amido fecal é uma ferramenta de diagnóstico para estimar a digestibilidade e quantificar quimicamente as partículas de amido da ração total não aproveitadas (Johnson, 2017).

Nos rebanhos leiteiros, é comum observar visualmente fezes de vacas contendo quantidade considerável de partículas de milho não digerido (Arcari e Santos, 2013). A análise laboratorial do amido fecal, por sua vez, é mais precisa pois detecta ainda pequenas partículas e fragmentos de amido não visíveis a olho nu. Mais recentemente, a avaliação do KPS (*Kernel Process* Score) tem sido aplicada como forma indireta de predizer as perdas por amido fecal.

A fragmentação mecânica dos grãos aumenta a extensão da degradação de amido no rúmen (Owens, 1986) sendo a mais eficiente fonte energética para o ruminante (Berchielli et al., 2006), sendo útil para crescimento, manutenção e/ou lactação (Owens e Soderlund, 2007).

Embora os benefícios de maior digestibilidade do amido na produção de leite sejam bem conhecidos, não é simples estimar seu impacto econômico (Ferraretto, 2016).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do processamento dos grãos da silagem, sua influência nas perdas por amido fecal, estimar as variações na produção e composição do leite e o efeito econômico no pagamento final do leite ao produtor.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. Local de avaliação

Durante o período de janeiro a junho de 2017 foram visitadas 100 propriedades, em 17 municípios da região Centro Oriental Paranaense. Foram avaliados 90 silos utilizados na alimentação dos animais, 61 dietas correspondentes e 90 fezes para análise de amido fecal.

Todas as propriedades visitadas são associadas das cooperativas Capal, Frísia e Castrolanda, e juntas produzem em torno de 1.700.000 litros de leite por dia, com 70.000 vacas em lactação, produção de leite de 18 a 42 litros/vaca/dia e média de aproximadamente 24 litros/vaca/dia, sendo cerca de 25.000 hectares destinados à produção de silagem de milho por safra.

As propriedades foram selecionadas visando abranger a maior variabilidade em tamanho das áreas, manejo alimentar dos animais e sistemas de produção, em busca de resultados que explicassem todos os níveis tecnológicos.

5.2.2. Dados silagens

Em todos os silos foram coletados dados relativos à colheita que deram origem a silagem avaliada. Na Tabela 1 estão apresentadas as variáveis e suas possíveis respostas.

Tabela 1. Variáveis utilizadas no levantamento de dados e possíveis respostas.

Variável	**Respostas**	
Colheita	Própria	Terceirizada
Tipo Máquina	Tratorizada	Automotriz

O tempo de armazenamento foi determinado pela diferença entre o dia da colheita da silagem e o dia da coleta da amostra.

5.2.3. Coleta de amostras silagem

As amostragens foram realizadas pelos técnicos das cooperativas responsáveis pela área da pecuária e nutrição dos animais de cada propriedade. Todos os avaliadores passaram por um treinamento prévio para padronização de metodologia.

Nos silos visitados foram coletadas amostras estratificadas em cinco pontos no painel de acordo com o tipo de silo, de acordo com o tipo de silo demonstrado nas Figuras 2 e 3 do Capítulo I.

As cinco subamostras foram depositadas em lona limpa, seca e posteriormente homogeneizadas. Para evitar a segregação dos grãos e das fibras, a amostra composta foi dividida em quatro partes iguais, descartado os dois quartos opostos, misturada novamente e quarteada mais uma vez, também como demonstrado nas Figuras 4 e 5 do Capítulo I.

Após esse processo, toda a silagem que restou foi colocada em saco plástico (aproximadamente 1 kg), identificada e envida ao abcLab (Castro, Paraná) para as análises.

A preferência era que a amostra chegasse ao laboratório no mesmo dia da coleta, mas como alguns municípios eram distantes, as amostras eram acondicionadas em geladeira por até 24 horas ou congeladas por até sete dias.

5.2.4. Coleta de amostras dieta

As amostragens da dieta total (TMR) foram realizadas diretamente no cocho após depositadas pelo vagão misturador, enquanto ainda estava intacta e não alterada pelas vacas, foram coletadas dez sub amostras, homogeneizadas, acondicionadas em saco plástico, vedadas, identificadas e envidas ao abcLab (Castro, Paraná) para as análises de amido (Demiate et al., 2001) e lignina (Van Soest et al., 1991).

5.2.5. Coleta de amostras amido fecal

Com uma colher de sopa, foram coletados dez bolos fecais recém excretados no piso das instalações e íntegros do lote de alta produção. Caso não houvesse separação das vacas em lotes de produção, a coleta era realizada do lote único. As amostras foram acondicionadas em recipiente plástico com tampa, identificadas e envidas ao abcLab (Castro, Paraná) para as análises de amido (Demiate et al., 2001) e lignina (Van Soest et al., 1991). A Figura 1 ilustra o momento da coleta em uma das propriedades.

Figura 1. Ilustração do momento da coleta de esterco para a análise de amido fecal.

5.2.6. Escala de Escore Fecal

Para a avaliação visual do escore de amido fecal, foi proposta nesta tese uma escala de acordo com a quantidade de grãos visíveis nas fezes no momento de coleta (Figura 2).

Figura 2. Ilustrações utilizadas para a avaliação visual do escore de amido fecal.

5.2.7. Tamanho de partículas silagem

A distribuição e tamanho médio de partículas (TMP) foram determinados com uso das peneiras no modelo Penn State, que consistem em três peneiras com diâmetros de 19,0, 8,0 e 4,0 mm, mais uma caixa de fundo (Lammers et al., 1996), como descrito no Capítulo I, item 3.2.4.

Tabela 2. Recomendação da distribuição adequada do tamanho de partículas para silagem de milho (Heinrichs, 2013).

Peneira	Tamanho da Peneira	Distribuição Adequada
1	> 19 mm	3-8%
2	8 a 19 mm	45-65%
3	4 a 8 mm	40-30%
4	< 4 mm	<10%

5.2.8. Processamento de grãos (KPS)

Para determinação do KPS uma amostra de aproximadamente 300 g foi seca por no mínimo 18 horas à 60ºC em estufa de circulação de ar forçada (SS Scientific – S.S. Santana – Tecnologia Científica), a amostra seca foi transferida para o conjunto de peneiras de 19,0; 13,2; 9,5; 6,7; 4,75; 1,18 mm e o fundo e agitado por 10 minutos em agitador de peneiras.

Após a separação das partículas pelas peneiras, os resíduos das peneiras foram agrupados resultando em duas amostras, partículas maiores que 4,75 mm (>4,75 mm) e as menores que 4,75 mm (<4,75mm), cada amostra foi moída em moinho martelo, marca Peppink, modelo 200 AN, em peneira de 1 mm e determinado o amido de cada fração. O KPS foi definido pela porcentagem de amido que passa pela peneira de 4,75 mm em relação a porcentagem de amido retido na peneira de 4,75 mm e a porcentagem da fração de amostra que passou pela peneira de 4,75 mm (Mertens, 2005):

Cálculo Peneiras:

$$\% \text{ retido Peneiras} = (P3 - P2) \times P1 \times 100$$

Onde:

- P1: peso amostra úmida
- P2: peso das peneiras mais amostra após agitação (19,0 a 4,75 mm)
- P3: peso das peneiras mais amostra após agitação (Fundo)

$$KPS\ (\%) = \frac{(peneira\ fundo < 4{,}75mm\ X\ amido < 4{,}75mm)}{(peneira\ fundo < 4{,}75mm\ X\ amido < 4{,}75mm) + (amido > 4{,}75\ mm * (100 - peneira\ fundo < 4{,}75\ mm)} X\ 100$$

Análise de amido foi determinada pela metodologia enzimática, descrita por Demiate et al. (2001) e detalhada no Capítulo I, item 3.2.6.

Na Tabela 3, está demonstrada a categorização do processamento de grãos definida pela metodologia do KPS.

Tabela 3. Categorização do processamento de grãos da silagem pela metodologia do KPS (Shinners e Holmes, 2013).

Categoria	**KPS (%)**
Ótimo	>70%
Bom	50 – 69%
Ruim	<50%

5.2.9. Análises em NIRS silagens

As amostras permaneceram por no mínimo 18 horas à 60ºC em estufa de circulação de ar forçada (SS Scientific – S.S. Santana – Tecnologia Científica), em seguida foram moídas em moinho, marca Peppink, modelo 200 AN, em peneira de 1 mm.

Os teores de nutrientes foram analisados pela técnica da espectrofotometria de refletância no infravermelho proximal (NIRS), com equipamento da marca FOSS® (XDS 2500), comprimento de onda 400-2500 nm, intervalo de dados espectrais 0,5 nm e calibração do laboratório holandês BLGG (Tabela 4). As variáveis analisadas foram: umidade final, fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), nutrientes digestíveis totais (NDT), valor relativo nutricional (VRN), amido, digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro (DIVFDN), lignina e digestibilidade do amido (DIVAMIDO). As equações de validação das curvas estão descritas no Capítulo I, item 3.6.7, Tabela 4.

A estimativa da produção de leite relativa ao consumo da silagem (kg T^{-1} MS) foi calculado através da planilha Milk 2006 da Universidade de Wisconsin (Shaver et al., 2006).

5.2.10. Análises Produção e Composição do Leite

Foram utilizados dados de 43 controles leiteiros realizados pela Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH), localizada no município de Curitiba-PR. Para composição da base de dados, foi utilizado o controle leiteiro com data mais próxima da coleta do esterco e da silagem de milho que os animais estavam comendo. Em média foram 11±8 dias entre as coletas na propriedade e a realização do controle.

Foi mensurada a produção de leite média do lote de alta, através do controle individual dos animais pertencentes a este grupo e o parâmetros analisados no leite foram: porcentagem de gordura, proteína e sólidos totais pela análise técnica da espectrofotometria de refletância no infravermelho proximal (NIRS), com equipamento da marca Bentley 2000®. A contagem de células somáticas (CCS) foi determinada por meio da metodologia de citometria de fluxo, a qual realiza medições de características celulares quando estas se encontram suspensas em meio fluído, utilizando-se o equipamento Somacount 300® (Bentley Instruments).

A produção total dos componentes do leite (gordura, proteína e sólidos) foi calculada multiplicando o volume de leite pela sua respectiva composição em percentual.

Para o cálculo de produção de leite corrigida a 4% de gordura (PLC 4%), foi determinada pela fórmula descrita abaixo (NRC, 2001):

$$PLC\ 4\%\ (kg/animal/dia) = (0{,}4 \times PL) + (15 \times (\%\ G/100) \times PL)$$

Onde:
PL = produção de leite em kg/dia;
%G = porcentagem de gordura no leite.

5.2.11. Equações de Digestibilidade Aparente do Amido

Para o cálculo de digestibilidade aparente do amido no trato total foram utilizadas quatro diferentes equações, seguem descritas abaixo:

Lidy et al. (2009):

$$\text{Digestibilidade Aparente do Amido no Trato Total (\%)} = \frac{100 - (100 \times (\%\ \text{lignina da dieta} \times \%\ \text{amido fecal})}{(\%\ \text{lignina fecal} \times \%\ \text{amido da dieta})}$$

$$\text{Digestibilidade Aparente do Amido no Trato Total (\%)} = 93{,}73 - (2{,}61 \times \%\ \text{amido fecal}) + (0{,}91 \times \%\ \text{lignina fecal})$$

Ferraretto e Shaver (2012):

$$\text{Digestibilidade Aparente do Amido no Trato Total (\%)} = 100 \times (0{,}9997 - 0{,}0125 \times \%\ \text{amido fecal})$$

Fredin et al. (2014):

$$\text{Digestibilidade Aparente do Amido no Trato Total (\%)} = 100 - (1{,}25 \times \%\ \text{amido fecal})$$

5.2.12. Cálculo Econômico

Para a determinação do cálculo econômico foi utilizada a equação de regressão a partir dos dados de KPS e amido fecal. Através das perdas de amido fecal, foram calculadas as perdas na produção de leite (Hutjes, 2010), simulando uma propriedade leiteira de 100 animais em lactação. Foi utilizado o preço base de R$ 1,29 de acordo com o padrão de pagamento pelo leite praticado na região de estudo.

5.2.13. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas pelo programa SAS University Edition (2019). Para as variáveis quantitativas foi realizada análise de correlação de Pearson (PROC CORR). A escala de escore fecal visual foi submetida à análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey-Kramer para dados não balanceados a 5% de probabilidade (PROC GLM).

Para os demais parâmetros, através das variáveis: terceirização (tipo de máquina e tipo de colheita), utilização de fungicida na lavoura, tipo de silo (trincheira ou superfície), KPS, amido fecal, produção e composição do leite, CCS e qualidade química e física da silagem, foi realizada análise de cluster, dividindo os produtores em grupos hierárquicos através do programa Action Stat, para posteriormente utilizar o PROC GLIMMIX do SAS para comparar as médias e gerar a equação de regressão de predição do amido fecal através do KPS, de acordo com o efeito dos grupos tecnológicos de produtores.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Caracterização dos dados de amido fecal

Na Figura 3 é possível observar o histograma da porcentagem de amostras de fezes de acordo com os teores de amido fecal. A distribuição seguiu a normalidade e a grande maioria apresentou valores na faixa de 4 a 7,99% de amido fecal (71% dos dados).

O Laboratório Cumberland Valley, na Pensilvânia/EUA, analisou 1.420 amostras fecais com teor de amido variando de 0,2 a 38,9%, sendo que 62% das amostras continham menos de cinco por cento de amido. O Laboratório Rock River, em Wisconsin/EUA, avaliou 52 amostras com teor médio de 7,9% de amido fecal (Hutjens, 2010).

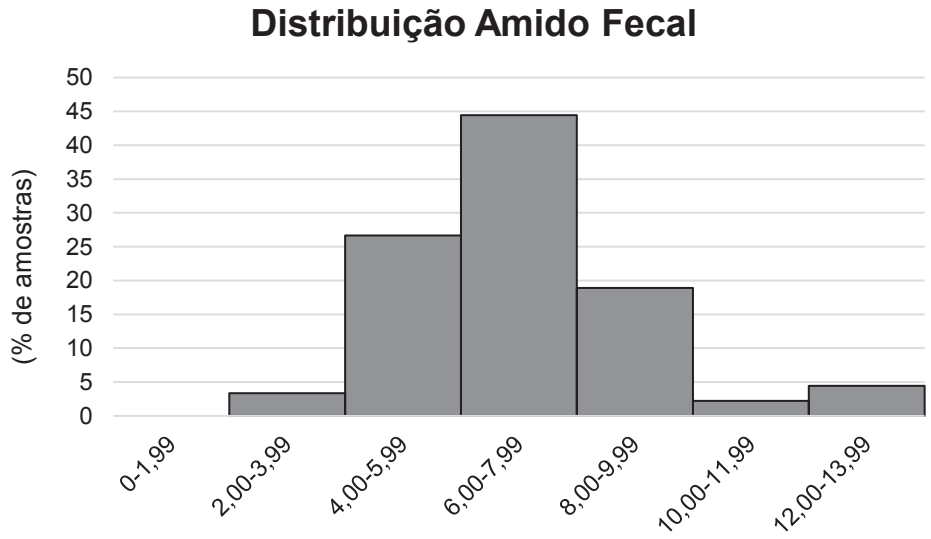


Figura 3. Histograma dos valores de amido fecal.

Na Figura 4 está apresentada a distribuição dos dados de amido fecal. O valor mínimo foi de 3,8% e o máximo de 12,3%, com média de 7,0±1,9%, num total de 90 amostras avaliadas.

Fredin et al. (2014), avaliando quinze experimentos conduzidos na Universidade de Wisconsin, com 1.036 vacas em lactação, encontraram valores de amido fecal variando de 0,1% a 16,1%, com média de 3,1%. Ainda em Wisconsin, em avaliações realizadas durante o verão em 59 fazendas comerciais de gado de leite, o teor médio de amido fecal foi de 2,1±1,7% (Geiser e Goeser, 2019). Da mesma forma, a avaliação de dados de 19 fazendas leiteiras em Illinois, EUA, apresentou média de 6,0% de amido fecal, com valores variando de 3,9 a 9,9% (Lidy et al., 2009). Dessa forma, pode-se afirmar que o teor médio de amido fecal na população amostrada no presente trabalho parece ser mais alto que o verificado nos EUA, embora a faixa que compreende os valores mínimos e máximos seja compatível à relatada em outros

estudos. Isso evidência a necessidade de monitoramento e acompanhamento técnico nas propriedades para otimização do aproveitamento do amido.

Se os valores de concentrações de amido fecal estiverem acima de 3%, alimentos específicos ricos em amido devem ser observados para elucidar o problema (Ferraretto, 2016). Porém, se esses níveis forem superiores a 5%, provavelmente inadequado processamento de grãos deve estar ocorrendo (Owens e Soderlund, 2007).

O aproveitamento do amido pelos ruminantes não é homogêneo e depende da fonte, do processamento aplicado ao grão (Caetano, 2008), da genética e da maturidade da planta no momento da colheita (Grouw, 2013), do tempo de fermentação no caso das silagens (Daniel et al., 2014) e da taxa de passagem para as rações, sendo que dietas com baixa proporção de forragem pode resultar em uma taxa de passagem mais rápida, aumentando a perda de amido (Silva et al., 2012), principalmente em rebanhos como os do presente estudo (vacas altamente especializadas com altas médias de produção leiteira).

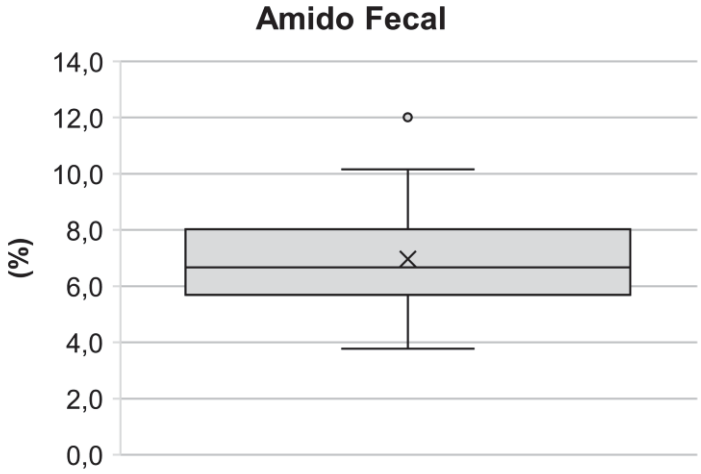


Figura 4. Distribuição dos valores de amido fecal.

Em dados de vinte fazendas comerciais brasileiras, em região leiteira altamente especializada no estado do Paraná, os valores médios de amido fecal encontrados foram semelhantes aos dados norte-americanos, sendo e 3,9±2,5% e 3,4%±3,1% para amostras coletadas no outono (média 132 dias de fermentação dos

silos) e na primavera (média 260 dias de fermentação dos silos), respectivamente (Michelotti et al., 2019).

Um dos fatores que pode explicar a redução do amido fecal na primavera, está relacionada com o tempo de armazenamento da silagem. Na Tabela 4, está a correlação entre os valores de amido fecal e o tempo de armazenamento das silagens. A correlação foi significativa e negativa, ou seja, quanto maior o tempo de armazenamento das silagens, menor o teor verificado de amido fecal.

Sabe-se que a disponibilidade do amido aumenta à medida que aumenta o tempo de armazenamento da silagem (Owens, 2008). Em meta-análise realizada por Daniel et al. (2014), a digestibilidade da fração amido aumentou 0,31 unidades percentuais por dia, até 28 dias de armazenamento. Os benefícios também continuaram por períodos prolongados de armazenamento, porém com menores ganhos, a uma taxa 0,04 unidades percentuais dos 30 a 570 dias (Junges, 2014). Este aumento pode ser explicado pela maior acessibilidade dos microrganismos aos grânulos de amido, possivelmente devido a proteólise da matriz de proteínas através da atividade de bactérias (60% do efeito), por enzimas da planta (30%), por fungos (5%) e pelos produtos da fermentação (5%) (Junges et al., 2015).

O tempo de fermentação também pode aumentar o KPS, pois reduz o tamanho geométrico médio das partículas (Ferraretto et al., 2015 e Salvati, 2019), o que também traz efeitos benéficos na degradabilidade ruminal (Dias Junior et al., 2016) e consequentemente, auxiliando na redução das perdas de amido fecal.

Em avaliação realizada em fazendas comerciais em Wisconsin/EUA, foram coletadas amostras de silagem de milho no outono e na primavera. No outono as médias de KPS foram de 57,0±11,1% com 83,7±7,5% de digestibilidade do amido, a medida que o tempo de fermentação dos silos foi se estendendo do outono para a primavera, as médias de KPS foram para 61,1±12,4% com 90,3±3,7% de digestibilidade do amido (Huibregtse et al., 2012).

Tabela 4. Correlação entre teor de amido fecal e o tempo de armazenamento das silagens.

Variável	**Amido Fecal (%)**	
	r	**Pr > F**
Tempo de Armazenamento (dias)	-0,28	**0,0303**

Na Tabela 5 está a correlação entre os valores de amido fecal e o escore fecal visual. A correlação foi significativa e de alta magnitude. Desta forma, este escore visual pode ser uma ferramenta prática e diária de campo para auxiliar o nutricionista nos ajustes para melhorar o aproveitamento do amido pelos animais.

Tabela 5. Correlação entre o amido fecal e o escore fecal visual.

Variável	**Amido Fecal (%)**	
	r	**Pr > F**
Escore Fecal	0,58	**< 0,0001**

Na Tabela 6 estão apresentados os dados de teor de amido fecal de acordo com o escore fecal visual. Foi possível observar diferença estatística para o escore visual "muito", com valor de amido fecal 9,3%. Os escores visual "pouco" e "sem" grãos nas fezes, não diferiram estatisticamente (6,6 versus 6,0% de amido fecal, respectivamente). A análise laboratorial do amido fecal é a ferramenta mais precisa pois detecta pequenas partículas e fragmentos de amido não visíveis a olho nu (Fredin, 2015). Isso pode justificar a ausência de diferença entre os escores "pouco" e "sem".

Tabela 6. Valores de amido fecal de acordo com o escore fecal visual.

Escore Fecal	**n**	**Amido Fecal (%)**	**DP[1]**	**EPM[2]**	**DMS[3]**	**Pr > F**
Sem	14	6,0 b	0,8			
Pouco	47	6,6 b	1,5	1,5	1,2	**< 0,0001**
Muito	11	9,3a	1,7			

[1]DP: Desvio Padrão; [2]EPM: Erro Padrão da Média; [3]DMS: Diferença Mínima Significativa.
Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

5.3.2. Agrupamento Hierárquico dos Produtores

Na Figura 5 está apresentado a separação dos grupos (clusters) dos produtores. De um total de 43 produtores, 13 foram classificados no Grupo 1, 22 no

Grupo 2 e 8 no Grupo 3. Esta separação foi importante para eliminar o efeito dos diferentes níveis tecnológicos das propriedades em relação as variáveis avaliadas, uma vez que fatores como amido fecal, produção e composição do leite são variáveis afetadas por diversos componentes.

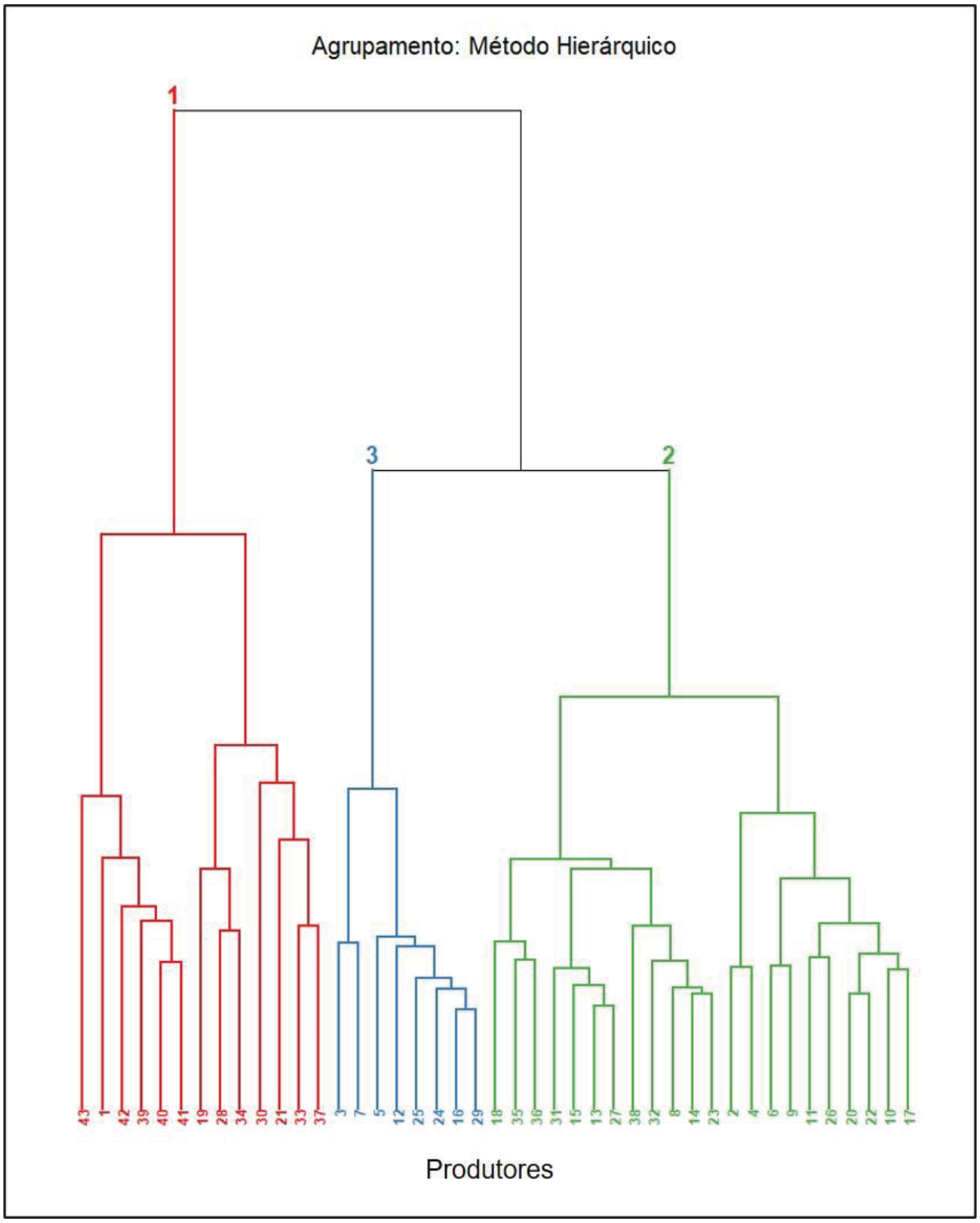


Figura 5. Agrupamento hierárquico dos produtores.

Na Tabela 7 estão as médias descritivas das variáveis KPS, amido fecal, produção de leite corrigida a 4% de gordura, gordura e proteína do leite e CCS, geradas pela análise de agrupamento entre os grupos de produtores. É interessante observar a tendência dos dados, o Grupo 1, foi classificado com menores médias de KPS e produção de leite e com maiores médias de amido fecal e CCS, o Grupo 3 resultaram em valores intermediários e o Grupo 2, foram aqueles produtores com maiores médias de KPS e produção de leite e com menores médias de amido fecal e CCS. Demonstrando a tendência de relação entre essas variáveis, que serão melhor discutidas nos próximos tópicos.

Tabela 7. Médias descritiva das variáveis KPS, amido fecal, PLC 4%, gordura e proteína do leite e CCS separadas pelos grupos gerados pela classificação hierárquica dos produtores.

Grupo	KPS (%)	Amido Fecal (%)	PLC 4% (kg/anim./dia)	Gordura (%)	Proteína (%)	CCS (cél./mL)
1	39	7,5	28	3,27	3,18	456
3	41	6,5	29	3,23	3,25	251
2	47	6,0	34	3,38	3,14	237

[1]PLC 4%: Produção de leite corrigida a 4% de gordura (NRC, 2001).

[2]Contagem de Células Somáticas.

5.3.3. Amido Fecal e as Características Associadas a Colheita

Na Tabela 8 estão os teores de amido fecal de acordo com o tipo de colheita da silagem de milho. A colheita terceirizada proporcionou menor teor de amido fecal em relação a colheita própria (6,3 versus 9,1%, respectivamente) (*P = 0,0024*). Esse fato pode ser explicado pelo maior processamento de grãos nas colheitas terceirizadas (Tabela 10, Capítulo II).

Tabela 8. Valores de amido fecal de acordo com o tipo de colheita do milho silagem.

Colheita	Amido Fecal (%)	DP[1]	Pr > F
Própria	9,1	3,2	**0,0024**
Terceirizada	6,3	1,4	

[1]DP: Desvio Padrão

Os dados de amido fecal apresentaram maior variação para as silagens com colheita própria em relação a silagens com colheita terceirizada (Figura 6). O menor valor de amido fecal (3,8%) foi para vacas que estavam comendo silagem oriunda de colheita terceirizada e o maior valor foi igual de 12,3% para vacas que estavam comendo silagem com colheita própria.

O sucesso na confecção da silagem, presume uma relação de interdependência, baseada na confiança, responsabilidade e profissionalismo entre prestadores de serviços na ensilagem e produtores (Schmidt e Nussio, 2010). Desta forma é importante salientar que a escolha do prestador de serviços e o acompanhamento do processamento dos grãos no momento da ensilagem é um fator que traz influência em todo o aproveitamento do amido pelos animais, evidenciado pela associação da prestação de serviços com os dados de amido fecal encontrados neste estudo.

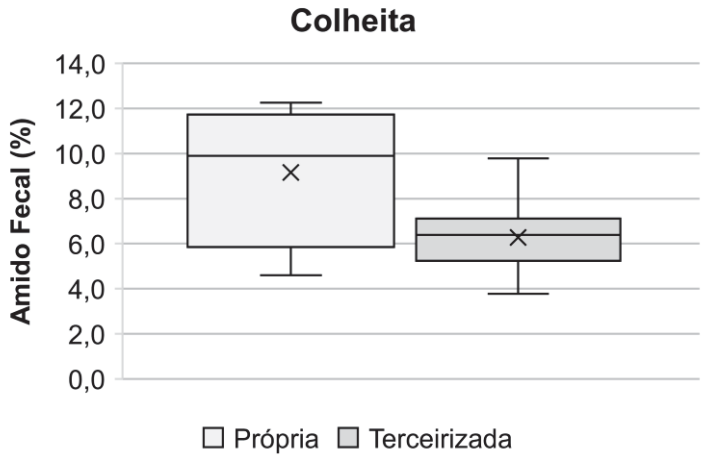


Figura 6. Distribuição dos valores de amido fecal de acordo com o tipo de colheita do milho para silagem.

Como já comentado no Capítulo II, os dados de “Tipo de Colheita” estão muito relacionados com os dados de “Tipo de Máquina”. Na Tabela 9, estão apresentados os teores de amido fecal de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita da silagem. Silagens colhidas com máquina tratorizada resultaram em maiores valores de amido fecal das vacas em relação as silagens colhidas com máquinas automotrizes (9,3 versus 6,2%, respectivamente). Ainda fazendo referência ao Capítulo II, as máquinas automotrizes resultaram em maior processamento médio de grãos em relação a máquinas tratorizadas (*P < 0,0001*), o que pode ser um dos principais fatores responsáveis pelos menores valores de amido fecal para vacas alimentadas com silagens colhidas com máquinas automotrizes.

Tabela 9. Valores de amido fecal de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita do milho silagem.

Tipo de Máquina	**Amido Fecal (%)**	**DP[1]**	**Pr > F**
Tratorizada	9,3	2,8	**0,0001**
Automotriz	6,2	1,3	

[1]DP: Desvio Padrão

Maior variação no teor de amido fecal foi para vacas que se alimentaram de silagens colhidas com máquina tratorizada. O valor máximo de amido fecal foi para a máquinas do tipo tratorizada (12,3%). As silagens colhidas com máquina automotriz resultaram em menores valores mínimos de amido fecal (3,8 versus 4,6%, respectivamente) em relação a vacas que se alimentaram de silagens colhidas com máquina tratorizada (Figura 7).

Não foram encontrados na literatura trabalhos que comparassem presença de amido fecal com o tipo de máquina utilizada na colheita da silagem de milho. Sabe-se que a análise de amido fecal não consegue predizer a origem do amido presente nas fezes, podendo ser originário de outras fontes de amido das dietas, não apenas a da silagem de milho. Porém, está claro que quando os resultados são discutidos em relação à média geral, as máquinas tratorizadas proporcionam maiores perdas de amido fecal, pois possuem valores de KPS menores, com tamanho médio de partículas menor também.

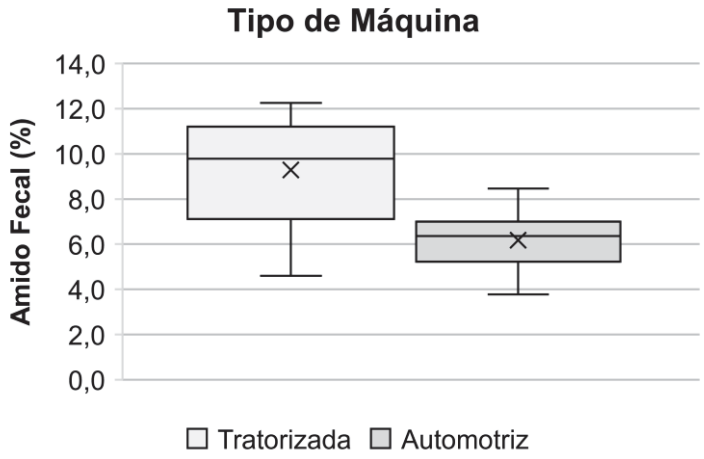


Figura 7. Distribuição dos valores de amido fecal de acordo com o tipo de máquina utilizada na colheita do milho silagem.

5.3.4. Amido Fecal e as Características Químicas das Silagens

Na Tabela 10, estão os valores de correlação entre o amido fecal e as características bromatológicas das silagens. Apenas a DIVAMIDO resultou em correlação negativa com o amido fecal (*P = 0,0043* e r = -0,30). Sabe-se que a digestibilidade do amido que determina a quantidade de amido que será excretado nas fezes, então estes dados estão diretamente ligados e tem forte influência do tipo e grau de processamento. Porém, neste estudo, a DIVAMIDO foi determinada com a amostra já moída a 1 mm, mas mesmo assim, a correlação foi significativa.

Neste estudo, os teores de amido fecal não apresentaram correlação com os parâmetros relacionados as fibras das silagens de milho (FDA, FDN, lignina e DIVFDN) (Tabela 9). Segundo Grouw (2013) os níveis de fibra da dieta podem afetar a digestibilidade do amido por ruminantes. Dietas com menor inclusão de forragem proporcionam maior ingestão de matéria seca e podem aumentar a taxa de passagem (kp), determinando maior escape de amido do rúmen (Silva, 2009), dietas com baixa forragem e alto concentrado diminuem o consumo por limitação quimiostática.

Os demais parâmetros de qualidade bromatológica relacionados à energia das silagens também não tiveram relação com o amido fecal (Tabela 10). Para avaliar corretamente estes parâmetros em comparação com o amido fecal, são necessários ensaios de digestibilidade *in vivo*, sem alterar as características físicas das silagens,

pois as diferentes metodologias de avaliação influenciam nos resultados destas variáveis.

Tabela 10. Correlação entre amido fecal e as variáveis de qualidade bromatológica das silagens de milho.

Variável	**Amido Fecal (%)**	
	r	**Pr > F**
MS (%)	-0,02	0,8546
FDA (%)	-0,03	0,7619
FDN (%)	-0,03	0,7482
Lignina (%)	0,02	0,8492
DIVFDN (%)	-0,02	0,8202
NDT (%)	-0,01	0,8972
VRN	0,01	0,8885
Amido (%)	0,09	0,3788
DIVAMIDO (%)	-0,30	**0,0043**
DIVMO (%)	-0,02	0,8387
Leite Estimado (kg T^{-1} MS)	0,02	0,8209

5.3.5. Amido Fecal e o Tamanho de Partículas das Silagens

Na Tabela 11, estão apresentados os dados de correlação entre teor de amido fecal e o tamanho de partículas da silagem. A Peneira 1 (> 19 mm) resultou em uma correlação significativa e positiva com o amido fecal (*P = 0,0057* e r = 0,29), a Peneira 2 (8 a 19 mm) resultou em correlação significativa e negativa com o amido fecal (*P = 0,0010* e r = -0,34) e o TMP das silagens não teve correlação com o amido fecal (*P = 0,7592*).

O Tamanho Médio de Partículas (TMP) da forragem pode afetar a taxa de passagem (kP) e a extensão da degradação ruminal do amido das rações. Maulfair et al. (2011) não encontraram diferenças significativas nos teores de amido fecal em vacas em lactação alimentadas com fenos com TMP pequeno, médio, longo e muito

longo (3,8%, 2,9%, 4,0% e 3,9, respectivamente). Contudo, Johnson et al. (1999) observaram aumento no aparecimento de grãos no esterco (R^2 = 0,7395) proporcional ao aumento no TMP da silagem de milho, provavelmente pelo menor processamento dos grãos durante a picagem.

Em experimento realizado com novilhos de corte avaliando dietas com dois níveis de inclusão de silagem de milho (18,2% e 5,2%), as perdas por amido fecal foram semelhantes (*P = 0,43*), sendo de 15,9% para dietas com alta inclusão e 19,1% de amido fecal para dietas com baixa inclusão de silagem (Gorocica-Buenfi e Loerch, 2005). A variação nas respostas ao TMP sobre a digestibilidade do amido pode ser influenciada por fatores como processamento dos grãos e efetividade da FDN.

Tabela 11. Correlação entre amido fecal e as variáveis relacionadas ao tamanho de partículas das silagens de milho.

Variável	**Amido Fecal (%)**	
	r	**Pr > F**
Peneira 1 (%)	0,29	**0,0057**
Peneira 2 (%)	-0,34	**0,0010**
TMP (mm)	-0,03	0,7592

5.3.6. Características Relacionadas a Produção e Composição do Leite

Na Tabela 12 estão as medidas descritivas de cada variável relacionada a produção e composição do leite, como média geral, valores mínimos, máximos e desvio padrão. Estes dados são provenientes dos 43 controles leiteiros utilizados nas análises, sendo apresentados apenas para visão geral do comportamento destas variáveis estudadas.

Tabela 12. Estatística descritiva das variáveis relacionadas a produção e composição do leite (n=43).

Variável	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Produção Leite (kg/animal/dia)	35,03	18,25	50,65	7,38
PLC 4%[1] (kg/animal/dia)	31,28	18,19	44,07	6,12
Gordura (%)	3,32	2,58	4,12	0,40
Gordura (kg/d)	1,15	0,68	1,59	0,23
Proteína (%)	3,17	2,91	3,48	0,14
Proteína (kg/d)	1,11	0,62	1,50	0,21
Lactose (%)	4,59	4,36	4,82	0,11
Lactose (kg/d)	1,66	0,81	2,38	0,34
Sólidos (%)	12,04	11,13	13,00	0,49
Sólidos (kg/d)	4,32	2,36	5,95	0,79
CCS[2] (cel./mL)	305,75	55,04	980,00	216,28

[1]PLC 4%: Produção de leite corrigida a 4% de gordura (NRC, 2001).

[2]Contagem de Células Somáticas.

5.3.7. Amido Fecal e as Características Relacionadas a Produção e Composição do Leite

Na Tabela 13, estão os dados de correlação entre amido fecal e a produção de leite. Foi observada correlação significativa e negativa entre o amido fecal e a produção de leite (*P = 0,0393* e r = -0,32) e produção de leite corrigida a 4% de gordura (*P = 0,0092* e r = -0,39).

Sabe-se que o processamento adequado dos grãos e das forragens de plantas graníferas (silagens de milho, sorgo, aveia, etc) pode ter impactos profundos na digestão total do amido (Tabela 18), com redução das perdas fecais (Tabela 15), levando a maior produção dos animais (Fredin, 2015).

Em análise de dados da Pensilvânia/EUA, para cada unidade percentual de aumento no amido fecal, a perda potencial na produção de leite foi de 0,310 kg por dia (Hutjens, 2010). Carrari 2020, avaliando duas diferentes granulometrias do milho presente no concentrado, encontrou tendência de maior produção de leite para vacas

alimentadas com milho moído mais fino em relação a milho moído mais grosso (37,90 versus 36,85 kg/dia, respectivamente).

O excesso de amido fecal significa não apenas diminuição na produção de leite, mas também dinheiro desperdiçado em alimentos que não estão sendo digeridos (Huibregtse et al., 2012).

Tabela 13. Correlação entre amido fecal e as variáveis relacionadas a produção de leite.

Variável	**Amido Fecal (%)**	
	r	**Pr > F**
Produção de Leite (kg/animal/dia)	-0,32	**0,0393**
PLC 4%[1] (kg/animal/dia)	-0,39	**0,0092**

[1]PLC 4%: Produção de leite corrigida a 4% de gordura (NRC, 2001).

Na Tabela 14 estão os dados de correlação entre amido fecal e as variáveis relacionadas a composição do leite. Foi observada correlação significativa e negativa entre o teor de amido fecal e a produção de gordura (kg/dia) (*P = 0,0042* e r = -0,43) e com a produção total de proteína no leite (kg/dia) (*P = 0,0222* e r = -0,35).

Os parâmetros relacionados a lactose e sólidos totais não foram significativamente correlacionados com a presença de amido fecal (Tabela 14).

Ainda na Tabela 14, a CCS resultou em correlação significativa e positiva com o teor do amido fecal (*P = 0,0181* e r = 0,36). Uma possível explicação pode estar relacionada com o teor de matéria seca das fezes, sendo que maiores teores de amido fecal tendem a deixar as fezes mais líquidas (*P = 0,0726* e r = 0,19), o que pode deixar os tetos das vacas mais sujos, aumentando as chances de contaminação.

Tabela 14. Correlação entre amido fecal e as variáveis relacionadas a composição do leite.

Variável	**Amido Fecal (%)**	
	r	**Pr > F**
Gordura (%)	-0,20	0,1969
Gordura (kg/d)	-0,43	**0,0042**
Proteína (%)	-0,02	0,9151
Proteína (kg/d)	-0,35	**0,0222**
Lactose (%)	-0,21	0,2020
Lactose (kg/d)	-0,21	0,2064
Sólidos (%)	-0,17	0,3019
Sólidos (kg/d)	-0,25	0,1331
CCS (células/mL)	0,36	**0,0181**

CCS: Contagem de Células Somáticas.

5.3.8. Amido Fecal e o Processamento dos Grãos

Como esperado, o processamento dos grãos da silagem (KPS), resultou em correlação negativa de alta magnitude com o teor de amido fecal (*P < 0,0001* e r = -0,50) e com o escore fecal visual (*P = 0,0032* e r = -0,32) (Tabela 15).

Tabela 15. Correlação entre KPS e amido fecal.

Variável	**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**
Amido Fecal (%)	-0,50	**< 0,0001**
Escore Fecal	-0,32	**0,0032**

Dentro da grande variabilidade de fazendas, dietas e manejos em que as amostras foram coletadas, a silagem de milho não foi a única fonte de amido das dietas, podendo este vir de cereais de inverno, como trigo, cevada, aveia e de outras formas de milho, como grão úmido ensilado e silagens de espiga, além das diferenças

de granulometria entre o milho presente no concentrado, que segundo Carrari, 2020, tem efeito sobre o amido fecal de vacas em lactação, com teores de 6,96% versus 4,84% para granulometrias de 915 µm e 660 µm, respectivamente.

Esta é a maior dificuldade da análise de amido fecal, pois ela não indica digestibilidade de alimentos específicos, mas de dietas totais (Ferraretto, 2016), uma vez que as vacas consomem uma dieta composta de muitos alimentos diferentes que podem estar contribuindo para a composição do amido da dieta (Grouw, 2013).

De acordo com Braman e Kurtz (2015), a cada aumento de uma unidade percentual no KPS, ocorreu uma redução de 0,15 unidades percentuais de amido fecal. Na Tabela 16, é possível observar uma relação semelhante com os dados deste estudo, sendo que a cada aumento de uma unidade percentual no KPS, ocorreu uma redução de 0,14 unidades percentuais de amido fecal.

Tabela 16. Equações de regressão para estimar amido fecal dos animais a partir do KPS das silagens de milho.

Referência	**Equação**
Neste Trabalho	Amido Fecal = 12,8024-0,1445*KPS
Braman e Kurtz, 2015	Amido fecal = 12,90487-0,15065*KPS

Na Tabela 17, está a porcentagem de amido fecal estimada a partir do KPS através das equações da Tabela 16. Segundo Shinners e Holmes, 2013, níveis de KPS a partir de 70% são considerados ótimos, nestes teores, a porcentagem de amido fecal encontrada foi de 3%, valor considerado adequado (Ferraretto, 2016).

Tabela 17. Amido fecal estimado a partir do KPS através da equação originada pelos dados avaliados e pela referência Braman e Kurtz, 2015.

KPS (%)	Amido Fecal (%)	
	Neste Trabalho	Braman e Kurtz, 2015
20	10	10
30	8	8
40	7	7
50	6	5
60	4	4
70	3	2
80	1	1

Na Figura 8, os valores de KPS das silagens de milho foram separados nas categorias inadequado (< 50%) e adequado (50 – 70%) e realizada a média de amido fecal destas amostras utilizando o efeito dos grupos tecnológicos dos produtores. As médias não resultaram em diferença estatística (*P = 0,4151*), porém as silagens de milho que estavam com processamento de grãos inadequado, resultaram em valores de amido fecal de 6,7% e as silagens que estavam com processamento de grãos adequado, apresentaram teores de 6,1% de amido fecal.

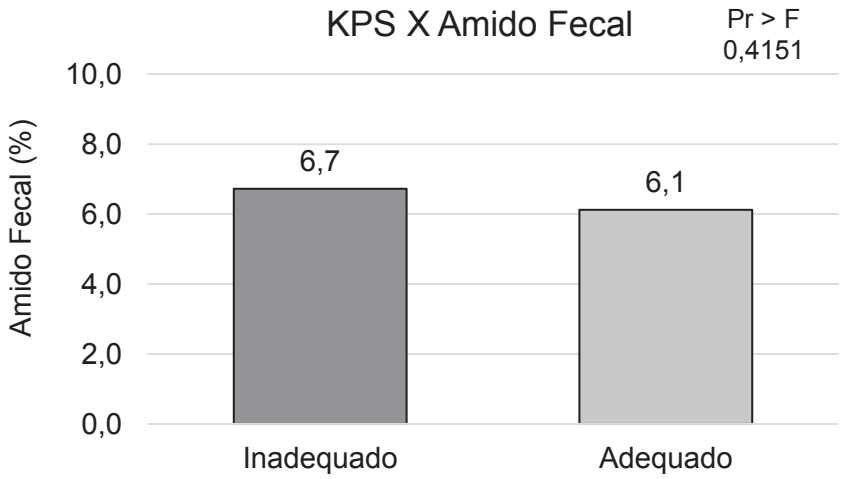


Figura 8. Valores médios de amido fecal de acordo com o processamento dos grãos das silagens de milho.

5.3.9. Processamento dos Grãos e as Equações de Digestibilidade Aparente do Amido

Os dados de correlação do KPS com as equações de digestibilidade do amido estão apresentados na Tabela 18. Todas as equações tiveram uma associação de alta magnitude com o KPS.

A digestibilidade aparente do amido foi maior quando os grãos foram melhor processados *(P < 0,001)*, aumentando de 75,6% para 85,4% em dietas contendo grãos fragmentados a 2 mm x 8 mm, respectivamente (Cooke e Bernard, 2005). Da mesma forma, dietas contendo silagens de milho com grãos processados de 1 a 3 mm tiveram maior digestibilidade do amido no trato total (94,8% x 92,0%, respectivamente) em relação a dietas com silagens com grãos não processados (Ferraretto e Shaver, 2012).

Quando grãos não fermentados foram incubados *in situ* em vacas Holandesas em lactação, a degradação ruminal da matéria seca em 24 horas variou de 6,9% a 73,3%, para grãos inteiros e quebrados manualmente em 64 partes, respectivamente. Essa diferença na degradação ocorre devido a maior superfície de contato para os microrganismos ruminais, nos grãos quebrados (Dias Junior et al., 2016).

Desta forma, os resultados da presente pesquisa corroboram com diversos estudos, que sugerem que o processamento mecânico dos grãos da silagem de milho aumenta a digestibilidade do amido (Dhiman et al., 2000), ficando evidente a necessidade de monitorar a eficiência da fragmentação dos grãos no momento da colheita das silagens.

Tabela 18. Correlação entre KPS e as equações de digestibilidade aparente do amido.

Variável	**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**
Lidy et al., 2009	0,44	**0,0011**
Lidy et al., 2009	0,53	**< 0,0001**
Ferraretto e Shaver, 2012	0,50	**< 0,0001**
Fredin et al., 2014	0,50	**< 0,0001**

5.3.10. Processamento dos Grãos e as Características Relacionadas a Produção e Composição do Leite

Foi observada correlação positiva e significativa entre o KPS das silagens e a produção de leite (*P = 0,0197* e r = 0,35) e produção de leite corrigida a 4% de gordura (*P = 0,0010* e r = 0,48) (Tabela 19).

Estes dados concordam com a literatura pesquisada e tiveram um comportamento dentro do esperado. Diversos trabalhos evidenciam que animais que se alimentaram de silagens de milho com grãos mais processados, produziram mais leite em relação a animais que se alimentaram de silagens com KPS menor (Ferraretto, 2012, Bal et al., 2000, Ebling e Kung Jr. (2004). Desta forma, fica evidente os benefícios da fragmentação mecânica dos grãos das silagens, que aumentam a extensão da degradação de amido no rúmen (Owens, 1986), que é convertido em ácidos graxos voláteis (AGVs) e representam a maior e mais eficiente fonte energética para o ruminante (Berchielli et al., 2006), sendo útil para crescimento, manutenção e/ou lactação (Owens, 2007).

Tabela 19. Correlação entre KPS e a produção de leite.

Variável	**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**
Produção de Leite (kg/animal/dia)	0,35	**0,0197**
PLC 4%[1] (kg/animal/dia)	0,48	**0,0010**

[1]PLC 4%: Produção de leite corrigida a 4% de gordura (NRC, 2001).

Na Figura 9 está apresentada a produção de leite em relação ao processamento dos grãos das silagens de milho (Inadequado e Adequado), ajustados de acordo com os grupos de produtores. Os dados não resultaram em diferença estatística, porém, na média, vacas que consumiram silagens processamento de grãos adequado, produziram 0,9 kg de leite/animal/dia a mais do que as vacas que consumiram silagens com processamento de grãos inadequado.

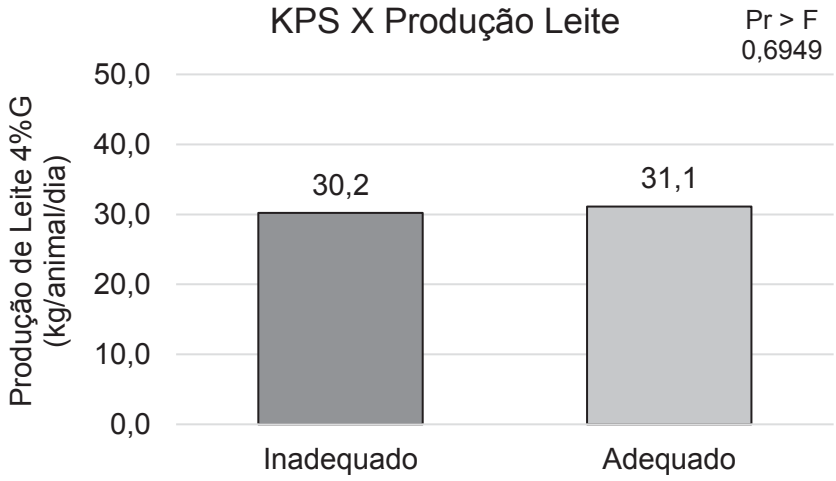


Figura 9. Valores médios de produção de leite corrigida a 4% de gordura (kg/animal/dia) de acordo com o processamento de grãos das silagens de milho.

Na Tabela 20 estão os dados de correlação do KPS com os teores de gordura, proteína, lactose, sólidos e CCS do leite. O processamento dos grãos das silagens resultou em correlação significativa com o teor de gordura do leite (*P = 0,0481* e r = 0,30) e produção total de gordura (*P = 0,0001* e r = 0,56) (Tabela 18).

Em trabalho realizado por Bal et al. (2000), a porcentagem de gordura foi maior (*P<0,001*) para silagens processadas (cracker ajustado para 1 mm) em relação a silagens não processadas (3,13% x 3,06%, respectivamente). Weiss e Wyatt (2000) observaram tendência (*P = 0,007*) de maior valor de gordura no leite para silagens processadas (cracker ajustado para 1 mm) em relação a silagens não processadas (3,06 versus 2,89%, respectivamente).

Ebling e Kung Jr. (2004), não encontraram diferenças entre os teores de gordura do leite (2,94% x 3,17% para silagens processadas cracker ajustado para 2 mm versus silagens não processadas, respectivamente). Já Schwab et al. (2002), encontraram menores teores de gordura no leite (3,1% x 3,4%) para dietas contendo silagens processadas (cracker ajustado para 2 mm) e não processadas, respectivamente.

Na Figura 10, estão os dados de porcentagem de gordura do leite em relação ao processamento dos grãos das silagens de milho (Inadequado e Adequado), ajustados de acordo com os grupos de produtores. Não foi verificada diferença estatística (*P = 0,4791*) para o teor de gordura em relação ao KPS, porém, silagens

com processamento adequado, resultaram em 0,12 unidade percentuais mais produção de gordura em relação a silagens processadas de maneira inadequada. Em um sistema de pagamento de leite onde o teor de gordura recebe alíquota de bonificação, este aumento pode ser interessante.

Porém, os efeitos do processamento dos grãos na produção total e porcentagem de gordura do leite não são bem estabelecidos na literatura, principalmente pela variável gordura ser influenciada por diversos fatores e não apenas um em específico.

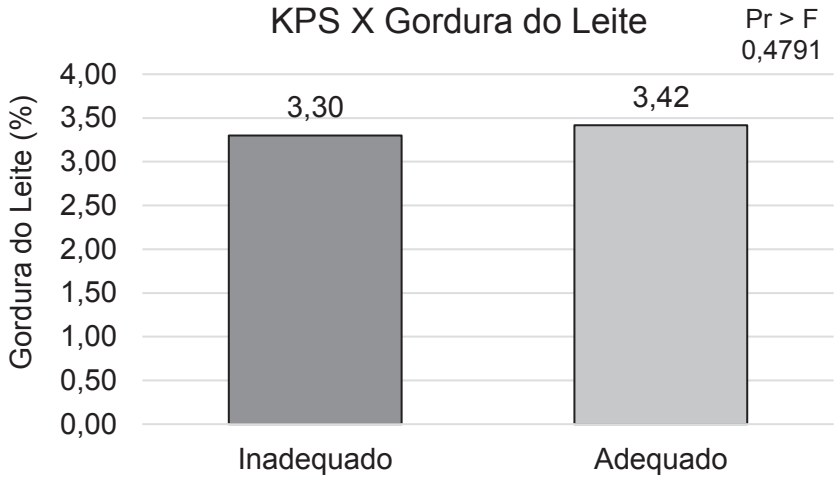


Figura 10. Valores médios de gordura do leite (%) de acordo com o processamento de grãos das silagens de milho.

Para o teor de proteína do leite não foi encontrada correlação significativa (*P = 0,5093*. Porém, para a produção total de proteína do leite, foi encontrada correlação significativa (*P = 0,0149* e r = 0,37) (Tabela 20).

Utilizando os mesmos trabalhos discutidos nos teores de gordura, Schwab et al. (2002), não encontraram diferenças na porcentagem de proteína do leite (3,20% x 3,18%) para dietas contendo silagens processadas (cracker ajustado para 2 mm) e não processadas, respectivamente. Também, Ebling e Kung Jr. (2004) verificaram que os teores de proteína (2,76% versus 2,75%) não foram influenciados pelo processamento dos grãos das silagens.

Esperava-se que o teor de proteína no leite também resultasse em correlação significativa e positiva com o processamento dos grãos, porém apenas a produção

total de proteína do leite obteve correlação significativa. O amido fermentado no rúmen aumenta a síntese de proteína microbiana e, consequentemente, aumenta o fluxo de proteína metabolizável para o intestino (Fredin, 2015), estimulando a captação de aminoácidos pela glândula mamária (Theurer et al., 1999) e gerando maior produção de proteína do leite (Fredin, 2015).

Ainda na Tabela 20 estão os dados de correlação entre os teores de lactose do leite e o processamento de grãos das silagens. Foi encontrada correlação significativa (*P = 0,0354* e r = 0,34) entre as variáveis. Para a produção total de lactose não foi encontrada correlação significativa (*P = 0,1627*), porém uma certa tendência. Esta correlação pode estar associada a maior degradabilidade ruminal do amido das silagens mais processadas, o que aumenta a concentração de glicose no plasma sanguíneo, ocasionando aumento da produção de lactose no leite (Santos et al., 2017).

Para o teor de sólidos do leite foi encontrada e produção total de sólidos, foi encontrada uma tendência de correlação entre essas variáveis e o processamento dos grãos (*P = 0,0548* e *P = 0,0624*, respectivamente*).* Esse resultado já era esperado a partir das correlações entre gordura, proteína e lactose, pois o componente sólidos do leite incluem estes três elementos, além dos minerais (Grant, 1997).

O processamento dos grãos da silagem resultou em correlação significativa e negativa com a contagem de células somáticas do leite (*P = 0,0288* e r = -0,33). Não foi encontrada uma justificativa científica para este resultado. Especula-se teores menores de KPS, resultam em maiores teores de amido fecal e como mencionado na Tabela 14, maiores teores de amido fecal tendem a deixar as fezes mais líquidas (*P = 0,0726* e r = 0,19), o que pode deixar os tetos das vacas mais sujos, aumentando as chances de contaminação. Além de que, produtores com maior cuidado no processamento dos grãos da silagem, também tem maior cuidado em todos os setores da sua propriedade, inclusive no manejo sanitário das instalações e animais.

Tabela 20. Correlação entre KPS e as características relacionadas composição do leite.

Variável	**KPS (%)**	
	r	**Pr > F**
Gordura (%)	0,30	**0,0481**
Gordura (kg/d)	0,56	**0,0001**
Proteína (%)	-0,10	0,5093
Proteína (kg/d)	0,37	**0,0149**
Lactose (%)	0,34	**0,0354**
Lactose (kg/d)	0,23	0,1627
Sólidos (%)	0,31	0,0548
Sólidos (kg/d)	0,31	0,0624
CCS (células/mL)	-0,33	**0,0288**

CCS: Contagem de Células Somáticas.

5.3.11. Análise Financeira

Na Tabela 21, estão os dados da análise financeira resultante da variação de KPS das silagens.

Para a composição desta análise foi utilizada a equação y = 12,8024 - 0,1445x, gerada a partir dos dados de KPS e amido fecal. Assim, foi possível estimar a porcentagem de amido fecal entre os diferentes níveis de KPS. A partir destes dados, de acordo com Hutjens, 2010, para cada acréscimo de uma unidade percentual de amido fecal, ocorre uma redução de 0,31 kg leite/animal/dia.

Níveis de KPS acima de 70% são considerados ótimos (Shinners e Holmes, 2013) e porcentagem de amido fecal menor que 3% ideal (Ferraretto, 2016), desta forma, as perdas foram calculadas a partir destes níveis.

O cálculo do preço do leite foi determinado pela média de pagamento da região, através do preço base e tabela de bonificação de gordura, sendo R$ 1,29/kg de leite. Importante destacar que na região de estudo, outros parâmetros também possuem alíquota de bonificação em cima do preço base, porém estes fatores não foram avaliados neste trabalho.

Silagens com KPS de 60% estimam um amido fecal de 4,1%, o que determina uma perda de 0,35 kg de leite/animal/dia e R$ 0,45 animal/dia. Simulando que este rebanho tenha 100 animais em lactação, estima-se uma perda de R$ 16.529/ano. No outro extremo da análise, vacas alimentadas com silagens com 20% de KPS estima-se que tenha um amido fecal de 9,9%, o que pode gerar uma perda de 2,14 kg de leite/animal/dia e no mesmo rebanho de 100 animais, estima-se uma perda de R$ 100.896/ano.

Embora os benefícios de maior digestibilidade do amido na produção de leite sejam bem conhecidos, não é simples estimar seu impacto econômico (Ferraretto, 2016). Cada caso é específico e muito variável, porém, é possível assegurar que o adequado processamento dos grãos da silagem tem forte influência econômica na cadeia de produção leiteira.

Tabela 21. Análise financeira das perdas estimadas de produção de leite de acordo com o KPS da silagem.

KPS	**Amido Fecal**[1]	**Perda Leite**[2]	**Perda**[3]		
(%)	(%)	(kg/anim./dia)	(R$/anim./dia)	(R$/anim./ano)	(R$/rebanho/ano)[4]
80	1,2	-	-	-	-
70	2,7	-	-	-	-
60	4,1	0,35	R$ 0,45	R$ 165	R$ 16.529
50	5,6	0,80	R$ 1,03	R$ 376	R$ 37.621
40	7,0	1,25	R$ 1,61	R$ 587	R$ 58.712
30	8,5	1,69	R$ 2,19	R$ 798	R$ 79.804
20	9,9	2,14	R$ 2,76	R$ 1.009	R$ 100.896

[1]Teores de Amido Fecal estimados pela equação: y = 12,8024-0,1445x.

[2]Perdas de leite estimadas de acordo com a referência Hutjes, 2010.

[3]Cálculo a partir do preço base por kg de leite e tabela de bonificação de gordura da região de estudo: R$ 1,29

[4]Rebanho com 100 vacas em lactação.

5.4. CONCLUSÕES

A média geral do teor de amido fecal foi ligeiramente acima do valor considerado ideal, e foi maior quando as silagens foram colhidas com máquina própria tratorizada, resultando em correlação com o processamento dos grãos da silagem e foi influenciado pelo tempo de armazenamento dos silos.

Para a produção de leite, os teores de amido fecal resultaram em correlação negativa, ou seja, quanto maior as perdas de amido, menor será a produção de leite. Desta forma, é de extrema importância potencializar o processamento dos grãos da silagem de milho no momento da colheita, quanto maior for o processamento dos grãos da silagem, maior será a digestibilidade aparente deste amido, produção e composição do leite, além de proporcionar maior receita no pagamento pelo leite.

5.5. REFERÊNCIAS

ARCARI, M. A.; SANTOS, M.V. Mais milho para produção de leite e menos milho nas fezes. **Revista Leite Integral**, 2013.

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, p. 1264-1274, 2000.

BERCHIELLI, T. T; PIRES, A. V e OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal, SP, 2006. 583p.

BRAMAN, W.L.; KURTZ, J.E. Effect of corn silage kernel processing score on dairy cow starch digestibility. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 17., 2015, Piracicaba. **Proceedings...** São Paulo: 2015.

CAETANO, M. **Estudo das perdas de amido em confinamentos brasileiros e do uso do amido fecal como ferramenta de manejo de bovinos confinados.** 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, ESALq, Piracicaba.

CARRARI, I.F. I**mpacto da granulometria do grão de milho no desempenho produtivo de vacas leiteiras.** 2020. 54f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COOKE, K.M.; BERNARD, J.K. Effect of Length of Cut and Kernel Processing on Use of Corn Silage by Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.88, n.1, p. 310-316, 2005.

DANIEL, J.L.P.; JUNGES, D.; NUSSIO, L.G. Alterações na qualidade de silagens de milho durante o armazenamento. In: SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 5., 2014, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM/CCA/DZO, 2014. p. 23-36.

DEMIATE, I.M., KONKEL,F.E., PEDROSO, R.A. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de doce de leite pastoso – composição química. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n.1, p.108-114, 2001.

DHIMAN, T.R.; BAL, M.A.; WU, Z. et. al. Influence of Mechanical Processing on Utilization of Corn Silage by Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.83, p. 2521-2528, 2000.

DIAS JUNIOR, G.S.; FERRARETTO, L.F.; SALVATI, G.G.S. et. al. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. **Journal of Dairy Science**, v.99, n.4, p. 2719-2729, 2016.

EBLING, T.L.; KUNG JR, L. A Comparison of Processed Conventional Corn Silage to Unprocessed and Processed Brown Midrib Corn Silage on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.8, p. 2519-2527, 2004.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D.; LUCK, B.D. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. **Journal of Dairy Science**, v.101, n.5, p. 3937-3951, 2017.

FERRARETTO, L.F. Impact of Starch Content and Digestibility in Dairy Cattle Diets. **Department of Animal Sciences, University of Florida**, 2016.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.4, p. 2662-2675, 2015.

FERRARETTO, L.F.; CRUMP, P.M.; SHAVER, R.D. Effect of ensiling time and exogenous protease addition to wholeplant corn silage of various hybrids, maturities, and chop lengths on nitrogen fractions and ruminal in vitro starch digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.12, p. 8869-8881, 2015.

FERRARETTO, L.F.; CRUMP, P.M.; SHAVER, R.D. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v.96, n.1, p. 533-550, 2013.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D. Effect of Corn Shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v.28, p. 639–647, 2012.

FREDIN, S.M. **How to get more out of dietary starch and low starch diets**. 2015. Disponível em: < https://pdfs.semanticscholar.org/1217/529b09d4f46422fbf9f14155842780261a5e.pdf > Acesso em: 02 novembro 2019.

FREDIN, S.M.; FERRARETTO, L.F.; AKINS, M.S. et. al. Fecal starch as an indicator of total-tract starch digestibility by lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.97, n.3, p. 1862–1871, 2014.

GEISER, J.; GOESER, J. Midwestern US commercial dairy survey results: corn silage kernel processing, rumen starch digestibility, and fecal starch content. In: ADSA – ASAS – JOINT ANNUAL MEETING - JAM, 2095, Cincinnati. **Poster...** Estados Unidos, 2019.

GOROCICA-BUENFI, M.A.; LOERCH, S.C. Effect of cattle age, forage level, and corn processing on diet digestibility and feedlot performance. **Journal of Animal Science**, v.83, p. 705-714, 2005.

GRANT, R. Feeding to Maximize Milk Solids. University of Nebraska, **Institute of Agriculture and Natural Resources**, 1997.

GROUW, J.M van. **Survey of starch digestibility of california corn silages.** 2013. 64f. Thesis (Master of Science in Animal Science) – California State University, Fresno.

HEINRICHS, J. The Penn State Particle Separator. **Penn State Cooperative Extension**, v.13, n.183, 2013.

HUIBREGTSE, A.; SHAVER, R.; HOFFMAN, P. Opportunities to improve starch digestibility on dairy farms. **University of Wisconsin-Extension**, 2012.

HUTJENS, M.F. Manureology 101. In: FOUR-STATE DAIRY NUTRITION AND MANAGEMENT CONFERENCE, 2010, Dubuque. **Proceedings...** Dubuque, Iowa: 2010.

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.

JOHNSON, J.R. **Techniques to increase silage stability and starch availability and the effects of heat stress abatement systems on reducing heat load in dairy cattle.** 2017. 193f. Dissertation (Doctor of Philosophy) – Kansas State University, Manhattan, Kansas.

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, p.2813-2825, 1999.

JUNGES, D.; MORAIS. G.; DANIEL. J. L. P. et al. Contribution of proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 17., 2015, Piracicaba. **Proceedings...** São Paulo: 2015.

JUNGES, D. **Tempo de armazenamento e manejo do painel no valor nutritivo de silagens de milho.** 2014. 150f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, ESALq, Piracicaba.

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.

LIDY, D.; OSORIO, J.S.; HUTJENS, M.F. et al. Evaluating total tract starch digestibility. Illinois Livestock Trail. **University of Illinois-Extension**, 2009.

MAULFAIR, D.D.; FUSTINI, M.; HEINRICHS, A.J Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and fecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.94, n.7, p. 3527-3536, 2011.

MELLO, R.P.; DALLE CARBONARE, M.S. Chemical quality of corn silage in Brazilian capital of milk during nine years. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 18., 2018, Bonn. **Proceedings...** Alemanha, 2018.

MERTENS, D.R. **Particle Size, Fragmentation Index, and Effective Fiber: Tools for Evaluating the Physical Attributes of Corn Silages**. Madison, 2005. Disponível em: http://www.whminer.org/pdfs/Mertens%20particle%20size%204%20state%202005.pdf. Acesso em: 28 setembro 2019.

MICHELOTTI, T.C.A.; SILVA, R.A.; CARNEIRO, J.H. et al. Effect of ensiling time on apparent total tract starch digestibility in Southern Brazilian dairy herds. **Scientia Agricola**, v.78, n.2, 2019.

OWENS, F. Corn Silage – Facts, Fantasies, and the Future. In: FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 1., 2008, Gainesville. **Proceedings...** Gainesville: Pioneer Hi-Bred International, 2008. 31p.

OWENS, F.; SODERLUND, S. **Ruminal and postruminal starch digestion by cattle.** 2007. 13f. Pioneer Hi-Bred - DuPont Business, Johnston, Iowa.

OWENS, F.N.; ZINN, R.A.; KIM, Y.K. Limits to Starch Digestion In The Ruminant Small Intestine. **Journal of Animal Science**, v.63, p.1634-1648, 1986.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Circular Técnica.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Minas Gerais, 2006.

SALVATI, G.G.S. **Strategies to improve kernel processing and dairy cow performance in wholeplant corn silage based on vitreous endosperm hybrid.** 2019. 89f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, Piracicaba.

SANTOS, W.P.; ÁVILA, C.L.S.; PEREIRA, M.N. et al. Effect of the inoculation of sugarcane silage with *Lactobacillus hilgardii* and *Lactobacillus buchneri* on feeding behavior and milk yield of dairy cows. **Journal of Animal Science**, v.95, p.4613-4622, 2017.

SCHMIDT, P.; NUSSIO, L.G. **Silagem De Milho Produzir Terceirizar Ou Comprar Silage Pronta**. 2010. Disponível em: < http://www.ensilagem.com.br/silagem-de-milho-produzir-terceirizar-ou-comprar-silagem-pronta/> Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

SCHWAB, E.C.; SHAVER, R.D.; SHINNERS, K.J. et.al. Processing and Chop Length Effects in Brown-Midrib Corn Silage on Intake, Digestion, and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.85, n.3, p. 613-623, 2002.

SHAVER, R.; HOFFMAN, P.; LAUER, J. et al. Milk 2006 for Corn Silage. **University of Wisconsin Corn Silage Evaluation System.** 2006.

SHINNERS, K.J.; HOLMES, B.J. Making Sure Your Kernel Processor Is Doing Its Job. **Focus on Forage**, v.15, n.4, 2013.

SILVA, H.L.; FRANÇA, A.F.S.; FERREIRA, F.G.C. et al. Indicadores Fecais De Bovinos Nelore Alimentados Com Dietas De Alta Proporção De Concentrado. **Ciência Animal Brasileira**, v.13, n.2, p.145-156, 2012.

SILVA, H.L. **Dietas De Alta Proporção De Concentrado Para Bovinos De Corte Confinados.** 2009. 177f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

THEURER, C.B.; HUBER, J.T.; DELGADO-ELORDUY,A. et al. Invited Review: Summary of Steam-Flaking Corn or Sorghum Grain for Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.1950-1959, 1999.

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.

WEISS, W.P.; WYATT, D.J. Effect of Oil Content and Kernel Processing of Corn Silage on Digestibility and Milk Production by Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.351-359, 2000.