



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

EDIANE ZANIN

**USO DE SILAGEM DE GRÃO DE MILHO REIDRATADO
COM SORO DE LEITE NA ALIMENTAÇÃO DE LEITÕES
DESMAMADOS**

Londrina,
2022

EDIANE ZANIN

**USO DE SILAGEM DE GRÃO DE MILHO REIDRATADO
COM SORO DE LEITE NA ALIMENTAÇÃO DE LEITÕES
DESMAMADOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal da Universidade Estadual de
Londrina - UEL, como requisito parcial para a
obtenção do título de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Valter Harry Bumbieris Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Caio Abércio Da Silva

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Z31u Zanin, Ediane .
 Uso de silagem de grão de milho reidratado com soro de leite na alimentação de leitões desmamados / Ediane Zanin. - Londrina, 2022.
 131 f. : il.

 Orientador: Valter Harry Bumbieris Júnior.
 Coorientador: Caio Abércio Da Silva.
 Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, 2022.
 Inclui bibliografia.

 1. Leitão (Suíno) - Desempenho produtivo - Tese. 2. Leitão (Suíno) - Desmame - Tese. 3. Leitão (Suíno) - Diarréia - Tese. 4. Leitão (Suíno) - Desempenho zootécnico - Tese. I. Bumbieris Júnior, Valter Harry . II. Silva, Caio Abércio Da . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. IV. Título.

CDU 63

EDIANE ZANIN

**USO DE SILAGEM DE GRÃO DE MILHO REIDRATADO
COM SORO DE LEITE NA ALIMENTAÇÃO DE LEITÕES
DESMAMADOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal da Universidade Estadual de
Londrina - UEL, como requisito parcial para a
obtenção do título de Doutora.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Valter Harry Bumbieris Junior
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Co-orientador Caio Abércio Da Silva
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Rafael Humberto Carvalho
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Alexandre Oba
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. José Maurício Gonçalves dos Santos
Universidade Cesumar – UNICESUMAR

Prof. Dr. Marcos Augusto Alves da Silva
Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP

Londrina, 24 de fevereiro de 2022.

*Dedico este trabalho aos meus pais,
irmãos e sobrinhos, e aos animais.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por me guiar nesta jornada.

Agradeço imensamente meus honrosos pais Luiza Zelfira Baldo e Odolir Zanin pelo esforço dedicado à minha formação, apoio e amor incondicional. A vocês minha gratidão eterna!

A minhas irmãs Rosane e Ediciane, irmãos Gilvani, Silvano e Celio, exemplos de trabalho e determinação. Aos meus amados sobrinhos Matheus, Gustavo, Isadora, Karine, Otávio Miguel, Vinícius, Maria Vanuza e João Vitor pelos momentos de inspiração, conforto e alegrias.

Ao meu companheiro amoroso Anathan Bichel por toda dedicação, apoio e amor sincero. Todo meu reconhecimento e gratidão a você!

Agradeço aos meus orientadores Valter Harry Bumbieris Junior e Caio Abércio Da Silva, não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela amizade, dedicação, paciência, confiança e nobres ensinamentos. Minha eterna gratidão e admiração!

Às equipes de pesquisa em suínos (Grupo PES) e conservação de alimentos (Grupo Conserva) do departamento de Zootecnia e de pós-graduação em Ciência Animal, e a todos os graduandos (as) dos cursos de Zootecnia, Medicina Veterinária e Agronomia da Universidade Estadual de Londrina que participaram da execução do experimento.

Aos professores presentes na banca de qualificação José Antonio Fregonesi, Paulo Levi de Oliveira Carvalho, Rafael Humberto De Carvalho, e defesa Marcos Augusto Alves da Silva, José Maurício Gonçalves dos Santos, Alexandre Oba e Rafael Humberto De Carvalho pela participação e contribuição neste trabalho.

Às minhas amigas, Tatiane Vito Camiloti, Carla Aparecida De Barros, Vanessa Holsbach, Melca Altoé de Marchi e Maria Ivone Laskovski pela amizade, apoio e pelos momentos que partilhamos juntas.

Aos professores do programa de pós-graduação em Ciência Animal, a secretária Helenice Kieski e técnica do laboratório Tânia Mara Sedemaka pela atenção e assistência.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos. Ao programa de pós-graduação em Ciência Animal e à Universidade Estadual de Londrina.

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse estudo.

Muito obrigada!

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível”.

São Francisco de Assis

ZANIN, Ediane. **Uso de silagem de grão de milho reidratado com soro de leite na alimentação de leitões desmamados**. 2022. 124 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

RESUMO

Leitões desmamados necessitam de dietas que assegurem seu desempenho zootécnico e estimulem a iniciação alimentar. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos do soro de leite fluído na qualidade da silagem de grãos de milho reidratados, bem como o uso da silagem sob o desempenho zootécnico e a preferência alimentar de leitões desmamados. Foram realizados dois experimentos, no primeiro foi avaliado a qualidade de silagens de grãos de milho reidratados com Água; Soro de leite em pó (SLP); Soro de leite fluído (SLF); Soro de leite em pó, acrescido de aditivo (SLPA); e Soro de leite fluído, acrescido de aditivo (SLFA). A SLP apresentou o menor valor de FDA (14,7 g/kg) e a SLF apresentou os menores valores de lignina (3,3 g/kg) e das N-NH₃ às 240 horas de exposição ao ar (0,7 g/kg), com valor de pH final de 4,40. O uso de soro de leite se apresenta como alternativa sustentável à água para reidratar grãos de milho, além de proporcionar boa qualidade e estabilidade das silagens. No segundo experimento foram avaliados 120 leitões com 21 dias de idade, durante a fase pré-inicial I (21 a 32d) quanto ao desempenho produtivo submetidos com as seguintes dietas experimentais: ração controle a base de milho grão seco (RC); ração com silagem de grão de milho reidratado com água (SGMR+A); ração com SGMR com água, acrescido com inoculante (SGMR+AI); e ração com SGMR com soro de leite (SGMR+SL). Para avaliar a preferência alimentar, 20 leitões desmamados foram submetidos a duas fases de avaliação, a fase restrita envolveu o fornecimento da dieta referência (D1, grão de milho seco), seguido da dieta teste (D2, silagem de grão reidratado com soro de leite) por cinco dias cada, e na livre escolha foram ofertadas as duas dietas por 6 dias. Na fase pré-inicial I não houve diferença para o ganho de peso diário (GPD), consumo diário de ração (CDR) e conversão alimentar (CA) ($p>0,05$). Leitões dos grupos SGMR+AI e SGMR+SL não apresentaram ocorrências de magreza e depressão. Foi observado tendência ($p=0,06$) de menor ocorrência e severidade de diarreia em leitões de SGMR + A e SGMR+AI, ou seja, os quadros diarreicos diminuíram, refletindo num GPD nas primeiras semanas pós-desmame equivalente a dietas com grãos secos. Os leitões permaneceram mais tempo deitados na fase restrita para D1 (276,7 min/d), maior tempo gasto em pé (74,4 min/d) e maior consumo de ração (649,1 g de MS) para D2. Durante a livre escolha os leitões gastaram mais tempo consumindo (118,7 min/d) e maior consumo (761,3 g de MS) para D1, com preferência de 56,39% para dieta referência. A SGMR apresentou superioridade nutricional e promoveu melhor aceitabilidade e desempenho dos leitões nas primeiras semanas pós-desmame.

Palavras-chave: desempenho produtivo; desmame; diarreia; qualidade químico-fermentativa; preferência.

ZANIN, Ediane. **Use of rehydrated corn grain silage with acid whey in the feed of weaned piglets**, 2022. 124 p. Thesis (Doctorate in Animal Science) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

ABSTRACT

Weaned piglets need diets that ensure their performance and encourage feeding initiation. The aim of this study was to evaluate the effects of acid whey on the quality of rehydrated corn grain silage, as well as the use of silage on performance and feed preference of weaned piglets. Three experiments were carried out. In the first, the quality was evaluated of corn grain silages rehydrated with Water; Whey powder reconstituted with water (WPW); Acid whey (AW); Whey powder reconstituted with water, plus additive (WPA); Acid whey, plus additive (AWA). The SLP had the lowest observed value of ADF (14.7 g/kg) and SLF had the lowest values of lignin (3.3 g/kg) and N-NH₃ at 240 hours of exposure to air (0.7 g/kg), with a final pH value of 4.40. The use of whey is a sustainable alternative to water to rehydrate corn grains, in addition to providing good quality and stability of the silages. In the second experiment, 120 piglets with 21 days of age were evaluated, during the pre-initial phases I (21 to 32d) and II (33 to 50d) to the following experimental diets: a control ration with dry corn grain (CR); rehydrated corn grain silage with water (CGSR+W); rehydrated corn grain silage with water and inoculant (CGSR+WI); rehydrated corn grain silage with acid whey (CGSR+AW). There was no difference for zootechnical performance in pre-initial phase I for daily weight gain (DWG), daily feed intake (DFI), and feed conversion (FC) ($p>0,05$). Piglets from the CGSR+WI and CGSR+AW groups did not show occurrences of thinness and depression. A trend towards ($p=0,06$) a lower occurrence and severity of diarrhea was observed in piglets of CGSR+W and CGSR+WI, that is, the diarrheal symptoms decreased, reflecting a DWG in the first weeks post-weaning equivalent to diets with dry grains. Piglets remained lying longer in the restricted phase for D1 (276.7 min/d), and the longest time spent standing (74.4 min/d) and feed intake (649.1 g DM) for D2. During free choice, the piglets spent more time consuming (118.7 min/d) and higher consumption (761.3 g DM) for D1, with a preference of 56.39% for the reference diet. The CGSR+AW showed nutritional superiority and promoted greater acceptability and performance of piglets in the first weeks after weaning.

Key-words: diarrhea; preference; silage; weaning; swine farming.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 – Chemical quality (g/kg DM) of grain corn silages rehydrated with water, acid whey and fluid whey	79
Tabela 2 – Chemical-fermentative composition of rehydrated corn grain silages determined by the NIRS system	81
Tabela 3 – Fermentative quality (g/kg DM) of grain corn silages rehydrated with water, powdered whey and fluid whey	83
Tabela 4 – Aerobic stability parameters of corn grain silages submitted to rehydration.....	84

ARTIGO II

Tabela 1 – Formulation of experimental diets using dry corn grain and rehydrated corn grain silage	115
Tabela 2 – Chemical composition (mean \pm SE) of the experimental diets fed to the weaned piglets	116
Tabela 3 – Performance of piglets weaned fed with diets with the inclusion of rehydrated corn grain silage	117
Tabela 4 – Number of occurrences and score of diarrhea, the rate of incidence, and severity of diarrhea; number of animals medicated with injectable products, according to the diagnosed diseases; number of occurrences of thinness score and depression score in the total evaluation period	118
Table I – Chemical composition (mean \pm SE) of silages (% DM) fed to the weaned piglets.....	122
Table II – Chemical-fermentative quality of silages determined using the NIRS system.....	123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAL	Bactérias ácido lácticas
CA	Conversão alimentar
CDR	Consumo diário de ração
CT	Capacidade tampão
CHOT	Carboidratos totais
CNF	Carboidratos não fibrosos
D1	Dieta à base grão de milho seco
D2	Dieta à base de silagem de grão reidratado com soro de leite
EE	Extrato etéreo
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em detergente neutro
GPD	Ganho de peso diário
HCl	Ácido clorídrico
MS	Matéria seca
MO	Matéria orgânica
NDT	Nutrientes digestíveis totais
N-NH ₃	Nitrogênio Amoniacal
PB	Proteína bruta
pH	Potencial hidrogeniônico
RC	Ração controle
SGMR	Silagem de grão de milho reidratado
SGMR+A	Silagem de grão de milho reidratado com água
SGMR+AI	Silagem de grão de milho reidratado com água, acrescido com inoculante
SLF	Soro de leite fluído
SLP	Soro de leite em pó
SLPA	Soro de leite em pó reconstituído com água, acrescido de aditivo
SLFA	Soro de leite fluído, acrescido de aditivo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	SILAGEM DE GRÃO DE MILHO REIDRATADO	14
2.1.1	Qualidade Químico-Fermentativa e Estabilidade Aeróbia de Silagens de Grãos de Milho Reidratados	20
2.1.2	Microbiologia e Uso de Aditivos em Silagens de Grãos de Milho Reidratados.....	26
2.1.3	Silagem de Grãos de Milho na Alimentação de Suínos.....	30
2.2	FASE PÓS DESMAME DE LEITÕES	35
2.2.1	Desmame de Leitões	35
2.2.2	Desempenho de Leitões na Fase Pós-Desmame	37
2.3	PREFERÊNCIA ALIMENTAR DE LEITÕES DESMAMADOS	42
2.3.1	Teste de Preferência	42
2.3.2	Preferência Alimentar de Leitões Desmamados	43
3	REFERÊNCIAS	47
4	HIPÓTESES	59
5	OBJETIVOS	60
5.1	OBJETIVO GERAL	60
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	60
6	ARTIGO I - Effects of acid whey on the fermentative chemical quality and aerobic stability of rehydrated corn grain silage.....	61
7	ARTIGO II - Performance and feed preference of weaned piglets fed with corn grain silage subjected to different rehydration sources.....	90
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	124

1 INTRODUÇÃO

O milho grão seco é o ingrediente energético mais utilizado nas rações para alimentação animal, no entanto, também pode ser submetido à reidratação para ser armazenado como silagem. A silagem de grão de milho reidratado é uma estratégia de conservação de alimentos utilizada para garantir a disponibilidade de alimentos durante todo o ano (OLIVEIRA et al., 2019), diminuir os custos com logística (FERRARETTO; FREDIN; SHAVER, 2015), minimizar os efeitos das oscilações de preço desta *commodity* (ARCARI et al., 2016), e facilitar a estocagem em grandes volumes e preservação dos grãos.

O processo de moagem do grão de milho seco e sua posterior reidratação visa também aumentar sua digestibilidade, que reflete positivamente no desempenho animal, uma vez que o milho utilizado na maioria dos países é caracterizado como do tipo *flint* ou duro, que detém menor digestibilidade (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013). A reidratação do grão é comumente feita com água para atingir níveis finais entre 35 a 37% de umidade (SILVA et al., 2016; DA SILVA et al., 2018). No entanto, produtos líquidos alternativos, de baixo valor agregado ou que detêm características poluentes, mas não tóxicas, também podem ser usados para a reidratação dos grãos de milho seco. Coproduto como o soro de leite, que possui em sua composição elevado conteúdo de água (94%), com 4,4 a 5% de lactose, proteínas solúveis (0,6-0,8%), minerais (0,7%), bactérias ácido lácticas e de pH ácido (LIEVORE et al., 2015; CHANDRAPALA et al., 2015), constitui um bom exemplo para este fim, com vantagens dada ao aporte de mais nutrientes à silagem e a adequada destinação final desse coproduto (REZENDE et al., 2014; DA CRUZ et al., 2021).

Quanto ao uso da silagem de grão de milho reidratado como um ingrediente para compor as rações de leitões desmamados, esse alimento poderia cumprir um papel importante nesta fase crítica de manejo, apoiado no aumento da digestibilidade do grão (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013), reduções de polissacarídeos não-amiláceos, produção de ácidos orgânicos, e alterações nas características de palatabilidade do alimento (KANENGONI et al., 2015), esses fatos quando somados, poderiam contribuir para manutenção do trato gastrointestinal, minimizar os casos de diarreia (LEHNEN et al., 2011; XU et al., 2016) e conseqüentemente atuar positivamente no desempenho animal.

No desmame dos leitões, devido a imaturidade do trato gastrointestinal a digestão da ração seca pode ser comprometida, somado ao sistema imune que ainda está em desenvolvimento (JAYARAMAN; NYACHOTI, 2017), esses fatores podem predispor uma disfunção na barreira intestinal e ocasionar distúrbios intestinais (PAPADOPOULOS et al.,

2017; VILLAGÓMEZ-ESTRADA et al., 2020). Para a minimização destes efeitos sobre o desempenho dos leitões desmamados, novas estratégias alimentares, que consideram a forma física e processamento da ração (MAZUTTI et al., 2017), as interações dos nutrientes (VILLAGÓMEZ-ESTRADA et al., 2020), e as diferentes texturas do endosperma do milho grão, que refletem na sua dureza e digestibilidade (PIOVESAN et al., 2011), bem como o fornecimento de rações que variam em teores de umidade, texturas, sabores, entre outros, podem representar recursos efetivos para dirimir estes déficits de desempenho e contribuir para a iniciação e preferência alimentar (CLOUARD et al., 2012; FIGUEROA et al., 2012; SOLA-ORIOLO; ROURA; TORRALLARDONA, 2014; PAPADOPOULOS et al., 2017).

Neste contexto, a revisão a seguir almeja apontar a importância de um adequado processo de ensilagem sobre a qualidade químico-fermentativa e de estabilidade aeróbia da silagem de grão de milho reidratado, os efeitos do desmame sobre o desempenho produtivo e a preferência alimentar de leitões desmamados. Por fim, a apresentação de três artigos científicos que objetivaram avaliar as características químico-fermentativas de silagens de grãos de milho reidratados com soro de leite, e o uso de dietas formuladas com silagem sob o desempenho zootécnico e a preferência alimentar de leitões desmamados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SILAGEM DE GRÃO DE MILHO REIDRATADO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é oriunda da América Central com cultivo amplo no território brasileiro, dada a importância econômica e versatilidade de utilização tanto na alimentação humana como animal (PRESTES et al., 2019). O uso do milho grão é um dos principais ingredientes da dieta de suínos, devido ao valor nutricional e ser amplamente cultivado no país e mundo (MARTINS et al., 2012). Para suínos em crescimento a energia metabolizável da dieta é oriunda de 50-70% do milho grão e quando comparado a outros grãos de vegetais que fazem parte da dieta, contém quantidade relativamente baixa de proteína com 7 a 15% (KIL et al., 2014; PARK et al., 2015).

O grão de milho é constituído por quatro estruturas físicas que consistem em pericarpo, endosperma, embrião ou germe, e pedicelo ou ponta, cada qual com sua composição química. O embrião ou gérmen representa cerca de 11% do peso do grão e concentra quase a totalidade dos lipídeos e minerais do grão. O pericarpo é formado por uma camada de células densas e pouco vacuoladas, que atua como uma barreira física contra a permeabilidade da água e da ação de microrganismos e enzimas para sua digestão. Essa estrutura representa 5% do peso total do grão, sendo rica em fibras constituídas de polissacarídeos do tipo hemicelulose (67%), celulose (23%), lignina (0,1%) e com baixos teores de amido e proteína. O endosperma corresponde a 80% do peso do grão, composto por 86% de amido, 10% de proteína de reserva e menores quantidades de cinzas e gordura. O endosperma pode ser classificado como farináceo e vítreo de acordo com a distribuição dos grânulos de amido e da matriz proteica. O endosperma vítreo quando comparado ao endosperma farináceo possui corpos proteicos maiores e numerosos, e se encontra na região periférica do grão (MENEZES et al., 2017).

O grão inteiro de milho possui aproximadamente 72% de amido, 4 a 5% de óleo, 9 a 10 % de fibras, e 7 a 15% de proteína, das quais 70-90% são prolaminas, consideradas proteínas de reserva, que se localizam principalmente no endosperma, e possuem grande quantidade de prolinas e aminas. A prolina é responsável pela característica hidrofóbica das prolaminas, ou seja, insolúvel em água com formação de uma barreira hidrofóbica nos grânulos de amido, que impede a ação das enzimas e reduz a degradação do amido (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). O amido, principal constituinte do grão, é um polissacarídeo formado por cadeias de amilose e amilopectina que são unidas por pontes de hidrogênio e se diferenciam pelas ligações glicosídicas. A amilose possui ligações glicosídicas α -1,4 de cadeias longas não

ramificadas, e a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6 de cadeia ramificada. O amido é disposto em formato de grânulos, os quais são pseudocristais envoltos por uma matriz proteica esparsa e fragmentada (MENEZES et al., 2017).

O grão de milho, se apresenta ainda como importante fonte de fibras dietéticas compostas por polissacarídeos que estão presentes na parede celular dos grãos (SLAVIN, 2010). A fibra dietética de acordo com AACC (2001) é definida como parte comestível de plantas resistentes à digestão e absorção no intestino delgado, com fermentação completa ou parcial no intestino grosso, que proporciona efeitos fisiológicos benéficos ao organismo. A fibra do milho está presente em maior quantidade no pericarpo, sendo composta por cerca de 90% de fibra insolúvel (celulose, hemicelulose, lignina) que apresenta são fermentadas de forma lenta e incompleta no intestino grosso, e as fibras solúveis (pectinas) apresentam alta capacidade de absorção de água e são fermentadas no cólon (ROSE, INGLETT; LIU, 2010).

No Brasil a produção de grãos de milho é caracterizada por dois tipos de grãos, o tipo dentado (*soft*) e o tipo duro (*flint*) classificados em função da relação de endosperma vítreo e farináceo (Figura 1) e sob aspecto visual, o grão que apresentar extremidade superior lisa e arredondada é do tipo duro, e o tipo dentado apresenta extremidade superior enrugada (MENEZES et al., 2017). O grão do tipo *soft* apresenta 48,2% de endosperma vítreo, possui maior proporção de endosperma farináceo e digestibilidade do amido. Os grânulos de amido nesse tipo de grão se apresentam em formato de esferas dispersas pelo endosperma, caracterizado como mole, poroso e de baixa densidade, e a matriz proteica esparsa e fragmentada. O grão do tipo *flint* apresenta 78,1% de endosperma vítreo e menor digestibilidade do amido. Neste, os grânulos de amido são helicoidais, adensados, e com fortes ligações entre eles. A matriz proteica é densa e bem desenvolvida, o que dificulta a penetração de água no grânulo e a hidrólise (PEREIRA e PEREIRA, 2013). A proporção entre o endosperma vítreo e farináceo e endosperma total, é denominada de vitreosidade, a qual define a textura do grão. É reconhecido que a vitreosidade dos grãos está negativamente correlacionada à digestibilidade do amido (PHILIPPEAU; MICHALET-DOREAU, 1997).

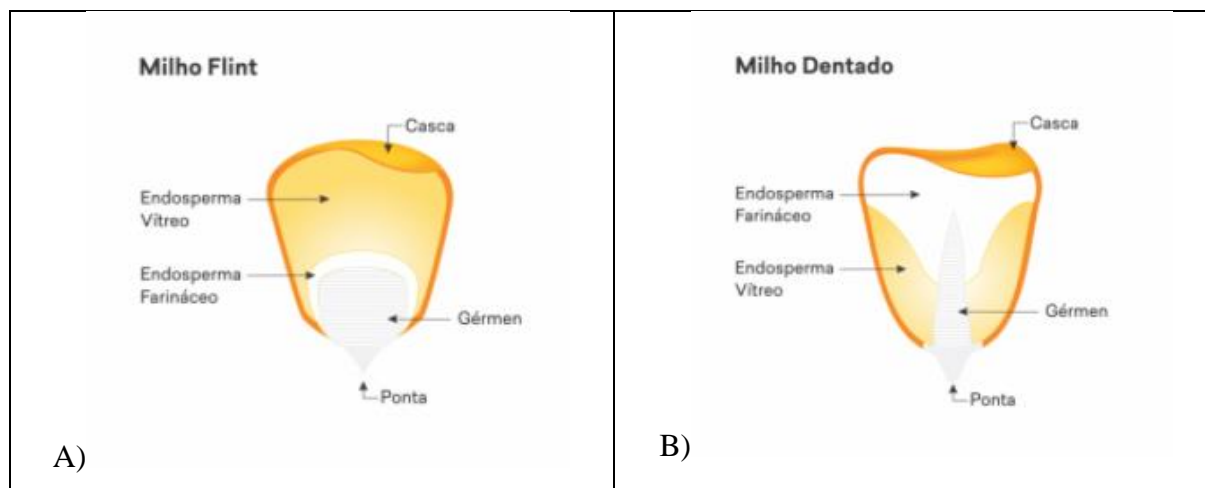


Figura 1. Estrutura física do grão de milho do tipo *flint* ou duro (A) e dentado ou *soft* (B)

Fonte: Disponível em: <https://sementesbiomatrix.com.br/blog/silagem/milho-para-silagem/>

A técnica de reidratação e ensilagem do grão de milho está crescente na área de pesquisa de conservação de alimentos pelos brasileiros, devido a maioria dos híbridos de milho cultivados no país apresentarem alta vitreosidade e baixa digestibilidade (CORREA et al., 2002; CARVALHO et al., 2017; JACOVACI et al., 2021). Além disso, nas fazendas do Brasil que possuem sistemas de criação de animais confinados, o uso de silagem de grãos de milho reidratados e úmidos está aumentando, principalmente pelo objetivo de melhorar a digestibilidade do grão (BERNARDES; CASTRO, 2019; DANIEL et al., 2019).

Revisões anteriores mostram maior digestibilidade do amido de grãos de milho úmidos e reidratados comparados aos grãos secos (FERRARETTO; CRUMP; SHAVER, 2013; FERRARETTO; FREDIN; SHAVER, 2015; FERNANDES et al., 2021). Jacovaci et al. (2021) observaram que a eficiência alimentar de bovinos em confinamento é em média 25,7% maior para o grão de milho ensilado (reidratado ou úmido) do que o grão de milho seco. De acordo com Ferraretto; Fredin e Shaver (2015), isto está relacionado com o processo de ensilagem que contribui na redução das proteínas que recobrem os grânulos de amido, pois a matriz de amido-proteína impede a digestão enzimática e hidrolítica no estômago e intestino delgado (GIUBERTI et al., 2014). De acordo com Hoffman et al. (2011) durante o processo fermentativo da silagem, ocorre a proteólise da matriz proteica hidrofóbica que envolve os grânulos de amido, por meio da ação de bactérias proteolíticas e das enzimas vegetais, proporcionando maior digestibilidade dessa fração. A proteólise ocorre em diferentes intensidades por diversas vias, sendo que as bactérias são as principais responsáveis por essa degradação de proteínas durante a fermentação da silagem de grãos de milho reidratados (JUNGES et al., 2017).

A técnica de conservação de alimentos permite a inativação de enzimas e microrganismos presentes nos alimentos e se dá por diferentes tipos de conservação. A ensilagem é o processo de conservação do tipo acidificação, que corre por meio da fermentação dos açúcares solúveis pela ação de bactérias ácido-láticas (BAL), da rápida redução no pH e pela inibição de microrganismos indesejáveis (McDONALD, 1991; MUCK et al., 2010). Ainda, se caracteriza como uma estratégia eficiente na produção de alimento volumoso e energético, onde pode ser utilizada a planta inteira, espigas e/ou grãos de diferentes culturas. Para a ensilagem de grãos, pretende-se melhorar o valor nutritivo do alimento, evitar perdas com logística e de ataque de roedores e insetos, além de facilitar a estocagem dos grãos em grandes volumes e por longos períodos na forma de silagem (MORAIS et al., 2017).

A silagem de grão de milho reidratado consiste na reidratação do grão maduro moído para posterior fermentação em silos. O grão é colhido em estágio de maturação com 15 a 17% de umidade, moído e hidratado para obter teor de umidade de 35 a 37% antes de ser ensilado. O processo ocorre primeiramente pela moagem do grão por meio de processamento mecânico capaz de quebrar o pericarpo e reduzir o tamanho das partículas antes da reconstituição por umidade. O tamanho de partícula na moagem é ajustado para cada espécie e categoria animal. O processamento do grão de milho para ovinos, na categoria de cordeiros, utiliza-se de peneira com tamanho de 5 mm (BOLSON et al., 2020), gado leiteiro recomenda-se peneira de 5 a 7 mm (ARCARI et al., 2016; CASTRO et al., 2019), gado de corte de 10 a 12 mm (JACOVACI et al., 2021) e leitões desmamados, peneiras de 1,5 mm (ZANIN et al., 2021). O grão de milho quando moído em peneira grossa (15 mm) pode favorecer perdas da silagem, devido a percolação da água para a parte inferior do silo, após a compactação. Além de contribuir para um ambiente propício ao desenvolvimento de fungos e leveduras (GOMES et al., 2020).

O moinho utilizado para processamento do grão que facilita a reidratação é do tipo martelo, que produz tamanhos de partículas menores, mas menos uniformes que os moinhos do tipo rolo (RÉMOND et al., 2004). Ambos os tipos de moinhos podem ser utilizados, desde que haja uniformidade no processamento. Para isso é importante manter um fluxo adequado na potência do motor para padronizar a quebra dos grãos (ZANIN et al., 2021).

O princípio de ensilagem seguinte ao processamento dos grãos de milho, é a reidratação (DA SILVA et al., 2018) realizada com uso de duas fontes líquidas, a água ou soro de leite integral (PEREIRA et al., 2013; REZENDE et al., 2014; SILVA et al., 2016). A proporção utilizada da fonte líquida para cada quilograma de milho moído, deve ser calculada para obter o teor de MS esperado na silagem de 63 a 65% (DA SILVA et al., 2018; DA SILVA

et al., 2019). Os grãos de milho quando moídos apresentam teor de MS em torno de 87% e umidade de 12 a 13% (ZANIN et al., 2021), e nesses teores a fermentação é restrita. Com a reidratação (teor de 35 a 37% de umidade esperado) condições de fermentação são oferecidas durante a ensilagem, bem como crescimento microbiano e consequente digestibilidade do amido (SILVA et al., 2016; DA SILVA et al., 2018).

Nessa fase de reidratação é importante considerar a fonte líquida a ser utilizada, pois a água por ser um recurso natural essencial para existência de vida na terra, e com risco de escassez no planeta, seu uso deve ser reduzido e/ou substituído na produção de alimentos. É sabido que a água potável é obtida de fontes superficiais como rios, represas, lagos e canais, e o descarte inadequado de efluentes domésticos e industriais nesses cursos de água, resultam em poluição com consequente desequilíbrio do ecossistema e riscos ambientais (EDOKPAYI et al., 2017; GORVARDIA et al., 2020).

Estima-se que a produção de produtos agropecuários é responsável pelo maior consumo de água do mundo, com cerca de 70% da retirada de água doce do planeta (HOEKSTRA et al., 2014). Nesse sentido, adoção alternativas para produção de alimentos com fontes líquidas reaproveitáveis é um caminho a ser adotado, a fim de alcançar uma produção animal sustentável. O uso de soro de leite integral para reidratação de grãos de milho se mostra como uma alternativa atraente, devido à variedade e concentração de bactérias ácido lácticas (REKTOR; VATAI, 2004), e pelo alto teor de água em sua composição.

O soro de leite é um coproduto obtido durante o processo de fabricação do queijo, por meio da separação da caseína e da gordura do leite. Possui em sua composição 93 a 94% de água, 4,4 a 5% de lactose, 0,7 a 0,9% de proteínas solúveis e 0,6 a 1,0% de sais minerais (PAULA et al., 2011; ALVES et al., 2014), que podem servir de substrato para bactérias ácido lácticas epifíticas do milho (FITZSIMONS et al., 2007). Apresenta também uma concentração simbólica de ácido láctico, porém, com importância na aceleração do rebaixamento do pH da massa ensilada. Pode ser utilizado em diferentes finalidades na alimentação humana e animal, e mais recente para uso agrícola como adubo no cultivo de milho associado a adubação mineral (MANTOVANI et al., 2015), mas sem regras definidas quanto as dosagens e formas de aplicação (MORRILL et al., 2014). O descarte inapropriado do soro ácido de leite é um fato preocupante, pois pode conduzir a poluição das águas, gerar odor desagradável, alteração da estrutura físico-química do solo e, sobretudo descumprimento da lei (OLIVEIRA; BRAVO; TONIAL, 2012). Portanto, alternativas de uso como um coproduto são importantes meios para evitar descarte inapropriado.

Para aprimorar o processo de fermentação da silagem de grãos de milho

reidratados pode ser utilizado o soro de leite em pó, diluído em água. Esse produto é rico em lactose e proteínas solúveis, das quais, cabe destacar a lactoferina e a lactoperoxidase que são consideradas proteínas antimicrobianas (YADA, 2004), com potencial ação após abertura do silo e combate a microrganismos deteriorantes, auxiliando na estabilidade aeróbia da silagem. No entanto, esse processo ainda carece do uso de água potável, o que não é esperado da produção animal nos dias atuais, visto a participação da produção pecuária à pegada hídrica (*water footprint*) da humanidade (HOEKSTRA et al., 2014).

Ainda, durante o processo de reidratação dos grãos secos, o uso de aditivos deve ser considerado (CARVALHO et al., 2017), pois atuam em melhorias da fermentação, redução de perdas de nutrientes e inibição do crescimento de microrganismos indesejáveis (KUNG JUNIOR et al., 2007; REZENDE et al., 2014). Os aditivos microbianos ou bacterianos, por exemplo, são compostos por bactérias homofermentativas e heterofermentativas que atuam no prolongamento da estabilidade aeróbica das silagens de grãos de milho úmido e reidratados (DA SILVA et al., 2018; DA SILVA et al., 2019).

Após a reidratação deve ser realizado o enchimento do silo de forma rápida, com objetivo de evitar a evaporação da fonte líquida e diferenças nos teores de MS da silagem. A massa hidratada pode ser armazenada em diferentes tipos de silos, desde trincheiras, *bags* até tambores plásticos, com excelentes resultados de conservação (ZANIN et al., 2021). O tamanho do silo deve ser planejado de acordo com a retirada diária de silagem, sendo recomendada camadas de 25 a 30 cm de todo o painel do silo. A compactação da silagem de grãos de milho reidratado deve atingir uma densidade média esperada de 1050 kg/m³ (LUGÃO et al., 2011) para garantir preservação e fermentação do material ensilado, bem como o princípio de vedação que evita a entrada de oxigênio na silagem e deve ser feito com uso de lona específica e de alta qualidade para cobertura de silos (JOBIM et al., 2007).

O tempo de armazenamento da silagem irá refletir diretamente na digestibilidade do amido, devido ao aumento na proteólise, ou seja, a quebra da matriz proteica presente no endosperma que reveste os grânulos de amido (KUNG JUNIOR et al., 2018). O período de silo fechado é de no mínimo de 45 a 60 dias, sendo ideal mais que 90 dias para promover maior digestibilidade do amido e da MS, e maior estabilidade aeróbia das silagens (ARCARI et al., 2016; SANTOS et al., 2019; DE ALMEIDA CARVALHO-ESTRADA et al., 2020). Com 60 dias de armazenamento, Fernandes et al. (2021) obtiveram resultados em que a proteólise da matriz proteica dos grãos no silo promoveu melhorias na digestibilidade da MS e do amido das silagens de grãos de milho híbrido tipo *flint*.

De forma geral, a silagem de grão de milho reidratado é uma alternativa de

preservação e armazenamento dos grãos, bem como uma forma de assegurar estoque de alimento em períodos críticos do ano. A qualidade da silagem de grão reidratado está diretamente relacionada com o processamento e qualidade dos grãos, e o tempo de armazenamento. Estes fatores irão garantir maior digestibilidade do amido e da matéria seca e melhor estabilidade aeróbia. A reidratação do grão moído pode ser realizada com uso do soro de leite integral, o qual é uma fonte líquida alternativa à água, e oferece boa qualidade da silagem, e o uso de aditivos bacterianos contribuem para aprimorar a conservação, fermentação e estabilidade aeróbia da silagem. Por fim, o uso crescente da silagem de grão reidratado na alimentação animal caracterizam-na como alimento alternativo ao grão de milho seco nas dietas.

2.1.1 Qualidade Químico-Fermentativa e Estabilidade Aeróbia de Silagens de Grãos de Milho Reidratados

A qualidade da silagem depende de vários fatores desde as características químicas e físicas dos alimentos, até as condições ambientais durante a produção, e no interior do silo. Os princípios básicos para boa conservação de silagens são pH baixo e anaerobiose, e para que se tenha condição de anaerobiose o processo de produção deve ser intensificado com estratégias que reduzam a presença de oxigênio durante o abastecimento do silo, como rápido enchimento do silo, uma boa compactação do material a ser ensilado e uso de lonas específicas para vedação (JOBIM; NUSSIO, 2013).

No processo de fermentação são envolvidas quatro etapas distintas: fase aeróbica inicial (durante o processo de colheita, processamento dos grãos); fase de fermentação principal; fase de estabilidade; e abertura do silo ou fase de descarga (BOLSEN et al., 1995). Na fase aeróbica inicial todos os microrganismos estão ativos, devido à presença de oxigênio no silo. No processo de fermentação, há ausência de oxigênio e os microrganismos anaeróbicos dominam a massa ensilada, produzem ácido lático para favorecer o predomínio das bactérias ácido lácticas (BAL). Nessa condição as populações de enterobactérias, fungos, leveduras e microrganismos indesejáveis são reduzidas, e a fermentação é encerrada até que o pH diminua o suficiente para inibir o crescimento das BALs, e assim iniciar o processo de estabilização (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). Durante e após a fase de estabilização, somente hidrólise ácida de polissacarídeos é mantida, como resultado da atividade enzimática (PAHLOW et al., 2003).

O processo de fermentação envolve desenvolvimento sucessivo de

microrganismos de diferentes gêneros e espécies, os quais dependem do pH, do potencial de oxirredução, tipo e quantidade de substratos presentes no material ensilado, tais como quantidade de carboidratos solúveis, baixa capacidade tampão, teor de MS, e a estrutura física da cultura. Ainda para ser caracterizado como um processo adequado, a atividade proteolítica deve ser mínima, e apresentar baixa produção de efluentes além de baixas perdas de MS (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Para mensurar a qualidade das silagens, alguns parâmetros são avaliados dentre eles, a atividade proteolítica que pode ser estimada através da determinação do nitrogênio amoniacal (N-NH₃) presente na silagem. Os valores máximos permitidos são de 8 a 10% de N-NH₃ como parte do nitrogênio total, sendo que valores superiores podem caracterizar uma intensa proteólise e presença de clostrídios nas silagens (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). O principal fator responsável pela proteólise é a atividade proteolítica de bactérias, enzimas, fungos e produtos de fermentação (JUNGES et al., 2017).

A capacidade tampão (CT) definida como a resistência do material ensilado à redução do pH também é avaliada para termos qualitativos das silagens. Esse parâmetro deve ser baixo na cultura a ser ensilada e está relacionado com o teor de proteína bruta (PB), íons orgânicos (sódio, cálcio, potássio) e ácidos orgânicos da mesma (JOBIM et al., 2007). Portanto, é importante que a redução do pH durante a fermentação seja rápida, ou seja, uma CT baixa, pois impedirá o crescimento de leveduras, fungos, clostrídios, entre outros em um meio ácido. Esses microrganismos indesejáveis que podem estar presentes nas silagens com fermentação inadequada são responsáveis pela produção de aminas, micotoxinas, e outros compostos que afetam o consumo e desempenho dos animais (LINDGREN et al., 1985; McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Outro importante ponto a se considerar e que determina de forma mais efetiva a qualidade da silagem é o teor de matéria seca (MS) da cultura, uma vez que, está relacionado diretamente com a fermentação láctica e a compactação da silagem. Altos teores de MS dificultam a compactação e eliminação do ar entre as partículas das forragens ou de grãos, e limitam o crescimento de BALs, devido à menor disponibilidade de água metabólica para os microrganismos presentes na massa ensilada (KUNG JUNIOR et al., 2018). Por isso, a hidratação dos grãos secos para atingir teores de MS entre 63 a 67% durante a ensilagem, visto que os teores de MS dos grãos secos é de 87 a 88%.

A qualidade da SGMR está diretamente ligada com a qualidade do grão e da fonte líquida de reidratação. Os estudos científicos conduzidos com esse tipo de silagem foram realizados nos últimos 10 anos, e tratam em sua grande maioria sobre a qualidade químico-

fermentativas (REZENDE et al., 2014; JUNGES et al., 2017; GOMES et al., 2020; FERNANDES et al., 2021), microbiológicas (DA SILVA et al., 2019; DE ALMEIDA CARVALHO-ESTRADA et al., 2020), estabilidade aeróbica (REZENDE et al., 2014; SILVA et al., 2016;), e sobretudo, dos efeitos da adição de aditivos químicos e bacterianos (DA SILVA et al., 2018; DA SILVA et al., 2019). Recentemente, estudos foram conduzidos sobre a utilização da SGMR com animais de produção, dentre eles, os efeitos sobre desempenho produtivo de vacas leiteiras (FERARRETTO et al., 2013; ARCARI et al., 2016; CASTRO et al., 2019), de gado de corte em confinamento (JACOVACI et al., 2021) e de ovinos de corte e leite (FIGUEIRA et al., 2020; BOLSON et al., 2020), e o presente estudo com leitões desmamados.

Sobre o uso de diferentes fontes líquidas para reidratação dos grãos de milho e os efeitos nas características químico-fermentativas, o coproduto soro de leite foi investigado por Rezende et al. (2014) para avaliar os efeitos da reidratação com água ou soro de leite, em três níveis de umidade e inoculação bacteriana sob parâmetros de fermentação e composição química das silagens. Sobre a composição química, os teores médios de MS das silagens foram maiores para a reidratação com soro de leite (64,92%) do que com água (62,85%). Já para as silagens inoculadas, não foi observado alteração no conteúdo de MS (63,6% vs. 64,6% não inoculadas). Para Da Cruz et al. (2021) foi encontrado maiores teores de MS e cinzas para as silagens de grãos de milho reidratados com soro de leite fluído (67,49% e 1,80%, respectivamente) comparado a reidratação dos grãos com água (65,84% e 1,29%), sem apresentar diferença para perdas de MS. Estes resultados, segundo os autores, são justificados pelo conteúdo de MS e minerais presentes no soro de leite.

Para o teor de proteína bruta (PB), Rezende et al. (2014) encontraram que as SGMR com água apresentaram os maiores valores do que com soro de leite (102,7 g/kg e 96,1 g/kg, respectivamente), e Da Cruz et al. (2021) obtiveram maiores teores de PB para as silagens inoculadas tanto para água (8,63%), quanto para soro de leite (8,09%). Já para os teores de FDN e FDA, Rezende et al. (2014) observaram os efeitos nessas variáveis pela fonte líquida utilizada e o nível de umidade na reidratação. As SGMR com soro de leite não inoculadas, apresentaram menores valores para FDN de 139,5 e 147,1 g/kg para os níveis de 300 e 400 ml/kg, respectivamente. Os menores teores de FDA foram observados para as SGMR soro de leite e inoculante com 6,5 e 5,4 g/kg, nos níveis de 300 e 350 ml/kg. Esses resultados, segundo os autores, podem estar relacionados, com a variação desses teores de nutrientes nos grãos de milho e a atividade enzimática sobre as fibras, que também variam com o tempo de armazenamento das silagens. Para Da Cruz et al. (2021) a digestibilidade da FDA foi maior

para as silagens que combinaram o inoculante e o soro de leite na reidratação. Esse resultado parece estar relacionado com o complexo enzimático do aditivo, o qual contém enzimas celulase e hemicelulase que podem causar afrouxamento do arranjo estrutural das fibras presentes no pericarpo do milho. Para este estudo, os autores concluíram que o soro de leite ácido e o uso do inoculante enzimático-bacteriano melhorou as características químico-fermentativas, e de digestibilidade *in vitro* das silagens.

Sob diferentes perspectivas de avaliar e aprimorar a qualidade químico-fermentativa das SGMR, Ferraretto, Fredin e Shaver (2015) adicionaram a enzima protease exógena a fim de aumentar a proteólise e digestibilidade do amido, bem como inclusão de inoculantes bacterianos para acelerar a fermentação e aumentar a produção de ácidos. Não foi observado diferença para o conteúdo de MS, PB e N-NH₃ nas silagens tratadas com e sem inoculante e enzima protease. A inoculação microbiana reduziu o pH (3,99 vs. 4,40 em média) em comparação com SGMR sem adição de inoculante, devido a maiores concentrações de ácido láctico (1,69 vs. 0,95% da MS em média). Além de baixa concentração de ácido acético, propiônico e etanol com a inoculação bacteriana.

Já Oliveira et al. (2019) avaliaram os efeitos da incorporação de enzimas amilolíticas no milho moído reidratado sobre o perfil fermentativo e a composição química da silagem. A adição da enzima amilase melhorou a degradação da MS da silagem *in vitro* sem afetar composição química e a β -glucanase aumentou a atividade da enzima amilase. Foi observado maior contagem de BALs e N-NH₃, sem alterar a composição química da silagem, quando comparado com os valores do tratamento controle. Para estes autores, as enzimas amilolíticas melhoraram a fermentação do milho reidratado e a enzima β -glucanase aumentou as perdas fermentativas.

Com intuito de utilizar diferentes fontes líquidas na reidratação dos grãos de milho e os efeitos sob a composição de SGMR, Tres et al. (2020) avaliaram os efeitos de níveis de okara (subproduto do processo de fabricação do leite de soja e tofu) sobre a qualidade químico-fermentativa e estabilidade aeróbia de SGMR. Os autores observaram que a inclusão de okara aumentou linearmente a PB, EE, FDN, FDA, cinzas e concentração de ácido láctico. A estabilidade aeróbia das silagens aumentou com a inclusão de okara, devido à maior quantidade de ácidos graxos de cadeia curta, como os ácidos butírico e acético, que se acumularam durante a fermentação. No entanto, segundo estes autores, o nível de inclusão de okara na SGMR não deve exceder 200 g kg⁻¹ com base na MS a fim de manter a estabilidade aeróbia e conteúdo de MS das silagens.

Quanto aos efeitos de aditivos sobre a qualidade químico-fermentativa, Da

Silva et al. (2019) compararam a conservação da silagem de grãos de milho reidratado (SGMR) e grão úmido tratado ou não com *Lactobacillus buchneri* em diferentes tempos de abertura. No geral, o teor de MS aumentou para ambos os tratamentos até os 240 dias de estocagem e reduziu a partir daí até os 300 dias. Foi observado maior teor de MS para SGMR até os 60 dias de abertura, e maior teor de PB do que o grão úmido em todos os 300 dias de estocagem. Quanto a inoculação de *L. buchneri* os valores de pH aumentaram para a silagem de grão úmido ao longo do período avaliado, e houve redução na contagem de leveduras nas silagens inoculadas. Os autores concluíram que a SGMR é uma alternativa ao grão úmido e que a inoculação de *L. buchneri* melhorou a estabilidade aeróbia de ambos os tipos de silagens.

Da Silva et al. (2018) investigaram o efeito de diferentes tipos e doses de inoculantes na SGMR. As silagens tratadas com diferentes doses de *L. plantarum* e *Pediococcus acidilactici* não diferiram nos teores de PB, MS e N-NH₃ das silagens sem inoculantes. A medida que as doses da inoculação com *L. buchneri* eram aumentados os teores de PB, MS e N-NH₃ elevavam. Para estes autores o aumento da concentração de N-NH₃ nas silagens tratadas com *L. buchneri* foi associado à diminuição da concentração de prolaminas, as quais são decompostas por enzimas e microrganismos, através da proteólise e solubilização de ácidos durante a fermentação.

O parâmetro de estabilidade aeróbia das silagens é utilizado para medir a velocidade de deterioração da massa ensilada sob exposição ao ar após abertura do silo (JOBIM et al., 2007), e seu rompimento ocorre quando a silagem eleva a temperatura a 2°C acima da temperatura ambiente (MORAN et al. 1996; TAYLOR; KUNG JUNIOR, 2002). Para mensurar a estabilidade aeróbia das silagens, os valores de pH e de temperatura, tem sido observado quanto ao valor máximo atingido após abertura dos silos, tempo para atingir o valor máximo, tempo para que a silagem apresente tendência de elevação, e tempo para a temperatura romper a estabilidade (JOBIM et al., 2007).

A deterioração da silagem está relacionada aos parâmetros qualitativos desse alimento. Quanto melhor for a qualidade da silagem, maior será a atividade de microrganismos que a decompõem, devido a presença de maiores concentrações de carboidratos solúveis, ácidos e etanol, que são utilizados como substratos por fungos e leveduras. Fatores como concentração de oxigênio e a profundidade que o ar penetra no silo, ou seja, a porosidade da silagem determinada pela massa específica (kg de silagem/m³), podem influenciar a estabilidade aeróbia da silagem (JOBIM et al., 2007).

A estabilidade aeróbica e deterioração das silagens estão intimamente ligadas com a presença de fungos e leveduras presentes na massa ensilada. Os fungos possuem ação de

metabolizar os açúcares e ácidos orgânicos, que resultará na formação de gás carbônico e água, e aumento na temperatura do silo. Outra ação é a degradação de proteínas com consequente produção de amônia, a qual dificulta a diminuição do pH (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). A presença de leveduras somada aos fungos e bacilos também agem na degradação do ácido láctico, logo que ocorre a abertura dos silos com agravamento na estabilidade das silagens, pois essa degradação gera dióxido de carbono, ácido acético e etanol (LINDGREN et al., 1985).

A sofisticação da técnica de ensilagem envolve a inclusão de aditivos químicos e bacterianos, que são utilizados para preservar a qualidade e evitar a deterioração das silagens. As bactérias heterofermentativas desempenham papel fundamental na prevenção de deterioração aeróbica (KUNG et al., 2003). O uso de inoculantes bacterianos que possuem o *L. buchneri* tem mostrado aumento na estabilidade das silagens de grão de milho reidratado e grão úmido (BASSO et al., 2012; REZENDE et al., 2014; DA SILVA et al., 2018).

Rezende et al. (2014) ao avaliar a estabilidade aeróbia da SGMR com soro de leite durante 80 horas de exposição ao ar, verificaram que a inclusão de inoculante *Enterococcus faecium*, *L. plantarum* e *Pediococcus acidilactici* proporcionou maior estabilidade das silagens, independente do líquido utilizado para reidratação. No geral, apresentaram baixas temperaturas dentro dos silos e menor pH durante a exposição, e valores médios mais baixos para temperatura máxima de 27,02°C e pH máximo de 4,45 das silagens. Para Rabelo et al. (2014) a aplicação de BAL homofermentativas reduziu a estabilidade aeróbica, devido as silagens apresentarem alto valor nutritivo, e os nutrientes assim preservados são utilizados por microrganismos deteriorantes. Segundo Rezende et al. (2014), esse comportamento é típico de silagens com alta umidade, e a associação entre alta umidade e inoculante (homofermentativo) faz com que ocorra redução da estabilidade aeróbica das silagens de grãos de milho.

Da Silva et al. (2018) investigaram diferentes tipos e doses de inoculantes em SGMR. As silagens foram tratadas com diferentes doses de *L. plantarum*, *Pediococcus acidilactici* e *L. buchneri*, sem apresentar efeitos das diferentes doses. A estabilidade aeróbica das silagens tratadas com *L. buchneri* aumentou em 406% em comparação com a silagem sem aditivo. Já a estabilidade aeróbia das silagens tratadas com *L. plantarum*, *Pediococcus acidilactici* reduziu em 26% em relação a silagem sem aditivo. No entanto, o processo de fermentação não foi alterado pela inoculação das bactérias homofermentativas, mas a concentração de ácido acético foi reduzida significativamente, caracterizando menor estabilidade e maiores picos de temperatura. O pH das silagens tratadas com *L. buchneri*

permaneceu estável durante os 12 dias de exposição aeróbia, já o pH das silagens sem aditivo e tratadas com *L. plantarum* e *Pediococcus acidilactici* aumentou acentuadamente após os 4 dias de exposição permanecendo superior a *L. buchneri* ao longo dos 12 dias.

Da Silva et al. (2019) compararam a conservação das SGMR e grão úmido tratadas ou não com inoculante de *L. buchneri* em diferentes tempos de estocagem. Foi constatado que a estabilidade aumentou com o tempo de armazenamento e foi maior tanto para SGMR quanto para silagem de grão úmido inoculadas com *L. buchneri*, quando comparadas ao tratamento controle. Segundo os autores, esse aumento na estabilidade foi relacionado ao gradual acúmulo de produtos da fermentação, como ácido acético e propiônico.

De maneira geral, as silagens de grãos de milho reidratados com água e ou soro de leite apresentam boas características químico-fermentativas e quando inoculadas garantem maior estabilidade aeróbia durante exposição ao ar.

2.1.2 Microbiologia e Uso de Aditivos em Silagens de Grãos de Milho Reidratados

A população microbiana das silagens varia entre os microrganismos desejáveis e indesejáveis, que determinam a qualidade geral da silagem. As espécies de bactérias aeróbias facultativas de maior número da população, que não contribuem para preservação das silagens, são inibidas logo que o silo é fechado. Para a fermentação da massa ensilada as bactérias lácticas desempenham papel fundamental de conservação. Estas incluem principalmente gêneros *Lactobacillus* sp., *Streptococcus* sp., *Pediococcus* sp. e *Leuconostoc* sp., as quais são responsáveis pela produção do ácido láctico e pela fermentação de açúcares (MUCK et al., 2013).

As BALs possuem um papel fundamental no processo de ensilagem, pois inibem o crescimento de microrganismos indesejáveis que deterioram a silagem e facilitam a recuperação da energia dos carboidratos fermentados, por meio da produção de ácido láctico. As BAL da microflora epifítica (endógena) são essenciais para o processo de fermentação da silagem e responsáveis pela produção do ácido láctico. No entanto, existe grande variação na concentração, gênero e espécie de acordo com a cultura utilizada (SILVA et al., 2011).

Na maioria das silagens, os principais gêneros de BALs são os *Lactobacillus* sp., *Pediococcus* sp., *Leuconostoc* sp., *Enterococcus* sp. e *Streptococcus* sp. As bactérias desses gêneros podem ser divididas em homofermentativas e heterofermentativas. As homofermentativas (ex. *L. acidophilus*, *L. lactis*, etc.) produzem principalmente o ácido láctico e caracterizam-se mais eficientes em produção desse ácido e perda de energia. Já as

heterofermentativas produzem substâncias adicionais como o etanol e ácido acético, além do gás carbônico (CO₂). Nas silagens estão presentes, em sua grande maioria, as BAL dos grupos heterofermentativas facultativas (*L. curvatus*, *L. plantarum*, etc) e obrigatórias (*L. buchneri*, *L. fermentum*) (HOLZER et al., 2003).

L. plantarum é considerada uma das espécies mais estudadas na produção de silagens. Essa bactéria é classificada como heterofermentativa facultativa com características de crescimento vigoroso, possui competitividade e dominância sobre os outros microrganismos e capacidade de produzir elevadas quantidades de ácido láctico, a partir da fermentação de açúcares presente nas forragens. Possui faixa de temperatura de crescimento até 50°C e habilidade de crescer em substrato com baixo teor de umidade, além de produzir rapidamente pH de 4,0 para inibir o crescimento de outros microrganismos (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

L. buchneri é uma espécie de bactérias heterofermentativas obrigatórias com inúmeros estudos sobre sua contribuição nos últimos anos à conservação da silagem, principalmente de grãos ensilados (DA SILVA et al., 2018; DA SILVA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019). O *L. buchineri* metaboliza ácido láctico em pH de 3,8 e converte ácido acético em pH inferior a 5,8. Um terço da MS é perdida na forma de CO₂ durante a conversão do ácido láctico à acético, mas a presença do ácido acético após abertura do silo pode compensar as maiores perdas pela ação dos microrganismos aeróbios (WEINBERG; MUCK, 1996).

Além das bactérias benéficas encontradas na massa ensilada pode haver os microrganismos indesejáveis do gênero *Clostridium* sp., que são bactérias anaeróbicas fermentadoras de açúcares, ácido láctico e aminoácidos. Os efeitos negativos dessa fermentação resultam em perdas de matéria seca, produção de ácido butírico e aminas, menor aceitação do alimento pelo animal e redução da estabilidade aeróbia das silagens. No gênero *Clostridium* sp. os sacarolíticos produzem ácido butírico a partir da fermentação de açúcares e ácido láctico identificado como *C. butyricum*, os proteolíticos que fermentam aminoácidos e produzem os ácidos butírico, acético, propiônico, além da produção de amônia, aminas e gás carbônico pelo *C. sporogenes*. Ainda pode haver a junção de ambos, os sacaro-proteolíticos como exemplo, o *C. perfringens* (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

A contaminação por bactérias anaeróbica da espécie *Listeria monocytogenes* é um agravante na produção de silagens, devido à alta patogenicidade ao homem e aos animais. Esta bactéria pode contaminar a massa ensilada durante o processo de colheita das culturas e seu desenvolvimento pode ocorrer em meios com pH superior a 5,2 (LINDGREN; PAHLOW; OLDENBURG, 2002). As enterobactérias também podem ocasionar perdas na qualidade da

silagem por competirem pelos substratos com as BAL no início da fermentação, visto que sua inibição ocorre em pH menor que 5,0. As silagens podem ser expostas a contaminação por fungos, leveduras e mofos. As leveduras anaeróbicas por sua vez promovem fermentação alcoólica de açúcares e os fungos de crescimento aeróbico, como os *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. e *Penicillium* sp. levam a formação de toxinas com efeitos prejudiciais à saúde dos animais (LINDGREN et al., 1985).

A aplicação de aditivos biológicos em silagens tem por objetivo a adição de BAL em quantidades suficientes para dominar o processo fermentativo, a fim de produzir rapidamente ácido láctico e a diminuição do pH. Assim, junto com o peróxido de hidrogênio e as bactérias produzidas no processo de fermentação, ocorre a preservação e melhorias das propriedades nutritivas da silagem (GOLLOP; ZAKIN; WEINBERG, 2005). Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991) o curso da fermentação pode ser comprometido por fatores inerentes a cultura e de manejo durante a ensilagem, e o uso de inoculantes bacterianos pode contribuir positivamente neste processo. No entanto, de acordo com Kung Junior et al. (2003), a rápida queda do pH da massa ensilada compromete a produção de ácido acético, que determina uma silagem com baixa estabilidade aeróbia. Por outro lado, bactérias heterofermentativas obrigatórias podem prevenir a deterioração aeróbica. Isso indica que uma consorciação de bactérias heterofermentativas facultativas e homofermentativas pode resultar em silagens de melhor qualidade.

Os aditivos podem ser classificados em 5 categorias segundo McDonald, Henderson e Heron (1991) e Kung et al. (2003) com base em sua preservação das silagens: estimuladores da fermentação, inibidores da fermentação, inibidores de deterioração aeróbia, nutrientes e absorventes. Para Muck et al. (2018) os aditivos podem apresentar mais modos de ação baseado nas categorias mencionadas acima, além dos efeitos que se concentram dentro do silo, como também a utilização pelos animais. Diante desse contexto, Muck et al. (2018) dividiram em 6 grupos de aditivos como perspectiva de melhor aproveitamento e aplicabilidade dessas informações pelos produtores: BAL homofermentativa (1), BAL heterofermentativa obrigatória (2), inoculantes combinados contendo BAL (heterofermentativa obrigatória mais homofermentativa ou facultativa) (3), outros inoculantes (não BAL) (4), aditivos químicos (5) e enzimas (6).

Os aditivos compostos por BAL homofermentativa (1) são mais antigos e comumente utilizados, atualmente são reconhecidas como heterofermentativas facultativas por possuírem a enzima fosfoquetolase, a qual permite a fermentação de pentoses para produção de ácido láctico e acético. Os efeitos sobre as silagens tratadas com esse tipo de aditivo resultam

em concentrações mais baixas de ácido acético, butírico, e nitrogênio amoniacal, além do pH mais baixo e promover boa recuperação de MS. Com relação ao desempenho animal foi observado aumento na produção de leite (OLIVEIRA et al., 2017), melhoria no desempenho devido a inibição de toxinas e microrganismos prejudiciais (ELLIS et al., 2016), além do aumento na massa microbiana do rúmen (CONTRERAS-GOVEA et al., 2011). No entanto, melhorias no desempenho animal promovidas pela qualidade da silagem inoculada são difíceis de explicar (MUCK et al., 2018).

As BAL heterofermentativas obrigatórias (2) correspondem à família *Lactobacillaceae*, gênero *Lactobacillus* sp., *Oenococcus* sp., *Leuconostoc* sp. e *Weissella* sp. Dentre estes gêneros, o *Lactobacillus* da espécie *buchneri* é mais estudado e visto como potencial em termos de uso para melhorar a fermentação da silagem, por estar relacionado diretamente com a estabilidade aeróbia das silagens (MUCK et al., 2018).

O uso de inoculantes combinados contendo BAL (3) visa alcançar os benefícios que tanto as bactérias heterofermentativas facultativas, quanto as obrigatórias oferecem, em um mesmo produto para qualidade da silagem. A heterofermentativa facultativa controla o período de fermentação ativa precoce, eliminando as enterobactérias, clostrídios e outros microrganismos, para reduzir as perdas por proteólise e MS, e espera-se rápida queda do pH. A heterofermentativa obrigatória (ex. *L. buchneri*), por sua vez, converteria de forma lenta o ácido láctico em ácido acético, aumentando o pH e melhoria da estabilidade aeróbica, após o período de fermentação ativa da silagem. Quanto ao desempenho animal espera dessa associação a contribuição no ganho de peso diário ou produção de leite, por exemplo, devido a silagem ser conservada de forma ideal e se manterá fresca no cocho (MUCK et al., 2018).

Outros inoculantes (espécies não BAL) (4) como *Streptococcus bovis*, *Propionibacterium acidipropionici*, espécies de *Bacillus* sp. e leveduras foram investigados nos últimos anos. Um exemplo de inoculação em silagens, é com espécies de *Propionibacterium* sp. para produção de ácido propiônico durante a ensilagem e melhorar a estabilidade aeróbica (MUCK et al., 2018).

Os aditivos químicos (5) em forma de ácidos e sais, também são usados em silagens. O ácido fórmico pode ser usado para causar uma acidificação e declinação direta de bactérias indesejáveis, porém deve ser respeitado a taxa de aplicação e tamponamento do mesmo. Outros ácidos como sórbico, benzóico, propiônico e acético também são utilizados para melhorar a estabilidade aeróbica da silagem, pois atuam na inibição direta de leveduras e bolores. Já os sais inibem leveduras e fungos através da liberação do respectivo ácido, proporcionando melhora na estabilidade aeróbica das silagens. Os sais utilizados são benzoato

de sódio, sorbato de potássio, propionato de amônio, propionato de cálcio, propionato de sódio e acetato de sódio (AUERBACH et al., 2012).

Para os aditivos enzimáticos (6) o objetivo de adição nas silagens é melhorar a fermentação e valor nutricional. O aditivo é composto por mistura de enzimas celulases e hemicelulases, que irão atuar na liberação de carboidratos da parede celular das plantas, e deixar disponíveis esses compostos para as BAL fermentarem em ácido láctico. Com relação ao desempenho animal tanto para aditivos químicos e enzimáticos como para os demais inoculantes biológicos os efeitos são positivos, porém a maioria dos trabalhos apresentam observações de forma indireta. Dessa forma, são necessários estudos de como a adição desses compostos em silagens afetam o desempenho de animais e também para oportunizar uma seleção aprimorada na escolha de aplicação (MUCK et al., 2018).

De forma geral, os aditivos (ácidos e sais; ex. ácido propiônico e acético, benzoato de sódio) possuem as principais ações de preservar o teor de carboidratos solúveis, proporcionar valores de pH mais altos, promover melhorias da estabilidade aeróbia da silagem e atuar como controlador da população microbiana. Já os aditivos com bactérias heteroláticas (inoculante microbiano; ex. *L. buchneri*) possuem ações de favorecimento da produção de ácidos orgânicos, controle de forma efetiva leveduras e fungos, controle de pH (pH mais estável), e aumento da estabilidade aeróbica das silagens, principalmente na proteção de painel do silo, quando exposto ao oxigênio.

2.1.3 Silagem de Grãos de Milho na Alimentação de Suínos

No Brasil o uso de silagem para alimentação de suínos em fase de creche foi pesquisado através da técnica de ensilagem de grão úmido de milho (SGUM). Os primeiros trabalhos relatados foram entre os anos de 2001 a 2009, especificamente para leitões desmamados. Nestes trabalhos Lopes et al. (2001), Oliveira et al. (2004), Tofoli et al. (2006), Tse et al. (2006) e Vieira Neto et al. (2009) avaliaram a qualidade da composição da silagem e o desempenho dos leitões desmamados. Quanto ao desempenho produtivo dos leitões, estes autores, não observaram efeitos negativos dessas dietas, e sim melhorias na qualidade de composição química das rações com a inclusão da SGUM e da conversão alimentar (CA), e maiores valores de ganho de peso diário (GPD) foram obtidos nos estudos conduzidos por Lopes et al. (2001).

Lopes et al. (2001) observaram efeito benéfico da SGUM sob o GPD e CA dos leitões com 18 a 35 dias de idade. Os valores de GPD obtidos nesse período foram de 862 g e CA de 1,61 para SGUM e 779 g para dieta com grão de milho seco com CA de 1,71. Para a fase inicial

(0 a 35 dias) também foi observado melhor desempenho de leitões alimentados com a SGUM com GPD de 632 g e CA de 1,53, e incidência de diarreia do tipo moderada, nos primeiros 14 dias pós-desmame. Esses resultados, segundo os autores, estão relacionados aos prováveis efeitos positivos determinados pelo menor valor de pH das rações que continham SGUM, além dos efeitos maior ativação da pepsina, menor taxa de esvaziamento do estômago e inibição da proliferação de coliformes. Ainda, o melhor valor nutritivo da silagem observado no estudo, se deve à ação eficiente das enzimas digestivas nas partículas úmidas de milho e nas alterações físico-químicas dos grânulos de amido após a ensilagem. Dessa forma, os autores concluíram que a SGUM proporciona melhor desempenho e menor ocorrência de diarreia na fase inicial podendo substituir o grão de milho seco nas rações desta fase.

Oliveira et al. (2004) avaliaram por meio de ensaio de digestibilidade e experimento de desempenho, o valor nutritivo da SGUM o seu efeito sobre o desempenho de leitões em fase de creche. Estes autores, observaram que o CDR dos leitões que foram alimentados com SGUM foi reduzido linearmente de acordo com os níveis de substituição de 33, 66 e 100% no primeiro período avaliado de 0 a 14 dias de pós-desmame. No entanto, a CA no primeiro e período total de avaliação (0 a 28 dias) apresentou melhora linear com aumento nos níveis de substituição. O GPD foi de 550 g para 33% de substituição de SGUM, 538 g para 66% e 565 g para 100%, sem apresentar diferença significativa do grão de milho seco com GPD de 559 g. Os valores de digestibilidade encontrados para SGUM (87,45% de MS) foram de 70,76% de MS digestível, 5,48% de proteína e 61,54% de amido digestíveis. Para ED o valor obtido foi 3471 kcal/kg e a EM com 3381 kcal/kg. Segundo estes autores, os resultados obtidos sugerem que o baixo pH das rações contendo SGUM podem elevar a retenção estomacal e ocasionar uma diminuição no consumo das rações nos primeiros 14 dias de avaliação. E concluem que a SGUM pode substituir totalmente o grão de milho seco em leitões desmamados com melhora dos índices produtivos.

Tofoli et al. (2006) encontraram para o período total de experimento (0 -31 dias) um GPD de 594 g, CDR de 956 g e CA de 1,61 para leitões desmamados alimentados com silagem de grão úmido de milho. Foi relatado por estes autores, que os leitões apresentaram melhor conversão alimentar na primeira fase (0 a 9 dias) e período total comparado com os leitões que receberam grão de milho seco. Para os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes da silagem foram de 84,60% para MS, 73,30% para PB e 75,18% para extrato etéreo (EE) sem diferir da dieta com grão de milho seco. Já os valores de energia digestível (ED) (4104 kcal/kg de MS) e metabolizável (EM) (3935 kcal/kg de MS) obtidos para dieta com silagem caracterizou melhor aproveitamento de energia. Esse fato foi relacionado, segundo os autores, com as modificações

dos grânulos de amido durante a ensilagem, processo que favorece maior disponibilização do amido para digestão enzimática e como consequência melhora o valor nutricional do milho em razão de maior disponibilidade de energia.

A silagem de grãos úmidos de milho em diferentes granulometrias foi avaliada por Tse et al. (2006) com relação a digestibilidade e o desempenho produtivo de leitões em fase de creche. As silagens foram avaliadas com diâmetro geométrico médio (DGM) das partículas de 979, 1168 e 2186 μ m e do milho seco com DGM das partículas de 594 μ m. Foi observado no período de 0 a 8 dias pós-desmame menor consumo diário de ração (CDR) da silagem e aumento linear de consumo conforme aumento da granulometria da silagem (542, 546 e 576 g para 979, 1168 e 2186 μ m, respectivamente). Para o período total de avaliação (0 a 28 dias) foi observada melhor CA com a inclusão de SGUM e efeito linear crescente da granulometria da silagem sobre a CA. De forma geral, foi observada menor CDR e melhor CA dos leitões que receberam SGUM, segundo os autores, esse resultado mostra maior valor nutricional da silagem podendo substituir totalmente o grão seco de milho, principalmente a silagem produzida com a granulometria de 979 e 1168 μ m. Com relação aos valores de digestibilidade foram observados maiores coeficientes de digestibilidade para a SGUM, que foi explicado pelo menor valor de pH da silagem comparada ao grão de milho seco (4,0 vs. 6,1, respectivamente) que contribui para maior acidez estomacal e maior ativação de pepsinas, além do efeito nas alterações estruturais nos grânulos de amido ocasionadas pelo processo de ensilagem que favorece a digestão. A SGUM apresentou maiores valores de ED (4333 e 4342 kcal/kg de MS) e EM (4231 e 4197 kcal/kg de MS) para granulometria fina e média respectivamente, do que o grão de milho seco. Além disso, maiores coeficientes de digestibilidade do fosforo em todas as granulometrias e do cálcio para granulometria fina e média foram observados para a SGUM.

Da Silva et al. (2006) conduziram dois experimentos para determinar o valor nutritivo de rações contendo milho com maior teor de óleo, nas formas de grão seco, silagem de grãos úmidos (SGUM) e silagem de milho seco reidratado (SGMR) e avaliação do desempenho de suínos em crescimento e terminação alimentados com essas rações. Para SGUM os teores digestíveis de MS (MSD) foram de 80,80 %, 6,44% de proteína digestível (PD), amido digestível (AMD) de 59,81%, 3518 kcal/kg de ED e 3442 kcal/kg com base no teor de MS de 87,45%. Para a SGMR foi observado teores de MSD de 82,21%, PD de 7,62%, AMD 60,65%, ED de 3528 kcal/kg e EM de 3459 kcal/kg. As silagens apresentaram superioridade de EM em relação ao grão de milho seco e bons valores de ED, segundo os autores. Com relação ao desempenho de suínos em fase de crescimento, foram obtidos valores de CDR de 1,95 kg, GPD de 0,89 kg e CA de 2,20 para o tratamento com SGUM. Com a inclusão de SGMR os suínos

apresentaram CDR de 2,03 kg, GPD de 0,91 kg e CA de 2,21. Ambos os tratamentos com grãos de milho ensilados não diferiram para as variáveis de desempenho comparada ao tratamento controle. Já os suínos em fase de terminação apresentaram maior GPD e CDR quando foram alimentados com SGUM com ganho diário de 1,01 kg e consumo de 2,79 kg, seguido do tratamento SGMR com GPD de 0,95 kg e CDR de 2,63 kg. Os autores relacionaram o maior ganho de peso na fase de terminação com o menor valor de pH das dietas com grãos ensilados, devido a acidez da silagem que atua na maior retenção estomoccal e fluxo homogêneo da digesta no intestino delgado, promovendo melhoria na digestão do alimento. Para características de carcaça foram observadas diferenças entre ração controle e SGMR para a espessura de toucinho (2,27 vs. 2,93) e a relação carne: gordura (0,38 vs. 0,57). Da Silva et al. (2006) concluíram que as silagens de grãos de milho úmido e reidratado apresentaram bons valores energéticos e digestíveis e podem substituir o grão seco em rações de suínos em fase de crescimento e terminação sem prejuízos no desempenho desses animais.

Castro et al. (2009) avaliaram desempenho de leitões em fase de creche alimentados com rações formuladas com base nos nutrientes digestíveis de silagem de grão úmido de milho. O GPD dos leitões nos primeiros dez dias pós-desmame foi de 414 g, com consumo diário de ração (CDR) de 526 g e CA de 1,27 para inclusão de 100% de silagem de grão úmido em substituição ao grão seco. Para o período total de experimento (0-32 dias) os leitões apresentaram GPD de 562 g, CDR de 861 g e CA de 1,58. De forma geral, o GPD e o CDR não apresentaram diferença significativa entre as rações com grão de milho seco e com silagem de grão úmido de milho. Os leitões que receberam ração com silagem apresentaram melhor CA comparado ao grupo controle com milho seco, principalmente no período total do experimento. Com relação a digestibilidade de nutrientes foi obtido maiores valores para a ração com silagem de grão úmido de milho para MS (86,14%), PB (73,26%), fósforo (64,80%) e cálcio (74,81%), e o nível de energia digestível também foi maior com 4,034 vs. 3,696 kcal/kg de MS. Os autores desse estudo, ressaltaram a importância de considerar o valor nutricional desse alimento para formulação de rações à base de silagem de grão úmido de milho, principalmente o teor de energia digestível.

Veira Neto et al. (2009) avaliaram os valores nutricionais de dietas contendo milho do tipo duro (*flint*) e tipo dentado (*soft*) na forma de grão seco ou silagens de grão úmido para leitões na fase inicial. Foram utilizados 24 suínos machos castrados de genética *Landrace* x *Large White* com peso inicial de $18,7 \pm 1,5$ kg para ensaio de digestibilidade. Como resultados, foi relatado que o processo de ensilagem aumentou os coeficientes de digestibilidade da MS (87,01%), PB (89,53%), e ED (3975 kcal/kg) das dietas, sem diferir para tipo de milho e formas

de armazenamento. Os autores também relacionaram esse aumento de digestibilidade ao processo de ensilagem, que devido a produção de ácidos orgânicos podem ocasionar ruptura grânulos de amido e abertura parcial da estrutura dos grânulos, favorecendo os processos digestivos. O CDR para a SGUM do tipo duro foi de 562 g e do tipo dentado 556 g com GPD de 299 e 305 g/dia, respectivamente. A CA foi melhor para o milho do tipo dentado em relação ao tipo duro, independente da forma de fornecimento do grão, seco ou ensilado, com valor médio de 1,96 para grão de milho seco e 1,82 para grão úmido de milho. Diante desses resultados, os autores concluíram que a substituição do milho seco do tipo duro ou dentado pela SGUM melhora a digestibilidade de nutrientes da dieta e promove melhor CA para leitões de 7 a 15 kg.

Para a técnica de reconstituição do grão de milho seco e posterior ensilagem para fornecimento aos suínos, Da Silva et al. (2021) avaliaram os coeficientes de digestibilidade do milho com teor de óleo acima de 3,46% e seus efeitos no desempenho de leitões de 14 kg alimentados com grão seco e SGMR. Foi observado que os leitões alimentados com SGMR apresentaram maiores coeficientes de digestibilidade para MS (93,8%), energia bruta (92,5%) e matéria orgânica (93,4%) e PB (88,5%) comparados com aqueles que receberam grão de milho seco nas rações. Esses resultados foram justificados pelo efeito do processo de ensilagem sobre a maior exposição dos grânulos de amido e conseqüentemente promove maior digestibilidade. Quanto ao desempenho, foi observado menor CRD para os leitões alimentados com SGMR do que o grão de milho seco (1,35 kg vs. 1,47 kg, respectivamente). No entanto, os leitões foram mais eficientes com SGMR (1,84 vs. 2,02 de CA), com GPD foi de 0,73 kg para silagem e 0,72 kg para grão seco. O peso final não diferiu entre os tratamentos, foi obtido valor de 32,81 kg para SGMR e 33,91 kg para grão de milho seco.

Segundo Da Silva et al. (2021), a fermentação anaeróbia após ensilagem dos grãos de milho, produziu um alimento com maior disponibilidade energética para os suínos, por isso influenciou na redução do CDR e melhora da CA observada no estudo. Ainda, o pH da ração com SGMR propiciou um ambiente mais favorável para atividade enzimática e crescimento de microrganismos benéficos, que sintetizam ácidos graxos de cadeia curta. Sobre o menor ganho de peso, o teor de EE em ambos os grãos promoveu saciedade, e a fermentação microbiana do material fibroso no intestino posterior produziu calor, e afetou a ingestão da silagem. E o milho com maior teor de óleo em forma de grão seco ou reidratado, pode ser considerado um ingrediente alternativo ao tradicional grão de milho seco.

2.2 FASE PÓS DESMAME DE LEITÕES

2.2.1 Desmame de Leitões

No desmame os leitões de granjas comerciais são separados das porcas precocemente com 3 - 4 semanas de idade (21-28 dias de vida) e essa fase ocorre de forma abrupta, considerada a mais crítica e desafiadora entre todos os períodos de transição na produção de suínos. Diversos fatores de desenvolvimento estão ligados ao desmame, dentre eles, os nutricionais, sanitários, genéticos, ambientais e a interação humano-animal. Um dos fatores mais impactantes é a mudança do regime dietético, no qual os leitões passam a ingerir rações com ingredientes sólidos e de origem vegetal, os quais detêm menor digestibilidade e presença de fatores antinutricionais que influenciam negativamente o consumo e a absorção de nutrientes (VILLAGÓMEZ-ESTRADA et al., 2020; KARASOVA et al., 2021).

Leitões na fase de desmame são susceptíveis a enfermidades relacionadas com a nutrição, que somadas a imaturidade do sistema intestinal e imunológico em natural desenvolvimento, podem ocasionar atraso no desempenho e desenvolver severos casos de diarreia (LALLÈS et al., 2007; CHAMONE et al., 2010). O somatório de estresse, jejum, mudança física da dieta resultam em mudanças na morfologia e microbiota intestinal, e como consequência haverá riscos de má digestão e absorção, colonização entérica de patógenos, diarreia e retardo de crescimento (HEO et al., 2013). Dessa forma, é importante conhecer o processo de desmame precoce, uma vez que o mesmo ocorre em duas fases distintas. Na primeira fase, semana subsequente a data do desmame, ocorre mudanças na estrutura e função do trato gastrointestinal e como consequência há redução da ingestão de alimento. A segunda fase corresponde a partir do sétimo dia até 15 dias pós-desmame, e nesse período os leitões estão em adaptação progressiva da alimentação sólida (MOLIST et al., 2014).

Leitões na fase de desmame quando expostos a novos ingredientes e sabores, podem desenvolver comportamento de relutância, baseado na ingestão de pequenas quantidades de ração, caracterizando esse efeito como neofobia alimentar. Isso aumenta as chances de os leitões desenvolverem casos de diarreia, seguida de subnutrição, perda de peso e aumento da taxa de mortalidade. As estratégias alimentares atuais priorizam fornecimento de dietas sólidas durante a lactação de porcas para haver substituição parcial do leite pelos leitões, além de fornecer alimentos altamente palatáveis e com intensificadores de sabor (PÉREZ; ROURA, 2017).

No período de pós-desmame estratégias nutricionais como o uso de rações

pré-iniciais de alta palatabilidade e digestibilidade são adotadas (VICARI JUNIOR et al., 2020), pois o sistema digestivo dos leitões desde o nascimento, apresenta secreção enzimática para digerir o leite materno com atuação das enzimas lactase, lipases e proteases, mas não para ingredientes como os de origem vegetal, que necessitam de enzimas especializadas para digestão de novos alimentos. Essa condição pode ocasionar uma disfunção na barreira intestinal e problemas digestivos (COX; COOPER, 2001; PAPADOPOULOS et al., 2017), fatos estes intrinsecamente ligados à imaturidade do trato gastrintestinal, o qual não se encontra completamente preparado para a digestão da ração seca como única fonte de alimento, e o sistema imune ativo do leitão não está maduro o suficiente para os diversos desafios inerentes na fase, levando a distúrbios intestinais ainda mais severos (JAYARAMAN; NYACHOTI, 2017).

Alterações funcionais e estruturais no intestino delgado logo nas 24 horas pós-desmame de leitões, resultam na diminuição da altura das vilosidades intestinais e da atividade de enzimas digestivas, que são agravadas pelo baixo consumo ou até mesmo anorexia nos dias iniciais que sucedem o desmame. Este quadro, concomitantemente, está associado à redução da secreção enzimática intestinal, comprometendo ainda mais a digestão e o aproveitamento da dieta, predispondo à colonização e à multiplicação de patógenos entéricos (KUMMER, et al., 2009; GAGGIÁ; MATTARELLI; BIAVATI, 2010; PLUSKE, 2013). Para minimizar esses efeitos, além do fornecimento gradual de dietas sólidas para leitões enquanto lactentes (CHAMONE et al., 2010), utiliza-se de aditivos como enzimas exógenas, leveduras e demais ingredientes de alta digestibilidade nas dietas como forma para aumentar a eficiência digestiva dos leitões desmamados. No entanto, esses animais necessitam ainda de adequação do pH e motilidade intestinal (LOPES et al., 2021).

Além dessas inúmeras alterações morfológicas e enzimáticas, os leitões desmamados possuem uma menor capacidade de secreção de ácido clorídrico (HCl). Como resultado há uma elevação do pH gástrico, e somada ao maior tempo de retenção do alimento e dietas altamente proteicas, ocorre um cenário em que este substrato passa a atender o desenvolvimento bacteriano, e conseqüentemente o favorecimento da proliferação de patógenos. Dentre as principais bactérias encontra-se a *Escherichia coli*, que gera a incidência de distúrbios entéricos e prejuízos ao desempenho zootécnico e saúde animal. Dessa forma, o HCl além de participar do processo de digestão, tem o importante papel de reduzir o pH e estimular a ação de enzimas para a hidrólise de proteínas e disponibilização de minerais, e também de dificultar a colonização e eliminar patógenos, de forma a evitar possíveis infecções entéricas (HEO et al., 2013; ROSTAGNO; PUPA, 2018).

Outro fator importante para a acidificação e proteção do trato gastrointestinal contra o crescimento de microrganismos patogênicos são as bactérias do gênero *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* (dois dos principais gêneros pertencentes à microbiota intestinal de leitões durante o aleitamento), que são caracterizadas como BAL (EVERAERT et al., 2017). Kubasova et al. (2017) correlacionaram positivamente a abundância de *Lactobacillus* com a concentração de lactose durante o aleitamento e negativamente com a concentração de *Clostridium*, *Streptococcus*, *Escherichia*, *Shigella*, *Enterococcus* e *Staphylococcus*, ou seja, no pós-desmame o leitão não possui essa abundância de BAL via alimento e necessita de suplementação que proporcione características favoráveis a manutenção do trato gastrointestinal.

A transição do leite materno autoacidificante à dieta sólida que apresenta menor poder tampão pode ser reduzida com uso de diferentes tipos alimentos, redução de nível proteico da ração, simultânea suplementação de aminoácidos limitantes, acidificantes via água, e adição de ácidos orgânicos nas rações (cítrico, fórmico, fumárico, láctico, propiônico). Estes ingredientes são importantes vias para evitar perdas no desempenho produtivo, pois atuam na redução do pH no estômago dos leitões desmamados e exercem função de proteção contra patógenos (ROSTAGNO; PUPA, 2018; SUIRYANRAYNA; RAMANA, 2015).

De maneira geral, o manejo de desmame pode impactar negativamente a vida dos leitões, devido à redução de ingestão de alimento, aumento de casos de diarreia, perda de peso e complicações intestinais (PATIL et al., 2015), comportamentos indesejáveis, como menor tempo gasto no comedouro, canibalismo, vocalização, dentre outros, que evidenciam a necessidade de adotar medidas adequadas de manejo para atender as exigências físicas e fisiológicas desses animais (ARAÚJO et al., 2011). Portanto, estratégias de manejo e nutricionais devem ser desenvolvidas continuamente para atender os desafios impostos aos leitões na fase pós-desmame.

2.2.2 Desempenho de Leitões na Fase Pós-Desmame

No desmame os leitões são submetidos a numerosos fatores de estresse que ocorrem de forma simultânea, desde a separação mãe/filhote, mudanças na estrutura social, ambiente, até a dieta (HEO et al., 2013; OOSTINDJER et al., 2014; PÉREZ; ROURA, 2017). Nessa fase a troca de dieta inclui a privação do leite materno para receber apenas a dieta sólida, e o estresse do desmame associa-se com tardio e baixo consumo de ração no período pré-inicial (BRUININX et al., 2001; 2002, 2004). Acompanhado de lutas intensivas para socialização, que pode contribuir negativamente no desempenho produtivo e aumentar a frequência de diarreia

nos leitões desmamados (OOSTINDJER et al., 2014).

Os leitões submetidos ao desmame recebem nova ração composta com aproximadamente 88 - 90% de MS, enquanto o leite materno apresenta 20% de MS com elevados níveis de lactose e altamente digestível (PINHEIRO, 2020). Para os nutrientes também ocorre substituição, as principais fontes de energia como a gordura e lactose são substituídas pelo amido e óleo vegetal, e a proteína do leite pelas proteínas vegetais, as quais são menos digestíveis. Dessa forma, o sistema digestivo do leitão deve se adaptar à uma digestão de carboidratos complexos, menor nível de gordura e proteína animal, além de aumento no teor de MS (WILLIAMS, 2003).

Diversos estudos confirmaram que a espécie suína possui capacidade de selecionar diferentes tipos e densidade de ingredientes (SOLA-ORIOLO; ROURA; TORRALLARDONA, 2007; 2009b, 2011, e 2014) e teores de nutrientes (LI; PATIENCE, 2017; GUZMÁN-PINO et al., 2014), além de modularem sua preferência alimentar em casos de déficit ou excesso de nutrientes, a fim de restabelecer a homeostase (FORBES, 2010). Fatores, os quais, interferem diretamente no consumo, ganho de peso e conversão alimentar. No entanto, o baixo desempenho do período pós-desmame não deve ser atribuído à ineficiente CA e sim ao baixo consumo pelos leitões (DA SILVA et al., 2002).

Suínos evoluíram na natureza para ajustar na base de energia, proteínas e aminoácidos essenciais suas escolhas alimentares e ingestão voluntária (PÉREZ; ROURA, 2017). De acordo com Emmans (1981; 1987), suínos e aves tentam manter a homeostase energética paralelo ao seu crescimento potencial genético. Então, se ocorrer uma redução na densidade de energia da dieta, resultará em aumento no consumo de ração, diante da tentativa de manter o total de energia dentro das limitações da capacidade física. A ingestão diária ou cumulativa de ração é o resultado do tamanho e da frequência da refeição. No entanto, para Li e Patience (2017) a ingestão voluntária de ração pode ser afetada tanto por fatores dietéticos, como a energia, proteína, aminoácidos, fósforo, sódio e ácidos graxos, quanto por fatores não dietéticos, ou seja, os fatores físicos do ambiente e a temperatura. Além de fatores antinutricionais, que afetam a palatabilidade como inibidores de tripsina, glucosinalatos, glicosídeos e os sabores dos ingredientes, como o amargo, que limitam a ingestão de alimentos (WOYENGO; KIARIE; NYACHOTI, 2009).

Na tentativa de minimizar os efeitos da mudança alimentar sobre o desempenho dos leitões desmamados, pesquisas avaliam estratégias alimentares que consideram a forma física e processamento da ração (MAZUTTI et al., 2017), as interações de nutrientes (VILLAGÓMEZ-ESTRADA et al., 2020) e as diferentes texturas do endosperma do

milho grão, que refletem na dureza do grão e digestibilidade desse alimento (PIOVESAN; OLIVEIRA; GEWEHR, 2011). Como também a inclusão de alimentos alternativos em dietas pré-iniciais (WESENDONCK et al., 2013; RAMOS et al., 2016) e de alto valor biológico, como o soro de leite, que possui em sua composição como principal fonte de carboidrato digestível, a lactose, que representa cerca de 70% da MS e alto valor nutricional de aminoácidos essenciais, além de contribuir para redução do pH estomacal, produção de enzimas digestivas e melhora na absorção dos nutrientes (KUMMER et al., 2009).

No pós-desmame a manutenção de um pH gástrico baixo otimiza a digestão dos nutrientes e evita o crescimento excessivo de patógenos (HEO et al., 2013). A utilização de alimentos com pH mais ácido e/ou uso de aditivos nas dietas e/ou via água, como os ácidos orgânicos, podem auxiliarem no processo digestivo e de absorção de nutrientes (MROZ, 2005; PETTIGREW, 2006; NAMKUNG et al., 2004; KUMMER et al., 2009), aumento da altura das vilosidades ileais e na profundidade da cripta (LIU et al., 2018; LEE et al., 2007), além da ação antimicrobiana (ROSELLI et al., 2005). Fatores estes que contribuem para a redução na incidência de diarreia, melhoria do desempenho e saúde dos leitões (HEO et al., 2013).

A experiência com a alimentação sólida, como o consumo de grãos de cereais na amamentação, pode ser benéfica para melhorar a adaptação a esse tipo de alimentação no desmame (HEO et al., 2018), pois a forma física e composição da dieta pós-desmame exercem influências sobre o desempenho desses animais (TORRALLARDONA et al., 2012). Lehnen et al. (2011) observaram que o fornecimento da silagem de grão de milho úmido contribuiu para melhoria do desempenho de porcas em lactação e leitões lactentes, devido a acidificação das dietas, favorecidas pelo processo de ensilagem e adição de ácido fumárico. A adição de ácidos orgânicos em cereais *in natura* é utilizada para beneficiar a manutenção do trato gastrointestinal e minimizar os casos de diarreia com consequente melhoria do desempenho dos leitões pós-desmame (XU et al., 2016).

O peso ao desmame é considerado um dos principais fatores relacionado com o desempenho subsequente dos leitões. Para o desmame realizado aos 20 dias de idade, é importante considerar um peso mínimo de 5,5 kg, pois leitões mais pesados ao desmame, crescem mais rápido e serão menos vulneráveis a distúrbios digestivos. Contudo, o desmame precoce não apresenta ganhos satisfatórios, uma vez que o desempenho zootécnico é aumentado de forma linear com o aumento a idade de desmame (MAIN et al., 2002).

O ganho de peso diário (GPD) no período pós-desmame, está diretamente relacionado com o consumo de ração pelos leitões, e possui correlação positiva entre o peso ao nascer e desmame e o peso corporal até a idade ao abate (BEAULIEU et al., 2010; FIX et al.,

2010; SUREK et al., 2014). Leitões ao desmame com 3 a 4 semanas de vida apresentam peso médio de aproximadamente 6 kg, com variação de peso para maior que esse valor. De acordo com tabelas brasileiras para aves e suínos (ROSTAGNO et al., 2017), os valores de ganho e consumo obtidos para leitões de alto potencial genético no pós-desmame foram de 7,30 kg (21 a 32 dias e idade) e 10,78 kg (33 a 42 dias de idade) de peso médio. Os ganhos de peso diários foram de 324 gramas para os 21 a 32 dias de idade com consumo de 395 gramas/dia. Para GPD dos 33 a 42 dias de idade foi obtido valor de 368 gramas e consumo diário de 505 gramas.

O consumo de ração é influenciado pelo peso ao desmame, leitões desmamados mais pesados consomem mais ração que animais mais leves. No entanto, o consumo de ração nas primeiras 24 horas pós-desmame destes animais mais pesados é menor, devido possivelmente as reservas energéticas. Outro fator que está relacionado ao consumo pós-desmame é o fornecimento de ração para leitões lactentes. O consumo de ração é iniciado mais rapidamente em leitões que foram alimentados com rações pré-iniciais durante a lactação. Leitões que consumiram ração enquanto lactentes iniciam a ingestão de alimento até 4 horas pós-desmame, enquanto os que não recebem necessitam de 6,7 até 6,9 horas para iniciar o consumo (BRUININX et al., 2001; 2002).

De acordo com NRC (2012), o consumo de alimento cresce linearmente no período pós-desmame, por isso é importante que na primeira semana pós-desmame o consumo deve ser maximizado com fornecimento de dietas que contenham ingredientes de alta digestibilidade e favoreçam o desempenho nesta fase, bem como acesso constante a água (PINHEIRO, 2020), além de rações com elevada concentração de nutrientes (CHAMONE et al., 2010). Dessa forma, alimentos de boa digestibilidade, elevado valor nutricional e que estimulem o consumo, exercem influências positivas sobre o desempenho desses animais. É reconhecido que o CDR e a CA podem sofrer influência de muitos fatores, incluindo os intrínsecos ao animal (HEO et al., 2013; OOSTINDJER et al., 2014; PIEROZAN et al., 2016, PÉREZ; ROURA, 2017), portanto existe grande variação nos valores obtidos para estes parâmetros. De forma geral, no período pós desmame o consumo de ração e de água, bem como a saúde dos animais são consideradas as maiores preocupações para que os leitões não sejam comprometidos em seu desempenho produtivo.

Outros aspectos importantes a serem considerados para minimização de casos de diarreia e adequado desempenho produtivo são as ótimas condições de limpeza, temperatura e, manejo *all in/all out* (DA SILVA et al., 2000). Quanto a ambiência, os leitões devem ser mantidos em sua zona de conforto térmico entre 26 a 28°C de temperatura ambiente e com umidade entre 50-75%, sendo necessário o uso de fontes de aquecimento, pois assim haverá

aproveitamento de nutrientes para crescimento ao invés de manutenção da temperatura corporal (KUMMER et al., 2009).

A observação diária dos leitões também é uma ferramenta importante para assegurar boa saúde e garantir qualidade de vida aos animais. E o conhecimento do comportamento natural dos suínos, definirá uma adequada prevenção e diagnóstico assertivo de doenças (LIPPKE et al., 2009). O monitoramento dos leitões é realizado por meio de exame clínico, sendo direcionado a indivíduos específicos ou o rebanho como um todo. Esse tipo de avaliação faz uso de técnicas com certo grau de subjetividade, pois valoriza elementos de difícil medição. Para evitar erros no diagnóstico e obter efeitos comparativos de tempo, é necessário que as observações sejam realizadas sempre pela mesma pessoa e utilizar protocolos padrão para cada sistema de produção, a fim de lidar adequadamente com suínos doentes (SOBESTIANSKY; BARCELLOS, 2007).

O monitoramento de leitões acometidos por diarreia deve ser realizado sempre pelo mesmo indivíduo previamente treinado. Essa avaliação consiste na descrição precisa da consistência das fezes (SOBESTIANSKY; BARCELLOS, 2007), a qual permite uma análise dos sinais clínicos das infecções entéricas que acometem os suínos, como a colibacilose neonatal (fezes líquidas) e a coccidiose (fezes cremosas) (FRIENDSHIP, 2005). O monitoramento dos leitões pode ser realizado em lotes de creche, crescimento e terminação, desde que o método seja aplicado seguindo uma avaliação periódica dos animais e em horários fixos (LIPPKE et al., 2009).

O monitoramento da saúde dos leitões pode ser feito também por meio da avaliação dos estados de magreza e depressão, que se relacionam com a qualidade da dieta, as condições de saúde e ambiente em que esses animais estão inseridos. A avaliação para estado de magreza consiste na descrição de escore de condição corporal do animal, e de depressão baseia-se em escores de sinais clínicos de determinados comportamentos, tais como, de alerta, resposta, isolamento e deprimido (SOBESTIANSKY; BARCELLOS, 2007).

Leitões nessa fase apresentam casos clínicos de artrite entre outros, devido à procedimentos como corte ou desgaste de dentes, caudectomia e a castração (NANNONI et al., 2014; ZHOU et al., 2013; KOLLER et al., 2008). Esses procedimentos quando realizados de forma inadequada podem favorecer a entrada de bactérias e aumentar a incidência de artrite (DA SILVA et al., 2020b). Nessas condições, os leitões demonstram sinais comportamentais de dor e autocuidado, tais como, prostração, maior tempo deitado e isolado dos demais indivíduos da baía (SUTHERLAND et al., 2008; HERSKIN; THODBERG; JENSEN, 2015), que refletirá nos estados de depressão desses animais. Além de influenciar negativamente no

estado sanitário, reprodutivo e de desempenho produtivo dos animais (NANNONI et al., 2014; DA SILVA et al., 2015), afetam também na diminuição de ganho de peso que pode perdurar até 70 dias após o procedimento de caudectomia (ZORIC et al., 2016), refletindo nos estados de magreza dos leitões.

2.3 PREFERÊNCIA ALIMENTAR DE LEITÕES DESMAMADOS

2.3.1 Teste de Preferência

O estado afetivo é um conceito que associado com a saúde básica e adaptação natural determina o bem-estar dos animais. Relaciona o quanto os sentimentos e emoções estão sendo afetados em consequência de dor, angústia e sofrimento. Apesar desses sentimentos não possibilitarem a observação direta, foram desenvolvidos métodos científicos de mensuração para identificar sinais específicos de comunicação que os animais apresentam. Nas granjas comerciais, por exemplo, os bezerros e leitões são separados das mães e apresentam um estado emocional desagradável – a angústia da separação, na qual emitem vocalizações angustiantes, altas e com frequência (FRAZER, 2012). Por meio de testes experimentais como preferência, motivação e aversão podemos obter resultados sobre alguns estados afetivos dos animais.

As alterações comportamentais dos animais podem ser utilizadas para avaliar o bem-estar. Os testes de preferência, motivação e aversão, por sua vez, podem fornecer respostas sobre os estados positivos e negativos dos animais. Os testes de preferência possibilitam uma avaliação feita sob ponto de vista do próprio animal. Através deste teste pode-se determinar qual é a escolha do animal e oferecer condições de bem-estar, aprimorando determinados tipos de ambientes, e preferência por determinados tipos de alimentos. Realiza-se em duas fases: a) fase restrita, na qual o animal tem acesso a apenas uma das opções testadas; b) fase de livre escolha, quando o animal tem livre acesso entre as opções testadas (FRASER; MATTHEWS, 1997).

Os testes complementares ao de preferência são de motivação e nestes os animais quantificam a força da preferência, ou seja, precisam executar uma tarefa, como apertar um botão ou empurrar uma porta, para obter ou ter acesso a escolha preferida (MATTHEWS; LADEWIG, 1994). Quanto ao teste de aversão, neste os animais fornecem informações sobre quais tipos de sentimentos e situações eles procuram evitar, pois as medidas para evitar determinada situação categorizam suas experiências. Quando um animal é colocado em situações que causam angústia, sua resposta comportamental irá depender da natureza da situação a qual está exposto (FRASER; BROOM, 2012).

De acordo com Fraser e Matthews (1997) a possibilidade de oferecer a escolha, por uma dieta ou ambiente, é uma das formas mais adequadas para determinar a preferência do animal, pois ele irá nos responder qual opção mais o agrada e o faz se sentir bem. A preferência por determinado ingrediente pode ser influenciada por vários fatores que se relacionam à idade, exposição alimentar anterior, nível de inclusão alimentar e o tempo de acesso à dieta experimental. Leitões recém e pós desmamados demonstram similaridade na preferência alimentar em termos de determinados ingredientes e palatabilidade. Estudos de preferência e palatabilidade tem potenciais para determinar aumento ou manutenção da ingestão de rações (SOLA-ORIOLO; ROURA; TORRALLARDONA, 2009c). Um ponto importante a se considerar diante de experimentos que medem a preferência, é a oportunidade de escolha pelos animais por diferentes dietas e ambiente.

2.3.2. Preferência Alimentar de Leitões Desmamados

Em sistemas de criação comercial de suínos a alimentação ofertada é única, sem opção de escolha. Esse manejo levou a uma suposição de ampla aceitabilidade de que os animais são adaptáveis a comer qualquer dieta fornecida desde que sejam equilibradas em termos nutricionais. Os nutrientes essenciais mais limitantes que compõe essas dietas comerciais são bem equilibrados, porém os demais podem apresentar grande variabilidade na composição. Casos de como o excesso de certos nutrientes podem afetar o apetite e a escolha alimentar de suínos ainda permanecem em investigação (ROURA; FU, 2017).

Quando os leitões são expostos a novos alimentos geralmente ocorre uma resposta neofóbica causada pelo medo da novidade e reforçada com o novo ambiente (HURSTI; SJÖDÉN, 1997), como consequência haverá redução de consumo, crescimento, saúde e mudanças comportamentais (OOSTINDJER et al., 2010). Durante o crescimento a exposição dos leitões a um sabor antes da transição, e o condicionamento da preferência podem reduzir a resposta neofóbica e melhorar a ingestão de alimentos (CLOUARD et al., 2012). A pré-exposição aos sabores pode ser realizada durante a gestação e lactação das porcas e no período pré e pós-natal (LANGENDIJK; BOLHUIS; LAURENSSEN, 2007; OOSTINDJER et al., 2010).

Dentre as pesquisas recentes sobre compreender a preferência dos suínos, a percepção de açúcares, adoçantes de alta densidade, e compostos ativos no paladar relacionados ao desenvolvimento de estimuladores de apetite têm ganhado destaque, devido em parte, ao valor que os suínos oportunizam como modelo humano (CLOUARD et al., 2012; 2014;

FIGUEROA et al., 2012; RIPKEN et al., 2014; ROURA et al., 2016). As pesquisas têm abordado de forma mais integrada sobre o impacto do paladar no sabor geral de preferência de suínos para ampla variedade de cereais, leguminosas e gorduras. Com destaque para preferência relatada por amido altamente digerível e carboidratos simples, como também para fontes específicas de proteínas (SOLA-ORIOLO; ROURA; TORRALLARDONA, 2007; 2009a, 2009b, 2009c, 2011, e 2014).

A textura (dureza, fragilidade, esforço de mastigação e viscosidade) e o tamanho de partícula (<0,16 mm a > 1 mm) de cereais foram correlacionados com a preferência alimentar de suínos alimentados com quatro dietas experimentais à base de 60% de arroz, cevada, aveia e sorgo (SOLA-ORIOLO; ROURA; TORRALLARDONA, 2007), no qual a textura dos alimentos avaliados e o tamanho de partículas com diâmetro entre 0,25 e 0,18 mm apresentou correlação positiva com a preferência alimentar. No entanto, em trabalhos sequenciais destes autores o tamanho da partícula não se apresentou como responsável pelas mudanças na preferência alimentar, devido às correlações fracas encontradas. Por outro lado, a textura da ração ofertada foi correlacionada com a escolha das dietas (SOLA-ORIOLO; ROURA; TORRALLARDONA, 2009a). Outro critério de escolha dos leitões é a palatabilidade que os diferentes cereais oferecem, bem como o tipo de cereal e tipo de processamento dos grãos (SOLA-ORIOLO; ROURA; TORRALLARDONA, 2009b, c).

A preferência alimentar de leitões por cereais pode ser atribuída às propriedades sensoriais, nutricionais e físicas que afetam a escolha das dietas. Com objetivo de enfatizar a preferência alimentar de suínos por 25 diferentes cereais, Sola-Oriol, Roura e Torrallardona (2014) avaliaram a relação com a composição nutricional e a digestibilidade desses cereais. Esse estudo revelou que a preferência está correlacionada positivamente com o teor de amido digestível e o índice de glicose presente nos cereais e negativamente com o teor de fibra.

As preferências alimentares dos suínos foram positivamente correlacionadas com o teor de amido e a liberação de glicose, visto que ingredientes com teores de amido menos digeríveis e baixo índice glicêmico apresentaram uma aceitabilidade menor (SOLA-ORIOLO; ROURA; TORRALLARDONA, 2009b, 2009c). Como observado na pesquisa de Sola-Oriol, Roura, e Torrallardona, (2009c) que ao avaliarem a palatabilidade de diferentes níveis de inclusão de cereais, encontraram uma preferência menor pela dieta de sorgo e centeio do que a de arroz (amido mais digestível e alto índice glicêmico). Já para a inclusão de milho, a preferência foi maior para os dias 0-2 e 6-10 de leitões recém desmamados, e para os demais dias a preferência foi menor pelo milho. Isso segundo os autores, indica que os leitões recém-

desmamados precisaram de alguns dias de adaptação para depois apresentar a aversão pela dieta teste. Além de demonstrar que a preferência por milho é alta nos primeiros dias de desmame e reduzido posteriormente.

Landero, Beltranena e Zijlstra (2012) com objetivo de substituir o farelo de soja na dieta de suínos por farelo de canola de semente escura e amarela, avaliaram a preferência de leitões desmamados alimentados com essas dietas. Os leitões preferiram a dieta composta por farelo de soja do que o farelo de canola, e dentre os dois tipos de canola, foi preferido o farelo de canola de semente escura. A aversão pela dieta composta por farelo de canola de semente amarela, foi explicada pelo fato da semente apresentar conteúdo e perfil de glucosinolatos, principalmente a gluconapina, que proporciona um efeito amargo na dieta. A redução da ingestão e o desempenho dos leitões desmamados foram relacionados a presença desse composto na dieta.

Para testar a hipótese de que os leitões desmamados têm preferência igual para inclusão de 20% de farelo de soja, farelo de canola de semente escura e amarela, Landero et al. (2018) ofereceram seleções de dupla escolha dessas dietas. Novamente foi preferido a dieta composta por farelo de soja do que as demais. Fatores como glucosinolatos, fibras e sabores podem ter influenciado a seleção da dieta. Além disso, os leitões desmamados preferiram dietas com mais fibras sem reduzir a ingestão. Esses autores concluem que a menor preferência alimentar de uma dieta não equivale a uma menor ingestão de alimentos, e sim as características do alimento que é fornecido.

Os suínos são capazes de selecionar uma dieta que atenda suas necessidades proteicas e evitam uma dieta com excesso de proteína. Essa escolha se diferencia também com o sexo do animal, fêmeas selecionam uma dieta mais baixa de teor proteico comparada aos machos (KYRIAZAKIS; EMMANS, 1991). Ingredientes ricos em proteínas de origem animal apresentam maior impacto sobre a preferência alimentar de leitões comparados a outros ingredientes. Solà-Oriol et al. (2011), avaliaram quinze fontes de proteínas vegetal e animal em teste de dupla escolha para 1168 leitões com 54 dias de idade. Dentre as fontes de proteínas testadas a farinha de peixe e *spray-dried* proteína suína hidrolisada, foram as preferidas quando comparadas a dieta referência composta de farelo de soja com 56% de PB, óleo de girassol e farelo de trigo.

A palatabilidade de coprodutos também foi estudada para entender sua influência sobre preferência alimentar. Seabolt et al. (2010) avaliaram a preferência de leitões desmamados para dietas que continham grãos secos por destilação com solúveis (DDGS), de cor variável, ou grãos secos por destilação com alto teor de proteína. Os testes indicaram

redução na preferência por essas dietas, mesmo em baixo nível de inclusão. Apesar de apresentarem boa composição nutricional, a palatabilidade desses ingredientes pode comprometer o consumo de ração. Para a cor o DDGS escuro foi preferido pelos leitões na inclusão de 30% do que o claro. Também foi possível identificar que na ausência de escolha das dietas o DDGS apresentou efeito negativo sobre o desempenho dos leitões na fase inicial II, além do sabor ter influenciado negativamente a preferência a qualquer nível de inclusão estudado, segundo os autores essa influência possivelmente foi devido a um efeito neofóbico às dietas.

Kanengoni et al. (2015) avaliaram a preferência alimentar e digestibilidade de nutrientes das dietas compostas por espigas de milho ensiladas para suínos de raças indígenas e comerciais em dois períodos consecutivos de três dias casa. Foi observado que o grupo de suínos em crescimento indígenas Sul-Africanos apresentou preferência pela dieta controle comparada a dieta com alta inclusão de silagem de espigas de milho no primeiro período avaliado. No segundo período de avaliação, a preferência por alta e baixa inclusão de silagem de espiga de milho na dieta dos suínos da raça Large White x Landrace foi menor que o índice de 50%, o que indica baixa preferência pela dieta de silagem de espiga de milho. A dieta com alta inclusão de silagem apresentou maiores valores de digestibilidade para os nutrientes de PB, FDA, FDN e hemicelulose. Os suínos indígenas Sul-Africanos apresentaram maior coeficiente de digestibilidade para FDN do que o grupo Large White x Landrace. Para estes autores, os suínos da raça Indígenas Sul-Africanos apresentaram uma melhor preferência pela silagem e digestibilidade dos nutrientes e se adaptaram rapidamente à dieta com silagem de espiga de milho, sem efeitos negativos frequentemente associados a ingredientes fibrosos. De acordo com Kanengoni et al. (2015) as reduções de polissacarídeos não amiláceos, o aumento da disponibilidade do amido, a produção de ácidos orgânicos, bem como, as alterações nas características de odor e textura, proporcionados pela ensilagem, podem melhorar a palatabilidade do alimento.

De forma geral, a preferência alimentar dos leitões presume-se em características de palatabilidade, natureza da matéria-prima, níveis de inclusão, frescor das dietas, cores, sabores doces e ingredientes como farinha de peixe, leveduras, trigo e soja. Preferem alimentos mais úmidos que seco, porém depende da palatabilidade, e as substâncias que reduzem o consumo são sal, gordura, farinha de carne e celulose.

3 REFERÊNCIAS

ALVES, M.P. et al. Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 3, p. 212-226, 2014.

ARCARI, M.A. et al. Effect of substituting dry corn with rehydrated ensiled corn on dairy cow milk yield and nutrient digestibility. **Animal Feed Science and Technology**, v. 221, p. 167-173, 2016.

ARAÚJO, W. A. A. et al. Comportamento de leitões em função da idade de desmame. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 3, p. 758-769, 2011.

AUERBACH, H.; WEISS, K.; NADEAU, E. Benefits of using silage additives. In: **Proc. 1st International Silage Summit**, Leipzig, Saxony, Germany, p. 75-144, 2012.

BASSO, F. C. et al. Fermentation and aerobic stability of high-moisture corn silages inoculated with different levels of *Lactobacillus buchneri*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 2369-2373, 2012.

BEAULIEU, A. D. et al. Impact of piglet birth weight, birth order, and litter size on subsequent growth performance, carcass quality, muscle composition, and eating quality of pork. **Journal of Animal Science**, v.88, p.2767-2778, 2010.

BERNARDES, T.; CASTRO, T. Silages and roughage sources in the Brazilian beef feedlots. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 3, p. 411, 2019.

BOLSEN, K.K.; ASHBELL, G.; WILKINSON, J.M. Silage additives. In: Wallace R.J.; Chesson, A. **Anais... Biotechnology in animal feeds and animal feeding**, Weinheim, Germany, p. 33-54, 1995.

BOLSON, D.C. et al. Corn silage rehydrated with crude glycerin in lambs' diets. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 6, p. 3307-3314, 2020.

BRUININX, E. et al. Individually measured feed intake characteristics and growth performance of group housed weanling pigs: effects of sex, initial body weight, and body weight distribution within groups. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 2, p. 301-308, 2001.

BRUININX, E. et al. Effect of creep feed consumption on individual feed intake characteristics and performance of group-housed weanling pigs. **Journal of Animal Science**, v. 80, p. 1413-1418, 2002.

BRUININX, E. et al. Individually assessed creep feed consumption by suckled piglets: influence on post-weaning food intake characteristics and indicators of gut structure and hind-gut fermentation. **Animal Science**, v. 78, p. 67-75, 2004.

CARVALHO, B. F. et al. Fermentation profile and identification of lactic acid bacteria and yeasts of rehydrated corn kernel silage. **Journal of Applied Microbiology**, v. 122, n. 3, p. 589-600, 2017.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CASTRO, V. S. et al. Formulação de rações para leitões com base nos nutrientes digestíveis da silagem de grãos úmidos de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n. 10, p. 1914-1920, 2009.

CASTRO, L. P. et al. Lactation performance of dairy cows fed rehydrated and ensiled corn grain differing in particle size and proportion in the diet. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 11, p. 9857-9869, 2019.

CHAMONE, J. M. A. et al. Fisiologia digestiva de leitões. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 7, p. 1353-1363, 2010.

CLOUARD, C. et al. Flavour preference acquired via a beverage-induced conditioning and its transposition to solid food: sucrose but not maltodextrin or saccharin induced significant flavour preferences in pigs. **Applied Animal Behavior Science**, v. 136, p. 26–36, 2012.

CLOUARD, C. et al. An attempt to condition flavour preference induced by oral and/or postoral administration of 16% sucrose in pigs. **Physiology & Behavior**, v. 124, p. 107–115, 2014.

CONTRERAS-GOVEA, F. E. et al. Microbial inoculant effects on silage and in vitro ruminal fermentation, and microbial biomass estimation for alfalfa, BMR corn, and corn silages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 163, p. 2–10, 2011.

CORREA, C. E. S. et al. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, v. 85, p. 3008-3012, 2002.

COX, L. N.; COOPER, J. J. Observations on the pre- and post-weaning behaviour of piglets reared in commercial indoor and outdoor environments. **Animal Science**, v. 72, n. 01, p.75-86, fev. 2001.

DA CRUZ, F. N. F. et al. Fermentative losses and chemical composition and in vitro digestibility of corn grain silage rehydrated with water or acid whey combined with bacterial-enzymatic inoculant. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 6, p. 3497-3514, 2021.

DANIEL, J. L. P. et al. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. **Grass and Forage Science**, v. 74, p. 188-200, 2019.

DA SILVA, C. A. D. et al. Edulcorante na água de consumo e efeitos sobre o desempenho e o desenvolvimento da mucosa intestinal de leitões submetidos ao desmame precoce segregado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 1770-1776, 2000.

DA SILVA, A. C. et al. Rações úmidas e água de consumo e ração com edulcorante para leitões desmamados aos 21 dias e efeitos sobre o desempenho até os 90 kg de peso vivo. **Ciência Rural**, v. 32, n. 4, p. 681-686, 2002.

DA SILVA, M. A. A. et al. Avaliação nutricional do milho com maior teor de óleo, nas formas de grãos secos e silagens, para suínos nas fases de crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 830-839, 2006.

DA SILVA, C. A.; DIAS, C. P.; MANTECA, X. Práticas de manejo com leitões lactentes: revisão e perspectivas vinculadas ao bem-estar animal. **Science and Animal Health**, v. 3; n. 1, p. 113-134, 2015.

DA SILVA, N. C. et al. Fermentation and aerobic stability of rehydrated corn grain silage treated with different doses of *Lactobacillus buchneri* or a combination of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4158-4167, 2018.

DA SILVA, N. C. et al. Influence of storage length and inoculation with *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of high-moisture corn and rehydrated corn grain silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 251, p. 124–133, 2019.

DA SILVA, C. A. et al. Prebiotics and butyric acid can replace colistin as a growth promoter for nursery piglets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 4, p. 1449-1457, 2020.

DA SILVA, C. A.; PIEROZAN, C. R.; DIAS, C. P.; FOPPA, L. *In: Suinocultura: uma saúde e um bem-estar*. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: AECS, 2020. p.126-156.

DA SILVA, M. A. A. et al. Statistical assessment of feeding corn with higher oil content to piglets in the starter phase. **South African Journal of Animal Science**, v. 51, n. 4, p. 460-468, 2021.

DE ALMEIDA CARVALHO-ESTRADA, P. et al. Effects of hybrid, kernel maturity, and storage period on the bacterial community in high-moisture and rehydrated corn grain silages. **Systematic and Applied Microbiology**, v. 43, n. 5, p. 126131, 2020.

EDOKPAYI, J. N.; ODIYO, J. O.; DUROWOJU, O. S. Impact of Wastewater on Surface Water Quality in Developing Countries: A Case Study of South Africa. **Water Quality**, p. 401-416, 2017.

ELLIS, J. L. et al. Effects of lactic acid bacteria silage inoculation on methane emission and productivity of Holstein Friesian dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 99, p. 7159–7174, 2016.

EMMANS, G. C. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. *In: Computers in Animal Production Occasional Publication British Society of Animal Production*. p.103-110, n. 5. 1981.

EMMANS, G. C. Growth, body composition and feed intake. **World's Poultry Science Journal**, v.43, p. 208-227, 1987.

EVERAERT, N. et al. A review on early gut maturation and colonization in pigs, including biological and dietary factors affecting gut homeostasis. **Animal Feed Science and Technology**, v. 233, p. 89-103, 2017.

FRASER, D.; BROOM, D. M. **Compreendendo o Bem-estar animal – A ciência no seu contexto cultural**. Tradução de Fregonesi, J. A. – Londrina: Eduel, 2012, 436 p.

FRASER, D.; MATTHEWS, L. R. Preference and motivation testing. *In: Appleby, M. C.; Hughes, B. O. Animal Welfare*. Wallingford, UK: CAB International. p.159–173. 1997.

FERRARETTO, L. F.; FREDIN, S. M.; SHAVER, R. D. Influence of ensiling, exogenous protease addition, and bacterial inoculation on fermentation profile, nitrogen fractions, and

ruminal in vitro starch digestibility in rehydrated and high-moisture corn. **Journal of Dairy Science**, v. 98, p. 7318–7327, 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, p. 533–550, 2013.

FIGUEROA, J. et al. Flavour preferences conditioned by protein solutions in post-weaning pigs. **Physiology and Behavior**, v. 107, p. 309-316, 2012.

FIGUEIRA, L. M. et al. Effects of flushing with rehydrated corn grain silage on follicular development in tropical Santa Inês ewes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 49, 2020.

FERNANDES, J. et al. Influence of hybrid, moisture, and length of storage on the fermentation profile and starch digestibility of corn grain silages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 271, p. 114707, 2021.

FITZSIMONS, S. M.; MULVIHILL, D. M.; MORRIS, E. R. Denaturation and aggregation processes in thermal gelation of whey proteins resolved by differential scanning calorimetry. **Food Hydrocolloids**, v.21, n.4, p.638-644, 2007.

FIX, J. S. et al. Effect of piglet birth weight on body weight, growth, backfat, and longissimus muscle area of commercial market swine. **Livestock Science**, v.127, p.51-59, 2010.

FRIENDSHIP, B. Monitoring health. In: **Proceedings of 5th London Swine Conference** (London, Canada). p. 9-13, 2005.

FORBES, J.M. Ingestão alimentícia e seleção em suínos: uma verdade impalatável. In: III Simpósio Brasil Sul De Suinocultura. Chapecó. **Anais...** Chapecó: Abraves. 2010, 144 p. p. 15-22, 2010.

GAGGIÀ, F.; MATTARELLI, P.; BIAVATI, B. Review: Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. **International Journal of Food Microbiology** v. 141, n. 1, p. S15–S28, 2010.

GIUBERTI, G. et al. Factors affecting starch utilization in large animal food production system: A review. **Starke**, v. 66, p. 72–90, 2014.

GOLLOP, N.; ZAKIN, V.; WEINBERG, Z. G. Antibacterial activity of lactic acid bacteria included in inoculants for silage and in silages treated with these inoculants. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, n. 3, p. 662–666, 2005.

GORVARDIA, P. et al. Comparative Analysis of Physio-Chemical Characteristics on Fresh Water Reservoir of Rajkot, Gujarat, India. In: **Proceedings of the National Conference on Innovations in Biological Sciences (NCIBS)**, April, 2020.

GOMES, A. L. et al. Effects of processing, moisture, and storage length on the fermentation profile, particle size, and ruminal disappearance of reconstituted corn grain. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 11, skaa332, 2020.

GUZMÁN-PINO, S. A. et al. Influence of the protein status of piglets on their ability to select and prefer protein sources. **Physiology Behavior**, v. 129, p. 43–49, 2014.

- HEO, J. M. et al. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhea without using in-feed antimicrobial compounds. **Journal Animal Physiology Animal Nutrition**, v. 97, p. 207–237, 2013.
- HERSKIN, M. S.; THODBERG, K.; JENSEN, H. E. Effects of tail docking and docking length on neuroanatomical changes in healed tail tips of pigs. **Animal**, v. 9, n. 4, p. 677-681, 2015.
- HOLZER, M. et al. The role of *Lactobacillus buchneri* in forage preservation. **Trends in Biotechnology**, v. 21, n. 6, p. 282-287, 2003.
- HOEKSTRA, A. Water for animal products: a blind spot in water policy. **Environment Research Letters**, v. 9, n. 9, 2014.
- HOFFMAN, P. C. et al. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. **Journal of Dairy Science**, 94, 2465-2474, 2011.
- HURSTI, U. K.; SJÖDÉN, P. Food and General Neophobia and their Relationship with Self-Reported Food Choice: Familial Resemblance in Swedish Families with Children of Ages 7–17 Years. **Appetite**, v. 29 n. 1, p. 0–103, 1997.
- JAYARAMAN, B.; NYACHOTI, C. M. Práticas de manejo e resultados de saúde intestinal em leitões desmamados: uma revisão. **Animal Nutrition**, v. 3, p. 205-211, 2017.
- JACOVACI, F. A. et al. Effect of ensiling on the feeding value of flint corn grain for feedlot beef cattle: A meta-analysis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, p. e20200111, 2021.
- JOBIM, C. C. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 101–119, 2007.
- JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G. Princípios básicos da fermentação na ensilagem. In: Reis, R. A., Bernardes, T. F.; Siqueira, G. R. **Forragicultura: Ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal-SP: FUNEP, 649-660. 2013.
- JUNGES, D. et al. Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. **Journal of Dairy Science**, v. 100, p. 9048-9051, 2017.
- KANENGONI, A. T. et al. Feed preference, nutrient digestibility and colon volatile fatty acid production in growing South African indigenous pigs and Large White×Landrace crosses fed diets containing ensiled maize cobs. **Livestock Science**, v. 171, p. 28–35, 2015.
- KARASOVA, D. et al. Development of piglet gut microbiota at the time of weaning influences development of postweaning diarrhea – A field study. **Research In Veterinary Science**. 135. 59-65, 2021.
- KIL, D. Y. et al. Digestibility of crude protein and amino acids in corn grains from different origins for pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 196, p. 68–70, 2014.
- KYRIAZAKIS, I.; EMMANS, G. C. Diet selection in pigs: dietary choices made by growing pigs following a period of underfeeding with protein. **Animal Production**, v. 52, p. 337–46, 1991.
- KOLLER, F. L. et al. Abscessos dentários periapicais em leitões com síndrome multissistêmica

do definhamento. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 28, p. 271-274, 2008.

KUMMER, R. et al. Fatores que influenciam o desempenho dos leitões na fase de creche. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 37, p. s195-s209, 2009.

KUNG JUNIOR, L.; STOKES, M. R.; LIN, C. J. Silage additives. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, 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.

KUNG JUNIOR, L. et al. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of ground and whole highmoisture corn. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 2309–2314, 2007.

KUNG JÚNIOR, L. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

KUBASOVA, T. et al. Housing Systems Influence Gut Microbiota Composition of Sows but Not of Their Piglets. **Plos One**, v.12, n.1, p.1-10, 2017.

LALLÈS, J-P. et al. Nutritional management of gut health in pigs around weaning. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 66, n. 2, p. 260–268, 2007.

LANDERO, J. L.; BELTRANENA, E.; ZIJLSTRA, R. T. Growth performance and preference studies to evaluate solvent-extracted *Brassica napus* or *Brassica juncea* canola meal fed to weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 406–408, 2012.

LANDERO, J. L. et al. Feed preference of weaned pigs fed diets containing soybean meal, *Brassica napus* canola meal, or *Brassica juncea* canola meal. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 600–611, 2018.

LANGENDIJK, P.; BOLHUIS, J. E.; LAURENSSEN, B. F. A. Effects of pre- and postnatal exposure to garlic and aniseed flavour on pre- and post-weaning feed intake in pigs. **Livestock Science**, v. 108, p. 284–287, 2007.

LEE, D. N. et al. Effects of diets supplemented with organic acids and nucleotides on growth, immune responses and digestive tract development in weaned pigs. **Journal Animal Physiology Animal Nutrition**, v. 91, p. 508–518, 2007.

LEHNEN, C. R. et al. Lactating sows fed diets with high moisture corn silage and fumaric acid. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 1, p. 214-221, 2011.

LI, Q.; PATIENCE, J. F. Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 233, p. 22–33, 2017.

LINDGREN, S. et al. Microbial dynamics during aerobic deterioration of silages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 36, n. 9, p. 765-774, 1985.

LINDGREN, S.; PAHLOW, G.; OLDENBURG, E. Influences of microbes and their metabolites on feed and food quality. In: K. Seggaard et al. (ed.) **Proc. 18th General Meeting of the European Grassland Federation**, Aalborg, Denmark. 22–25 May 2000. British Grassland Society, Reading, UK, p. 503-511, 2002.

- LIPPKE, R. T. et al. Monitoria sanitária em suinocultura. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 37, n. 1, p. s133-s146, 2009.
- LIU, Y. et al. Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: a review. **Animal Nutrition**, v. 4, p. 113–125, 2018.
- LOPES C. R. B. A. et al. High moisture grain corn silage for initial phase swine from 8 to 30 kg. **Boletim de Indústria Animal**, v. 58, n. 2, p. 181-190, 2001.
- LOPES, I. M. G. et al. Avaliação do uso de blend de levedura em rações para suínos de fase de creche, crescimento e terminação. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, e24810313271, 2021.
- LUGÃO, S. M. B. Silagem de Grão Úmido de Milho. In: **Silagem de Milho na Atividade Leiteira do Sudoeste do Paraná: do manejo de solo e de seus nutrientes a ensilagem de planta inteira e grãos úmidos**. Lapar, p. 99-112, 2011.
- MAIN, et al., **Effects of weaning age on pig performance in three-site production**. Swine Day, 2002.
- MANTOVANI, J. R. et al. Soro ácido de leite como fonte de nutrientes para o milho. **Agriambi**, v. 4, n. 19, p. 324-329, 2015.
- MARTINS, F. A. et al. Daily intake estimates of *fumonisin*s in corn-based food products in the population of Parana, Brazil. **Food Control**, v. 26, n. 2, p. 614-618, 2012.
- MAZUTTI, K. et al. Effects of processing and the physical form of diets on digestibility and the performance of nursery piglets. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 1575-1586, 2017.
- MENEZES, B. B. et al. **Características estruturais do grão de milho sobre a digestibilidade do amido em bovinos**. Anais da X mostra científica FAMEZ / UFMS, Campo Grande, 2017.
- MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The Biochemistry of Silage**. 2th ed, UK: Chalcombe Publications, 1991, 340 p.
- MORAIS, G. et al. Additives for grain silages: a review. **Slovak Journal Animal Science**, v. 50, n. 1, p. 42–54, 2017.
- MOLIST, F. et al. Administration of loperamide and addition of wheat bran to the diets of weaner pigs decrease the incidence of diarrhea and enhance their gut maturation. **British Journal of Nutrition**, v.103, p.879-885, 2010.
- MORAN, J. P. et al. A comparison of two methods for the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage. In: **Proceedings of XI International silage conference**. Aberystwyth, UK, 162-163, 1996.
- MORRILL, W. B. B. et al. Produção e nutrientes minerais de milho forrageiro e sorgo sudão adubado com soro de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 182- 188, 2012.
- MROZ, Z. Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for pigs.

Advances Pork Production, v. 16, p. 169-182, 2005.

MUCK, R. E. Recent advances in silage microbiology. **Agricultural and Food Science**, v. 22, p. 3-15, 2013.

MUCK, R. E. et al. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018.

MUCK, R. E. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 183-191, 2010.

NANNONI, E. et al. Tail docking in pigs: a review on its short and long-term consequences and effectiveness in preventing tail biting. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, p. 98-106, 2014.

NAMKUNG, H. et al. Impact of feeding blends of organic acids and herbal extracts on growth performance, gut microbiota and digestive function in newly weaned pigs. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, p. 697–704, 2004.

NRC. 2012. **Nutrient requirements of swine**. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

SANTOS, W. P. et al. The effect of length of storage and sodium benzoate on the nutritive value of reconstituted sorghum grain silages for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 10, p. 9028-9038, 2019.

SLAVIN, J. Whole grains and digestive health – Special Section: Molecular diversity and health benefits of carbohydrates from cereals and pulses. **Cereal Chemistry**, v. 87, n. 4, p. 292-296, 2010.

OLIVEIRA, R.P. et al. Valor nutritivo e desempenho de leitões alimentados com rações contendo silagem de grãos úmidos de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.146-156, 2004.

OLIVEIRA, D. F.; BRAVO, C. E.; TONIAL, I. B. Soro de leite: um subproduto valioso. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 67, n. 385, p. 64-71, 2012.

OLIVEIRA, A. S. et al. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, p. 4587–4603, 2017.

OLIVEIRA, E. R. et al. Effects of exogenous amylolytic enzymes on fermentation, nutritive value, and in vivo digestibility of rehydrated corn silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 251, p. 86-95, 2019.

OOSTINDJER, M. et al. Prenatal flavor exposure affects growth, health and behavior of newly weaned piglets. **Physiology Behavior**, v. 99, p. 579–586, 2010.

OOSTINDJER, M. et al. Facilitating ‘learning from mom how to eat like a pig’s to improve welfare of piglets around weaning. **Applied Animal Behavior Science**, v. 160, p. 19–30, 2014.

PAHLOW, G.; et al. Microbiology of ensiling. In: Buxton D.R., Muck R.E. and Harrison J.H. **Anais...** Silage science and technology. Madison, Wisconsin, USA: Agronomy Publication No.

42, American Society of Agronomy, p. 31 -93, 2003.

PARK, C. S. et al. Digestible and metabolizable energy in corn grains from different origins for growing pigs. **Animal Science Journal**, v. 86, n. 4, p. 415–421, 2015.

PAPADOPOULOS, G. A. et al. Dietary supplementation of encapsulated organic acids enhances performance and modulates immune regulation and morphology of jejunal mucosa in piglets. **Research In Veterinary Science**, v. 115, p. 174-182, 2017.

PATIL, A. K. et al. Probiotics as feed additives in weaned pigs: A review. **Livestock Research International**. v. 3, p. 31-39, 2015.

PAULA, L. et al. Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo hidropônico com soro de leite bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 931-939, 2011.

PÉREZ, J. F.; ROURA, E. Modulation of feed intake in pigs and chickens: Preface. **Animal Feed Science and Technology**, v. 233, p. 1–2, 2017.

PEREIRA, M. N.; PEREIRA, R. A. N. (2013) Processamento de milho por re-hidratação e ensilagem. In: ENCONTRO DE CONFINAMENTO. **Anais...** Ribeirão Preto: Coan, p.141-162.

PRESTES, I. D. et al. Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequências. **Scientia Agropecuaria**, v. 10, n. 4, p. 559-570, 2019.

PIEROZAN, C. R. et al. Fatores que afetam o consumo diário de ração e a taxa de conversão alimentar de suínos em unidades de recria-terminação: o caso de uma empresa. **Porcine Health Management**, v. 2, p. 7, 2016.

PINHEIRO, Roniê Wellerson. Boas práticas em creche e terminação. *In: Suinocultura: uma saúde e um bem-estar*. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília: AECS, 2020. p. 338-349.

PIOVESAN, V.; OLIVEIRA, V.; GEWEHR, C. E. Milhos com diferentes texturas de endosperma e adição de alfa-amilase na dieta de leitões. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 2014-2019, 2011.

PHILIPPEAU, C.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. **Animal Feed Science and Technology**, v. 68, p. 25-35, 1997.

PLUSKE, J. R. Feed- and feed additives-related aspects of gut health and development in weanling pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 4, n. 1, p. 1-7, 2013.

PEREIRA, M. N. et al. Silagem de milho reidratado na alimentação do gado leiteiro. **Informe Agropecuário**, v. 34, p. 27-33, 2013.

PETTIGREW, J. E. Reduced use of antibiotic growth promoters in diets fed to weanling pigs: dietary tools, part 1. **Animal Biotechnology**, v. 17, p. 207–215, 2006.

RAMOS, G. F. et al. Desempenho, frequência de diarreia, produção de fezes e custos de dietas

com teores crescentes de farelo de abacaxi para leitões desmamados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 6, p. 1505-1515, 2016.

RABELO, C. H. S. et al. Silagens de milho inoculadas microbiologicamente em diferentes estádios de maturidade: perdas fermentativas, composição bromatológica e digestibilidade in vitro. **Ciência Rural**, v. 44, p. 368–373, 2014.

REZENDE, A.V. et al. Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 213–221.

REKTOR, A.; VATAI, G. Membrane filtration of Mozzarella whey. **Desalination**, v. 162, p. 279-286, 2004. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 213–221, 2014.

RÉMOND, D., et al. Effect of corn particle size on site and extent of starch digestion in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.87, p. 1389–1399, 2004.

RIPKEN, D. et al. Steviol glycoside rebaudioside A induces glucagon-like peptide-1 and peptide YY release in a porcine ex vivo intestinal model. **Journal Agriculture Food Chemical**, v. 62, p. 8365-8370, 2014.

ROSE, D. J.; INGLETT, G. E.; LIU, S. X. Utilization of corn (*Zea mays*) bran and corn fiber in the production of food components. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, p. 915-924, 2010.

ROSELLI, M. et al. Alternatives to in-feed antibiotics in pigs: Evaluation of probiotics, zinc or organic acids as protective agents for the intestinal mucosa. A comparison of in vitro and in vivo results. **Animal Research**, v. 54, n. 3, p. 203–218, 2005.

ROSTAGNO, H. S.; PUPA, J. M. R. Fisiologia da digestão e alimentação de leitões. **Nutritime Revista Eletrônica**. v. 15, n. 05, 2018.

ROURA, E.; FU, M. Taste, nutrient sensing and feed intake in pigs (130 years of research: then, now and future). **Animal Feed Science and Technology**, v. 233, p. 3-12, 2017.

ROURA, E. et al. Critical review evaluating the pig as a model for human nutritional physiology. **Nutrition Research Reviews**, 1-31. 2016.

TAYLOR, C. C.; KUNG JUNIOR, L. The effect of *Lactobacillus buchneri* on fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 6, p. 126-1532, 2002.

TRES, T. T. et al. Effect of okara levels on corn grain silage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 49, p. e20190184, 2020.

TSE, M. L. P. et al. Valor nutricional da silagem de grãos úmidos de milho com diferentes graus de moagem para leitões na fase de creche. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 6, p. 1214-1221, 2006.

TOFOLI, C. A. et al. Avaliação nutricional da silagem de grãos úmidos de milho com diferentes teores de óleo para leitões na fase de creche. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 6, p. 1206-1213, 2006.

TORRALLARDONA, D. et al. Effect of feeding piglets with different extruded and non-extruded cereals on the gut mucosa and microbiota during the first post-weaning week. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 9–11, 2012.

SEABOLT, B. S. et al. Feed preferences and performance of nursery pigs fed diets containing various inclusion amounts and qualities of distiller's coproducts and flavor1. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 11, p. 3725–3738, 2010.

SILVA, C. M. et al. Estabilidade de silagens de grãos úmidos de milho e milho reidratado. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v.17, n.3, p.331-343. 2016.

SILVA, T. C. et al. Papel da fermentação láctica na produção de silagem. **PUBVET**, v. 5, Art-992, 2011.

SOBESTIANSKY, J.; BARCELLOS, D. E. S. N. Monitoramentos clínicos. In: Sobestiansky J. & Barcellos D.E.S.N. (Eds). **Doenças dos Suínos**. Goiânia: Cãnone, pp.723-726, 2007.

SOLÀ-ORIOU, D.; ROURA, E.; TORRALLARDONA, D. Feed preference in pigs: Effect of selected protein, fat, and fiber sources at different inclusion rates. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 3219-3227, 2011.

SUREK, D. et al. Growth of suckling piglets in litters standardized by weight. **Journal of Animal Science**. v. 92, p. 177-181, 2014.

SUTHERLAND, M. A. et al. Tail docking in pigs: acute physiological and behavioural responses. **Animal**, v. 2, n. 2, p. 292-297, 2008.

VICARI JUNIOR, D. et al. Supplementation with spray-dried porcine plasma in piglets at birth: effects on protein metabolism and performance. **Research, Society and Development**. v. 9, n. 8, p. e130985552, 2020.

VIEIRA NETO, J. et al. Evaluation of different corn textures in dry grain or silage forms for piglets from 7 to 15 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1757-1761, 2009.

VILLAGÓMEZ-ESTRADA, S. et al. Dietary preference of newly weaned pigs and nutrient interactions according to copper levels and sources with different solubility characteristics. **Animals**, v. 10, n. 7, p. 1133, 2020.

WESENDONCK, W.R. et al. Composição química e valores energéticos de alimentos alternativos para leitões. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** v. 65, n. 1, p. 198-202, 2013.

WILLIAMS, I. H. Growth of the weaned pig. In: Pluske, J. R.; LE Dividich, J.; Verstegen, M. W. A. (ed.). **Weaning the pig: concepts and consequences**. Netherlands: Wagening Academic Publishers, cap.2, p.17-35, 2003.

WEINBERG, Z.; MUCK, R. E. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 19, n. 1, p. 53–68, 1996.

WOYENGO, T. A.; KIARIE, E.; NYACHOTI, C. M. Energy and amino acid utilization in expeller-extracted canola meal fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 88, p.1433-1441 2009.

XU, X. et al. A comparison of the nutritional value of organic-acid preserved corn and heat-dried corn for pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 214, p. 95–103, 2016.

YADA, R. Y. **Protein in food processing**. England: Woodhead Publishing, 2004. 689 p.

ZANIN, E., BUMBIERIS JUNIOR, H. V., DA SILVA, C. A., GALBEIRO, S. **Guia para produção de silagem de grão de milho reidratado**. [Livro eletrônico] Londrina, PR: Universidade Estadual de Londrina, 2021, 20 p.

ZORIC, M. et al. Lameness in piglets—should pain killers be included at treatment? **Porcine Health Management**, v. 2, n. 1, p. 8, 2016.

ZHOU, B. et al. Effects of tail docking and teeth clipping on the physiological responses, wounds, behavior, growth, and backfat depth of pigs. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 10, p. 4908-4916, 2013.

4 HIPÓTESES

- A composição do soro de leite fluído e sua capacidade microbiológica pode promover melhorias na qualidade da silagem, reduzir o uso da água para reidratação dos grãos e contribuir para destinação adequada deste coproduto. Para o soro de leite em pó, além de considerar a carga de nutrientes de sua composição como fonte líquida para reidratação, está disponível em escala comercial. Por fim, a adição de inoculantes bacterianos pode ajudar essas duas fontes líquidas a melhorar a qualidade fermentativa e a estabilidade aeróbia da silagem.
- A silagem de grão de milho reidratado com soro de leite fluído por apresentar maior teor de umidade do que ingredientes comumente utilizados em rações de leitões desmamados, poderia aproximar-se da dieta composta pelo leite materno, além de promover melhorias nas características organolépticas do alimento como a textura, sabor, odor e amido mais disponível, estimular o comportamento exploratório e despertar o interesse pela busca do novo alimento, e com isso promover melhor consumo, ganho de peso e minimização dos quadros diarreicos.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos do soro de leite fluído na qualidade da silagem de grãos de milho reidratados, bem como o uso da silagem sob o desempenho zootécnico e a preferência alimentar de leitões desmamados.

5.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar os efeitos da reidratação de grãos de milho com soro de leite e/ou água, associado ou não com inoculante bacteriano, sobre a qualidade químico-fermentativa e estabilidade aeróbia das silagens;
- b) Avaliar o desempenho zootécnico de leitões desmamados alimentados com dietas formuladas com silagens de grãos de milho reidratados com soro de leite e/ou água (com e sem inoculante bacteriano);
- c) Avaliar o escore de fezes, de magreza e de depressão de leitões desmamados alimentados com dietas formuladas com silagens de grãos de milho reidratados com soro de leite e/ou água (com e sem inoculante bacteriano);
- d) Identificar as respostas comportamentais e o consumo alimentar em fase restrita e de livre escolha de leitões desmamados alimentados com silagem de grão de milho reidratado com soro de leite e grão de milho seco.

6 ARTIGO I

Artigo normatizado e aceito na *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*

ISSN:2428-6698 - Fator de impacto: 1.048

Effects of acid whey on the fermentative chemical quality and aerobic stability of rehydrated corn grain silage

Efectos del suero ácido sobre la calidad química fermentativa y la estabilidad aeróbica del ensilaje de grano de maíz rehidratado

Ediane Zanin¹, Egon Henrique Horst¹, Caio Abércio Da Silva¹, Valter Harry Bumbieris Junior¹

¹Department of Animal Science, Londrina State University, Londrina, Paraná, 86057-970, Brazil

Resumen:

El objetivo fue evaluar las características fermentativas, químicas y la estabilidad aeróbica de ensilajes de grano de maíz rehidratados con suero líquido (WF) o suero en polvo (WP) y agua, con o sin adición de inoculante (I). El grano de maíz fue hidratado agregando agua sin cloro y/o suero hasta alcanzar 35% de humedad y almacenado en silos de 4.36 kg. Luego de 45 días de fermentación, las muestras de los ensilajes fueron sometidas a análisis químico-fermentativos. Se evaluó la estabilidad aeróbica de los ensilajes durante 240 h considerando se ha considerado la pérdida cuando excedió la temperatura ambiente en 2 °C. Reducción el contenido de fibra de detergente ácido (ADF) y lignina de los ensilajes con el uso de WF y WP. Los niveles de nitrógeno amoniacal (NH₃-N) fueron los más bajos para WF y WP (0,7 y 0,9 g/kg TN) y el pH fue de 4,31 para WF después de 240 h de exposición aeróbica. El uso de inoculantes proporcionó niveles más altos de ceniza, extracto de éter (EE) y baja capacidad del buffer, además de reducciones en los niveles de ADF. Los ensilajes inoculados mostraron niveles más altos de NH₃-N y pH a las 240 h. El ensilaje de granos de maíz rehidratados con WF

proporcionó valores ideales de pH, bajo contenido de NH₃-N, niveles reducidos de ADF y lignina y mejor estabilidad aeróbica. Además de ser una alternativa sostenible, el uso de suero líquido para rehidratar los granos de maíz agrega valor nutricional y mejora la fermentación del ensilado.

Effects of acid whey on the fermentative chemical quality and aerobic stability of rehydrated corn grain silage

Abstract:

The objective was to evaluate the fermentative, chemical characteristics and aerobic stability of corn grain silages rehydrated with whey fluid (WF) or whey powder (WP) and water, with or without the addition of inoculant (I). The corn grain was ground and hydrated adding water without chlorine and/or whey to reach 35% humidity and stored in silos of 4.36 kg. After 45 days of fermentation, samples of the silages were submitted to chemical-fermentative analyses in opening of silos and 240 h of exposure to air. The aerobic stability of the silages was evaluating during 240 h has considered to the loss when the temperature of the ensiled mass exceeded the ambient temperature by 2 °C. A reduction in the acid detergent fiber (ADF) and lignin content of the silages was observed with the use of WF and WP. The levels of ammoniacal nitrogen (NH₃-N) were the lowest for WF and WP (0.7 and 0.9 g/kg TN) and pH was 4.31 for WF after 240 h of aerobic exposure. The use of inoculants provided higher levels of Ash, ether extract (EE), and low buffering capacity (BC), in addition to reductions in ADF levels. The inoculated silages showed higher levels of NH₃-N and pH after 240 h. The silage of corn grains rehydrated with WF provided ideal pH values, low NH₃-N content, reduced levels of ADF and lignin, and improved aerobic stability. In addition to being a sustainable alternative, the use of fluid whey to rehydrate corn grains adds nutritional value and improves

silage fermentation.

Keywords: Acid whey, Byproduct, Corn grain, Inoculant, Rehydrated, Sustainability

El resumen en español no es exactamente la traducción del abstract. Por otra parte, debe mejorarse la redacción en ambos resúmenes.

Introduction

Corn grain is one of the most used energy ingredients in animal feed; furthermore, it can also be subjected to rehydration to be stored as silage. Rehydrated corn grain silage is a strategy used to guarantee the availability of feeds throughout the year, reduce the use of machinery⁽¹⁾ decrease logistical costs⁽²⁾, and minimize the effects of fluctuations in the price of this commodity⁽³⁾.

The process of milling the dry corn grain and its subsequent rehydration also aims to increase its digestibility, reflecting positively on animal performance⁽⁴⁾. In particular, these resources are appropriate since the corn used in most countries is characterized as flint, which has lower digestibility.

Associated with rehydration, the fermentation of grain corn is an interesting process; dry grain is not suitable for ensiling due to its low moisture and sugar content, which results in limited production of total acids⁽⁵⁾. Thus, rehydration, commonly conducted with water and aimed at reaching final levels between 35% to 37% humidity^(6, 7), is a practical application.

The use of a liquid source with low added value or one that has polluting but non-toxic characteristics can also be used for the rehydration of dry grain corn. Byproducts such as acid

whey fluid, which have considerable concentrations of lactic acid bacteria and lactose⁽⁸⁾ as well as recognized nutritional value, constitute a suitable example for this purpose, with advantages given to the supply of more nutrients to the silage⁽⁹⁾ and an appropriate final destination for this byproduct.

In order to improve fermentation, reduce nutrient losses, and inhibit the growth of undesirable microorganisms^(5, 9), microbial inoculants composed of homofermentative and heterofermentative bacteria are also incorporated into the ensiled mass, which can prolong the aerobic stability of moist and rehydrated corn grain silages^(7, 10). Given this context, our hypothesis was that the composition of whey fluid and its microbiological capacity promotes the improvement of silage quality, reduces the use of water for rehydration of grains, and contributes to an appropriate destination for this byproduct. For whey powder, in addition to considering the nutrient load of its composition as a liquid source for rehydration, it is available on a commercial scale for purchase. Finally, the addition of inoculants may help these two liquid sources to improve the fermentative quality and aerobic stability of the silage. Thus, the objective of the present study was to evaluate the effects of rehydration of corn grains with acid whey or whey powder and water, with or without the addition of an inoculant, on the chemical, fermentative characteristics, and aerobic stability of the silages.

Material and methods

Corn grain and preparation of silage

The corn grains were obtained from the storage silos of Cooperativa Agropecuária Cocamar®, Londrina, Paraná, Brazil, and their genetic identity is not known. These grains were initially

processed in a hammer mill to reach an average particle size of 1.5 mm, and submitted to moisture content evaluation according to the methodology described in AOAC⁽¹¹⁾, with an average value of 117 g/kg dry matter (DM). The acid whey was obtained from the dairy company Volpato®, in the city of Araçatuba, Paraná, Brazil, during the processing of milk for the production of derivatives and was used shortly thereafter in natura to rehydrate the grains. The powdered whey used was purchased from Cooperativa Cativa®, in the city of Londrina, Paraná, Brazil.

The corn grain was ground and subjected to hydration according to each treatment by adding water without chlorine and/or whey to reach 35% humidity, with or without the addition of an inoculant defining five products, which were incorporated into the dry corn grain corresponding to the experimental treatments: Corn grain silage rehydrated with water (CON); Corn grain silage rehydrated with whey fluid (SWF); Corn grain silage rehydrated with fluid whey, plus inoculant (SWF + I); Corn grain silage rehydrated with water-reconstituted whey powder (SWP); and Corn grain silage rehydrated with powdered whey reconstituted with water, plus inoculant (SWP + I). The microbial inoculant added to the mass to be ensiled was previously diluted to 2.5 mL of the product to 7 L of water without chlorine and/or whey for each 20 kg of ground corn and manually homogenized. The inoculant used was Biotrato SLO® (SLO Biotecnologia & Agropecuária, Cambé, Paraná, Brazil) which consists of *Propionibacterium acidipropionici*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Pediococcus acidilactici*, *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus buchneri*, and *Lactobacillus curvatus* at a concentration of 70×10^9 UFC/g and 8% of cellulolytic enzymes.

Once hydrated, the mass of each of the five products was stored in six polyethylene silos with a capacity of 4 L each, determining units with an initial average weight of 4.36 ± 0.17 kg.

Compaction was carried out manually, with an average specific density of 1020 ± 0.04 kg natural matter (NM)/m³. All silos were sealed with a lid and appropriate plastic tape and stored in a dry and ventilated place for 45 days until the opening date, when they reached a final weight of 4.28 ± 0.20 kg. The experimental design was completely randomized with five treatments and six replications corresponding to each silo.

Chemical analysis

Samples of corn grain prior to ensiling (883 g DM/kg in natural matter (NM), 92.7 g crude protein (CP)/kg DM, 11.5 g Ash/kg DM, 31.8 g ether extract (EE)/kg DM, 126.2 g NDF/kg DM, 25.8 g ADF/kg DM, and 11.3 g lignin/kg DM) and the ensiled mass after opening the silos (Table 1) were evaluated according methodologies to AOAC⁽¹¹⁾, and neutral detergent fiber (NDF) assayed with a heat stable alpha amylase and sodium sulphite (aNDF), acid detergent fiber (ADF) and lignin (lignin (sa)) using sulphuric acid and corrected for ash were evaluated according to the methodology described by Van Soest *et al*⁽¹²⁾. The values of total digestible nutrients (TDN) were calculated according to Sniffen *et al*⁽¹³⁾, total carbohydrates (TCHO) according to the equation proposed by Chandler⁽¹⁴⁾, and non-fibrous carbohydrates (NFC) according to Hall⁽¹⁵⁾.

The composition of fluid whey before silage was: 60 g DM/kg NM, 865 g CP/kg DM, 3.40 g Ash/kg DM, 3.50 g EE/kg DM, pH 6.30, and acidity of 0.13 for lactic acid. The whey powder showed the following characteristics: 970 g DM/kg NM, 110 g CP/kg DM, 60 g Ash/kg DM, 15 g EE/kg DM, pH 6.30-6.80, and acidity of 0.13 for lactic acid. These analyses followed the procedures described by Zenebon *et al*⁽¹⁶⁾. Samples of the silages for each treatment were collected when the silos were opened to determine the chemical composition (i.e. digestibility

starch, sugars, starch, minerals, proteins and other nutrients) (Table 2) using a near-infrared spectroscopy system (NIRS DS2500; Foss, Denmark) from the 3rlab® laboratory (Chapecó, Santa Catarina, Brazil). The analysis results shown in Table 2 are only exploratory and descriptive, since it is a characterization of silages without the application of statistical analysis.

Fermentative analysis and aerobic stability

To evaluate the fermentation profile of the silages, buffering capacity (BC) and ammoniacal nitrogen (NH₃-N) were determined according to the methodology of Playne and McDonald⁽¹⁷⁾ at the opening of the silos and after 240 h of exposure to air (Table 3). Samples of the silages for each treatment also were collected when the silos were opened to determine the fermentative composition as lactic and acetic acid concentration, pH, NH₃-N (Table 2) using a near-infrared spectroscopy system (NIRS DS2500; Foss, Denmark) from the 3rlab® laboratory (Chapecó, Santa Catarina, Brazil).

The aerobic stability of the silages was determined using 3 kg of the ensiled mass, homogenized and deposited in the silos according to each treatment, which remained in a closed room exposed on a bench at ambient temperature for 240 h. The ambient (25.43 ± 2.38 °C) and silage temperatures were obtained every 12 h using a digital thermometer (TP101 Xtrad 145mm; Shenzhen Handsome Techn., Guangdong City, China). The thermometer rod was inserted 10 cm deep in the center of the mass for this measurement. The loss aerobic stability was considered when the temperature of the ensiled mass exceeded the ambient temperature by 2 °C⁽¹⁸⁾.

The pH of the ensiled mass during aerobic exposure was measured using a potentiometer (AZ

Temp Meter; AZ Instrument Corp., Taichung City, Taiwan) according to the methodology of Phillip and Fellner⁽¹⁹⁾. These analyses were delineated in subdivided plots, where the main portion was the treatment and the subplot was the time of aerobic exposure.

Statistical analysis

The data were analyzed according to a completely randomized design using the General Linear Model (PROC GLM) procedure of SAS (see 9.2; SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). Contrasts were used to verify scientific hypotheses using the CONTRAST command, making it possible to compare the impacts of using fluid whey and powdered whey on the investigated variables, as well as comparing the effects of using inoculants with these reconstituting agents. The proposed model was as follows:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + \xi_{ijkl}$$

where:

Y_{ijkl} = observed value regarding level i of factor A, combined with level j of factor B and level k of factor C, in repetition l ; μ = overall average; α_i = level effect i of factor A; β_j = level effect j of factor B; δ_k = level effect k of factor C; $(\alpha\beta)_{ij}$ = interaction effect of A with B; $(\alpha\delta)_{ik}$ = interaction effect of A with C; $(\beta\delta)_{jk}$ = interaction effect of B with C; and ξ_{ijkl} = experimental error associated with Y_{ijkl} and considered independent and identically distributed, with distribution $N(0, \sigma^2)$.

The $(\alpha\beta\delta)_{ijk}$ interaction was initially tested, but due to its low magnitude, it was removed from the statistical model. The results are presented as means \pm standard deviation and significance was declared at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$, and trends were discussed when $P \leq 0.10$.

For the aerobic stability pH data, regression analysis ($\alpha = 0.05$) was performed to split the time interaction per treatment in the RStudio statistical program (v. 3.6.0; 2019).

Results

Quality of chemical composition

The ADF contents of the corn grain silage rehydrated with SWP differed significantly ($P < 0.01$) between treatments (Table 1), with a lower observed ADF value of 14.7 g/kg DM for the silage without inoculation, followed by SWP + I with 21.0 g/kg of DM. There was a significant interaction ($P < 0.01$) between the liquid sources used, in which the SWP silages had the lowest ADF values.

The lignin content differed significantly ($P < 0.10$) between the SWF silages and other treatments, with the highest lignin content observed for SWF + I at 7.8 g/kg DM, in addition to presenting a significant interaction ($P \leq 0.05$) between SWF and SWP, with a lower observed lignin content for SWF silage (Table 1).

The EE value differed ($P < 0.05$) for the silages where SWF was used as a liquid source to rehydrate corn kernels, with a higher content of this nutrient for SWF + I. There was a significant interaction ($P < 0.01$) between the liquid sources of SWF and SWP used to rehydrate the grains (Table 1), in which the SWF source showed an increase in EE compared to that in the silages for the control and SWP treatments.

For levels of ash a significance difference was observed for the sources of treatments ($P < 0.05$), addition of inoculants ($P < 0.01$) and interaction between the liquid sources ($P < 0.05$). The corn grain silages that were rehydrated with SWP had the highest levels of ash compared to those in the other sources of rehydration, and the addition of inoculant in the SWP and SWF treatments

provided the highest levels of this component (Table 1). The DM, CP, NDF, TCHO, and NFC values of the silages were not influenced ($P > 0.05$) by the liquid sources used or by the addition of inoculants (Table 1).

Fermentation profile

The NH₃-N of the silages after 240 h of exposure to air from the ensiled mass were significantly different between silages (Table 3), with and without inoculation ($P < 0.05$), for treatments with the liquid sources SWP and SWF ($P < 0.01$), and there was significant interaction between the sources ($P < 0.01$). The silages with the addition of inoculant and the control treatment showed the highest levels of NH₃-N at 240 h.

The pH values evaluated in the silages showed a significant difference both in the opening of the silos and after 240 h of exposure to air (Table 3). For the pH values during the opening of the silos, a significant difference was observed between the silages with the liquid sources of SWF ($P < 0.05$) and SWP ($P < 0.01$) without the addition of inoculant, with a lower pH value of 4.26 for SWF.

After 240 h of exposure, the pH values differed between the SWF and SWP treatments ($P < 0.01$; 0.10, respectively), with a lower observed value of 4.31 for the WF and a tendency towards a lower pH value for the silage with SWP when compared to those in the control (Table 3). For the addition of inoculant, corn grain silages rehydrated with SWP showed a higher pH value compared to that in the control and SWF treatments ($P < 0.01$). In addition, a significant interaction ($P < 0.01$) was observed between the silages with SWP and SWF, in which the lowest pH values were observed for SWF, regardless of the addition of inoculant. The inoculated silages ($P < 0.05$) that were independent of the liquid sources used showed the lowest BC values

compared to those of the SWF and control sources (Table 3).

Aerobic stability

The loss of aerobic stability differed significantly ($P < 0.05$) between the corn grain silages rehydrated with water and SWF + I and those from the other silages, which broke the stability after 84 h of oxygen exposure, showing greater stability after opening the silos (Table 4). The time required for the ensiled mass of the treatments with water and SWF + I to increase the temperature of the ensiled mass by 2 °C above the ambient temperature was significantly shorter (76 and 75 h, respectively) than that in the other treatments ($P < 0.05$), a behavior that characterizes the loss of aerobic stability and onset deterioration of silage (Table 4).

The time to reach the maximum temperature of the ensiled mass, except for the silage made with corn grain rehydrated with SWF ($P < 0.05$), was longer than 200 h, with a significant difference between treatments in the final pH of the silages exposed to air for 240 h (Table 4, Fig. 1).

Discussion

Quality of chemical composition

It was observed that the inoculant contributed to ADF reduction when compared to that in the control treatment. These lower ADF values may be related to the dilution of the fiber content evaluated⁽²⁰⁾ and to the cellulolytic enzymes present in the inoculants, which degrade the fiber and alter the three-dimensional structure of the grain cell wall^(9, 21), determining positive results

for the digestibility of this food.

The ADF and NDF results for the silages that used SWF were in agreement with Rezende *et al*⁽⁹⁾, who also observed small reductions in the ADF levels in treatments with acid whey associated with inoculants, and in general observed lower NDF content for the treatments with rehydration of the corn grain with acid whey, without adding inoculant. For these variables and the liquid fluid whey source, it is still unclear how reductions in the levels of these nutrients occur. However, the whey acidity contributes to potentiating fermentation, which, together with the acidic hydrolysis of hemicellulose, can reduce the levels of these fibers.

The levels of lignin in all silages regardless of treatment could be considered low, since the content obtained in the corn kernels before rehydration was 11.3 g/kg DM. This reduction can occur after ensiling, due to the acid hydrolysis process of fibers and acidification that will weaken the complex lignin molecules⁽²⁰⁾ and thus obtain lower values of this component. However, the action of fluid and whey sources on reductions in lignin content in rehydrated corn grain silages requires more specific studies in terms of fiber structures, since this nutrient, as well as NDF and ADF, are directly related to feed digestibility.

The lignin levels determined in the present study for the control treatment differed from those obtained by Oliveira *et al*⁽¹⁾, who found values for lignin between 13.7 and 14 g/kg DM in corn grain silages rehydrated with water plus enzymatic additive. One factor that may explain this variation is that the levels of lignin present in rehydrated grain silages can vary widely due to the diversity of available corn cultivars, phase, and agronomic management.

The addition of the inoculant may have contributed to a higher value of content of EE for SWF + I, as this increase was also observed by Tres *et al*⁽²²⁾ and Arcari *et al*⁽³⁾ in rehydrated corn

grain silages inoculated with *L. buchneri*. The SWF source increased in EE compared to that in the silages for the control and SWP treatments. This increase can be explained by the microbiological potential and availability of nutrients that the SWF presents as a fresh product⁽⁸⁾ at the time of rehydration, since there was an adjustment in the DM base of the tested liquid sources, for homogeneous distribution of the presented nutrient load. The EE levels determined in the present study for the control treatment were similar to the results obtained by Oliveira *et al*⁽¹⁾, Mombach *et al*⁽²³⁾, and Tres *et al*⁽²²⁾ who identified values of 53.1, 45.2, and 39.6 g EE/kg DM, respectively, in samples of grain silages rehydrated with water without adding inoculants.

The use of the SWP liquid source may have contributed to higher observed levels of Ash, due to its composition having 60 g Ash/kg DM, while SWF had 3.40 g Ash/kg DM. The DM, CP, NDF, TCHO, and NFC values of the silages were similar to the results observed by Rezende *et al*⁽⁹⁾ in corn grain silages rehydrated with whey, and by Da Silva *et al*⁽¹⁰⁾ and Oliveira *et al*⁽¹⁾, who evaluated corn grain silages rehydrated with water, plus inoculants, and their effects on nutrients.

Fermentation profile

The corn grain silage rehydrated with SWF showed superior fermentation quality compared to that of the silage with SWP and water, with the lowest value of NH₃-N at 0.7 g/kg TN after exposure to air for 240 h. According to McDonald *et al*⁽²⁰⁾, as the pH rapidly decreases in the silage, the protein fraction is preserved and the concentrations of NH₃-N will be lower, thus characterizing an adequate fermentation. An increase in NH₃-N concentrations in silages may be related to the proteolytic activity of microorganisms from the epiphyte and/or inoculated population during silage, which will affect the decomposition of the prolamine of the cereals,

as well as the digestibility of starch, and as a consequence there will be higher levels of protein available for NH₃-N production⁽²¹⁾.

In the present study, the use of fluid whey may have contributed to a rapid reduction in pH and preservation of the protein fraction during storage and exposure to air due to the low proteolytic activity of lactic acid bacteria^(9, 24) present in the microbiological profile of whey⁽⁸⁾. Conversely, the inclusion of the inoculant may have altered the profile of the bacterial population of the silo^(24, 10) and consequently reduced the prolamines content of the inoculated silages during exposure to air, as higher concentrations of soluble protein and NH₃-N were observed at the opening of the silos (Table 2) and after 240 h of exposure to air (Table 3), respectively, in the silages in which the inoculants were incorporated, which may indicate greater proteolysis^(5, 21). This hypothesis was supported by the results obtained by Da Silva *et al*⁽¹⁰⁾, who, when evaluating the addition of *L. buchneri* in moist and reconstituted corn grain silages, found that the bacterial profile of the silage was modified, increasing the concentration of lactic acid bacteria as the silage storage period increased, with a higher concentration of NH₃-N after 90 days of storage in both types of silages.

The lower pH value of 4.26 for SWF in opening silos reinforced the hypothesis that the microbial profile of fluid whey preserved the protein in corn kernels due to its low proteolytic activity of lactic acid bacteria, in addition to contributing to a rapid drop in pH after ensiling. It is known that the starch-protein matrix of corn grains presents greater degradation due to microbial activity than from simple solubilization of final fermentation products, such as acids⁽²¹⁾.

The values of pH observed after 240 of exposure to air showed the action of source WF in

silages and inoculants. The modification of the bacterial profile in silos may be due to the addition of inoculants with *L. buchneri*, that can creating ecological niches and to benefit proteolytic bacteria in convert lactic acid into acetic acid, consequently increasing the pH during the fermentation process in this type of environmental^(21,24). This fact observed in the inoculated silages, which presented higher pH values after 240 h of exposure to air (Table 3).

The pH of an ensiled sample is a measure of its acidity, which corresponds to the sum of the concentrations of acids present in the ensiled mass, whose main acids were acetic, propionic, and lactic acid. Lactic acid is produced by lactic acid bacteria and has a higher concentration, contributing more to the decline in pH during fermentation⁽²⁵⁾. Van Soest *et al*⁽¹²⁾ and McDonald *et al*⁽²⁰⁾ consider pH values from 3.8 to 4.2 as ideal; however, the pH itself is not able to inhibit the action of undesirable microorganisms, which are also dependent on the speed of pH reduction, observed through the BC of the silages. The concentration of lactic acid in SWF and SWF + I were more expressive in samples obtained for the silages at the opening of the silos (Table 2), which presented the lowest pH values after 240 h of exposure to air.

The corn grain silage rehydrated with SWF maintained the pH at the opening and after the exposure to air, which was close to the values considered ideal for fermentative quality of the silage. This fact may also be due to the composition of the serum, which included sugars that were used as substrates by the lactic acid bacteria in the fermentation process, contributing to a rapid drop in pH. Considerable values were also observed for SWP, unlike water, which presented higher pH values at the opening of the silos. The results obtained for the control treatment were in accordance with those from Oliveira *et al*⁽¹⁾, who found pH values of 4.25 at the opening of the silo and 6.50 on the fifth day of exposure to air in corn silage rehydrated with water.

The inoculated silages that were independent of the liquid sources used showed the lowest BC values compared to those of the SWF and control sources (Table 3), which could be characterized as an important action of the inoculant in terms of fermentation right after ensiling, with a direct effect of inoculation on the speed of pH reduction and consequent improvement in silage BC. According to Jobim *et al*⁽²⁶⁾, this measurement depends on the composition of the plant regarding the contents of CP, inorganic ions, and the combination of organic acids and their salts, in addition to providing information on the speed of pH reduction, which must be low to facilitate this acidification during fermentation, culminating in improved conservation and silage quality. In the present study, these characteristics (Table 2) could be considered for a positive BC of rehydrated corn grain silages.

Aerobic stability

The loss of aerobic stability in corn grain silages rehydrated with water and whey occurred after 55 h in a previous study by Rezende *et al*⁽⁹⁾; however, we obtained greater aerobic stability with values of 75 to 84 h of exposure without losing stability, which characterizes a positive effect of rehydration. One of the factors that can influence the deterioration of the silages is the humidity of the ensiled mass, as there is a favoring of the medium so that undesirable microorganisms develop when the moisture content and acetic acid concentration are high⁽⁹⁾. In the present work, the moisture content was between the recommended intervals of 35% to 37% for a high quality of rehydrated grain silage^(6, 7), and the concentrations of acetic acid were similar between silages. In addition, the use of mandatory heterofermentative bacteria in inoculants, such as *L. buchneri*, increases the aerobic stability of moist and rehydrated corn grain silages^(5, 27, 7), which justifies the results achieved for the loss of stability of the silages

inoculated at 84 h of exposure to air.

Regarding the variable time to reach the maximum temperature of the ensiled mass, as the heating rate was obtained through the maximum temperature records divided by the time to reach the maximum temperature, we observed that the maximum temperature was reached from the eighth to the ninth day of exposure to air, except for the SWF, which reached the maximum temperature on the fourth day, although the maximum temperature values reached for this silage were low. In general, the rehydrated corn grain silages, regardless of the liquid source used for rehydrating the grains, were efficient in the time to reach the maximum temperature in this process. This justification may be related to the fermentative profile of these silages and the increased effect of the bacterial inoculant used, which improves the aerobic stability of the silages. Despite SWF reaching the maximum temperature before the other silages, with a final pH value close to the ideal (4.40) in terms of quality, after 240 h of exposure to air, the silage was still superior in qualitative terms and fermentations to those in the other silages. Our results were similar to those obtained by Rezende *et al*⁽⁹⁾, who observed that after 40 h of aerobic exposure, rehydrated grain silages increased the temperature, regardless of the liquid used for rehydration.

Although the loss of aerobic stability for the corn grain silage rehydrated with SWF occurred at 84 h of exposure, and it was observed that these silages, when challenged with the time of exposure to air, also presented average pH values lower than those of the silages made with the other sources of rehydration (Fig.1). This characteristic of maintaining stability after opening the silos can be explained by the microbial profile of the liquid source used for rehydration, which has low proteolytic activity of lactic acid bacteria⁽²⁴⁾ and acceleration of grain fermentation by a rapid fall in pH after ensiling due to the presence of lactic acid (Table 2).

The treatments that received an increase in microbial inoculant also showed a final pH value, in aerobic exposure, lower than that of the SWP, but not lower than that of the SWF without the inoculant and the control silage (Table 4). This shows that although the inoculation was efficient at prolonging the time to reach the heating rate of the silages, the pH values could still be considered above the ideal values, such as the value obtained for SWF. A significant increase in pH was also observed for the treatments with water, SWP, and SWP + I after 60 h of exposure (Fig. 1). The pH values of the silages increased with exposure to air, due to the action of yeasts that can use lactate as carbon and energy sources, favoring an environment for the growth of molds and aerobic bacteria, which are responsible for the deterioration of silage⁽²⁰⁾.

The pH values for the corn grain silage rehydrated with SWF remained more stable during the 240 h of exposure and were close to the values at the opening of the silo, when compared with those of the other treatments (Table 3, Fig. 1). This behavior can explain the significant difference in the final pH value in the aerobic exposure of this treatment. However, corn grain silage rehydrated with water, which also had a lower pH value at the end of the exposure, did not show stable behavior during the exposure (Table 3, Fig. 1). Conversely, the corn grain silage rehydrated with SWP showed a constant pH increase during the exposure and reached a higher final pH value (7.35). These results are similar to those observed by Oliveira *et al*⁽¹⁾, who found that the pH behavior of corn grain silages rehydrated with water showed a constant increase from 48 h to 120 h of exposure to air. The final pH of the silages is influenced by several factors, but according to Kung Junior *et al*⁽²⁵⁾, is more related to the concentration of lactic acid and TC in ensiled food, as shown in Table 2, in which the highest concentrations of lactic acid at the opening of the silos were for SWF, followed by the inoculated silages. A previous study by Da Silva *et al*⁽¹⁰⁾ showed that increased aerobic stability with increased storage period for

rehydrated and moist corn grain silages inoculated with *L. buchneri* are due to the accumulation of fermentation products such as acetic and propionic acid, which have antifungal properties.

The corn grain silages rehydrated with SWF were superior according to the quality parameters evaluated in the present study. In addition, the use of fluid whey in the rehydration of the grain can be considered as an alternative liquid source to water that provides conservation of ensiled food and an appropriate destination for this byproduct for preservation of the environment. Although whey powder showed improvements in the chemical and fermentative quality compared to those of the commonly used liquid source, it may not be an appropriate alternative option for rehydrating grains, as it requires water to dilute the powder before rehydrating the grain and distances itself from the production of food in a sustainable way. Another fact that may disadvantage the use of this source is the process becoming more expensive, since the product is acquired through purchase and the production of whey powder involves several processes that add value to the product to be sold.

Conclusion

The use of fluid whey presents itself as a suitable alternative to the use of water for rehydration of corn grains for silage, because in addition to being a sustainable alternative and that to preserve the environment, it also justifies its use by adding chemical, fermentative improvements and aerobic stability to the silage. In addition, our data suggest that more specific research is needed regarding the action of whey on the reduction of rehydrated corn grain silage fibers and the microbiological potential of the product to be used as a possible biological additive in the conservation of these silages.

Acknowledgments

The authors would like to thank the postgraduate program in Animal Science of the State University of Londrina (UEL, Londrina, Brazil) and the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES, Brasília, Brazil) for granting by scholarship.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

Literature cited:

1. Oliveira ER, Takiya SC, Del Valle AT, *et al.* Effects of exogenous amyolytic enzymes on fermentation, nutritive value, and in vivo digestibility of rehydrated corn silage. *Anim Feed Sci Technol* 2019; 251:86–95.
2. Ferraretto LF, Fredin SM, Shaver RD. Influence of ensiling, exogenous protease addition, and bacterial inoculation on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal in vitro starch digestibility in rehydrated and high-moisture corn. *J Dairy Sci* 2015; 98:7318–7327.
3. Arcari MA, Martins CMMR, Tomazi T, Gonçalves JL, Santos MV. Effect of substituting dry corn with rehydrated ensiled corn on dairy cow milk yield and nutrient digestibility. *Anim Feed Sci Technol* 2016; 221:167-173.
4. Ferraretto LF, Crump PM, Shaver RD. 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. *J Dairy Sci* 2013; 96:533–550.
5. Kung Junior L, Schmidt RJ, Ebling TE, Hu W. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of ground and whole high moisture corn. *J Dairy Sci* 2007; 90:2309–2314.

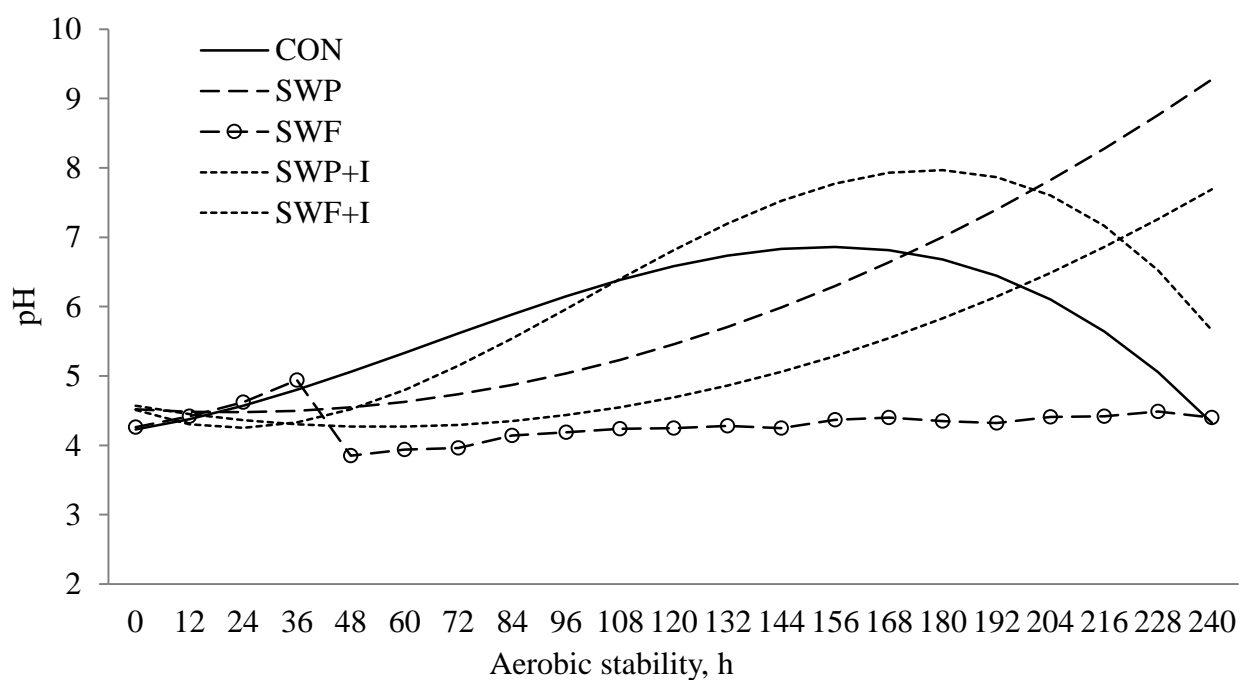
6. Silva CM, Amaral PNC, Baggio RA, *et al.* Estabilidade de silagens de grãos úmidos de milho e milho reidratado. *Rev Bras Saúde Prod Anim* 2016; 17:331-343.
7. Da Silva NC, Nascimento CF, Nascimento FA, Resende FD, Daniel JLP, Siqueira GR. Fermentation and aerobic stability of rehydrated corn grain silage treated with different doses of *Lactobacillus buchneri* or a combination of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. *J Dairy Sci* 2018; 101:4158–4167.
8. Rektor A, Vatai G. Membrane filtration of Mozzarella whey. *Desalination* 2004; 162:279-286.
9. Rezende AV, Rabelo SHC, Veiga MR, *et al.* Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Anim Feed Sci Technol* 2014; 197:213–221.
10. Da Silva NC, Nascimento FC, Campos AMV, *et al.* Influence of storage length and inoculation with *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of high-moisture corn and rehydrated corn grain silage. *Anim Feed Sci Technol* 2019; 251:124–133.
11. AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. (17th ed.) AOAC Internacional, Arlington, VA: AOAC International, 2000.
12. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991; 4:3583-3597.
13. Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. carbohydrate and protein availability. *J Anim Sci* 1992; 70:3562-3577.
14. Chandler P. Energy prediction of feeds by forage testing explorer. *Feedstuffs* 1990; 62:1-12.
15. Hall MB. Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis. A laboratory manual. Gainesville, Florida, EUA, 2000.

16. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos, Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, 2008; 819-877.
17. Playne MJ, McDonald P. The buffering constituents of herbage and of silage. *J Sci Food Agric* 1966; 17:264-268.
18. Taylor CC, Kung Junior L. The effect of *Lactobacillus buchneri* on fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. *J Dairy Sci* 2002; 85:126-1532.
19. Phillip LE, Fellner V. Effects of bacterial inoculation of high-moisture ear corn on its aerobic stability, digestion, and utilization for growth by beef steers. *J Anim Sci* 1992; 70:3178-3187.
20. McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. The biochemistry of silage. (2 ed.) Marlow, UK, 1991.
21. Junges D, Morais G, Spoto MHF et al. Short communication: Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. *J Dairy Sci* 2017; 100:9048–9051.
22. Tres TT, Bueno AVI, Jobim CC, Daniel JLP, Gritti VC. Effect of okara levels on corn grain silage. *Rev Bras Zootec* 2020; 49:e20190184.
23. Mombach MA, Pereira DH, Pina DS, Bolson D, Pedreira BC. Silage of rehydrated corn grain. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2019; 71:959–966.
24. Oude Elferink SJWH, Krooneman J, Gottschal JC, Spoelstra SF, Faber F, Driehuis F. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Appl Environ Microbiol* 2001; 67:125–132.
25. Kung Junior L, Shaver RD, Grant RJ, Schmidt RJ. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J Dairy Sci* 2018; 101:4020–4033.
26. Jobim CC, Nussio LG, Reis RA, Schmidt P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Rev Bras Zootec* 2007; 36:101–119.

27. Basso FC, Bernardes TF, Roth APTP, Rabelo CHS, Ruggieri AC, Reis RA. Fermentation and aerobic stability of high-moisture corn silages inoculated with different levels of *Lactobacillus buchneri*. Rev Bras Zootec 2012; 41:2369–2373.

Figure 1: pH values after aerobic exposure of rehydrated corn grain silages.

CON: 6.06 ± 1.18 , $\hat{Y} = 4.23 + 0.01x + 0.0002x^2 - 0.000001x^3$, $R^2 = 0.72$, $p = 0.0011$, $CV = 9.54$; SWP: 5.38 ± 1.18 , $\hat{Y} = 4.52 - 0.0042x + 0.0001x^2$, $R^2 = 0.88$, $p = 0.028$, $CV = 21.88$; SWF: 4.31 ± 0.27 , $p = 0.123$, $CV = 6.26$; SWP+I: 6.37 ± 1.60 , $\hat{Y} = 4.51 - 0.024x + 0.0006x^2 - 0.000002x^3$, $R^2 = 0.92$, $p = 0.001$, $CV = 25.17$; SWF+I: 5.11 ± 1.40 , $\hat{Y} = 4.57 - 0.011x + 0.0001x^2$, $R^2 = 0.89$, $p = 0.005$, $CV = 27.35$.



1 **Table 1:** Chemical quality (g/kg DM) of grain corn silages rehydrated with water, powdered whey and fluid whey

Variables ^b	Treatment ^a					SEM ^c	SWF	SWP	I	×	SWF ^d
	CON	SWF		SWP							
		Without	With	Without	With						
DM	633.4 ± 0.38	628.3 ± 0.53	637.0 ± 0.34	629.8 ± 0.68	625.7 ± 1.84	0.97	ns	ns	ns	ns	ns
Ash	11.3 ± 0.25	11.1 ± 0.06	11.8 ± 0.05	12.0 ± 0.07	12.7 ± 0.06	0.06	ns	**	*	**	**
CP	103.0 ± 0.19	104.7 ± 0.42	103.2 ± 0.27	101.3 ± 0.17	104.7 ± 1.74	0.31	ns	ns	ns	ns	ns
EE	37.0 ± 0.55	37.3 ± 0.35	41.8 ± 0.47	35.4 ± 0.30	43.6 ± 0.30	0.40	**	ns	ns	*	*
NDF	122.1 ± 2.07	112.8 ± 0.77	128.6 ± 1.42	137.4 ± 2.21	101.4 ± 0.96	1.44	ns	ns	ns	ns	ns
ADF	23.0 ± 0.46	20.2 ± 0.23	22.1 ± 1.00	14.7 ± 0.75	21.0 ± 0.21	0.27	ns	*	**	*	*
Lignin	3.4 ± 0.57	3.3 ± 0.27	7.8 ± 0.14	3.4 ± 0.23	4.2 ± 0.31	0.24	***	ns	ns	**	**
TCHO	847.7 ± 0.77	847.0 ± 0.46	843.2 ± 0.22	851.3 ± 0.36	845.9 ± 2.01	1.04	ns	ns	ns	ns	ns
TDN	812.9 ± 0.02	813.1 ± 0.01	812.8 ± 0.05	813.3 ± 0.04	813.0 ± 0.01	0.02	ns	***	***	**	**
NFC	718.8 ± 2.64	734.2 ± 1.01	714.6 ± 1.29	714.0 ± 2.39	744.5 ± 2.49	2.12	ns	ns	ns	ns	ns

2 * $P < 0.01$; ** $P < 0.05$; *** $P < 0.10$; ns: no significant; ^aTreatment: CON, corn grain silage rehydrated with water; SWF, corn grain silage rehydrated

3 with whey fluid; SWF + I, corn grain silage rehydrated with fluid whey, plus inoculant; SWP, corn grain silage rehydrated with water-reconstituted
4 whey powder; SWP + I, corn grain silage rehydrated with powdered whey reconstituted with water, plus inoculant.^b Variables: DM, Dry matter
5 (g/kg of natural matter); Ash, mineral matter; CP, crude protein; EE, ether extract; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; TCHO,
6 carbohydrates total; TDN, Total digestible nutrients; NFC, non-fibrous carbohydrates. ^c SEM, standard error of the mean. ^d Interaction “SWF x
7 SWP”.

8 **Table 2:** Chemical-fermentative composition of rehydrated corn grain silages determined by
 9 the NIRS system

Variables ^b (g/kg DM)	Treatment ^a				
	CON	SWF		SWP	
		Without	With	Without	With
DM (g/kg NM)	652.9	609.4	655.0	641.5	621.7
Moisture	347.1	390.6	344.0	358.5	378.3
CP	97.2	98.5	100.1	100.7	95.1
Protein soluble g/kg CP	496.0	504.8	520.6	504.0	509.5
Protein available	96.2	97.9	99.2	100.1	94.4
ADIP	01.0	00.6	00.9	00.7	00.7
NDIP	02.8	02.2	02.9	02.8	02.3
ADIP g/kg CP	10.0	06.2	09.1	06.6	07.5
ADF	31.3	28.6	31.4	26.0	27.4
NDF	91.0	74.9	87.9	85.5	76.6
aFDN _{mo}	85.4	69.3	82.1	78.7	69.4
Lignin	05.1	04.9	05.1	04.6	04.7
Lignin g/kg NDF	56.3	64.9	58.5	53.7	61.8
Sugars (Carbohydrates soluble in water)	44.5	50.5	49.0	50.4	48.3
Starch	698.8	703.9	688.9	704.7	699.9
Starch g/kg NFC	919.7	905.1	905.0	916.4	904.4
Digestibility of rumen starch, g/kg starch 0h	466.4	394.1	417.6	354.0	458.1
Digestibility of rumen starch, g/kg	701.9	709.2	701.6	686.4	740.7

starch 7h

Lipids	36.2	33.1	35.3	29.7	38.1
Ash	18.5	17.9	18.3	17.8	18.6
Calcium	00.5	00.5	00.5	00.5	00.5
Phosphorus	02.2	02.0	02.0	02.2	02.2
Potassium	03.9	03.7	03.9	04.0	03.8
Magnesium	00.9	00.8	00.9	00.9	00.9
Sulfur	00.9	00.9	00.9	00.9	00.9
Lactic acid	21.5	24.8	26.3	22.2	24.8
Acetic acid	03.2	05.0	03.6	03.0	04.2
Protein equivalent of NH ₃ -N	03.3	03.6	03.1	02.9	03.8
NH ₃ -N (g/kg of CP)	33.6	37.0	31.3	28.8	40.1
pH	4.78	3.89	4.13	4.23	4.15
Kd of starch (using 3.7 h) %h	17.00	17.19	16.96	16.29	18.86

10 ^a Treatment: CON, corn grain silage rehydrated with water; SWF, corn grain silage rehydrated
11 with whey fluid; SWF + I, corn grain silage rehydrated with fluid whey, plus inoculant; SWP,
12 corn grain silage rehydrated with water-reconstituted whey powder; SWP + I, corn grain silage
13 rehydrated with powdered whey reconstituted with water, plus inoculant. ^cVariables: DM, Dry
14 matter (g/kg of natural matter); ADIP, acid detergent insoluble protein; NDIP, Neutral detergent
15 insoluble protein; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; aNDFmo, neutral
16 detergent fiber with amylase and expressed excluding residual ash; NH₃-N, ammoniacal
17 nitrogen. Kd, Fractional rate of degradation. Analyses determined by the laboratory 3rLab.

18 **Table 3:** Fermentative quality (g/kg DM) of grain corn silages rehydrated with water (CON), powdered whey (SWP) and fluid whey (SWF)

Variables ^b	Treatment ^a					SEM ^c	SWF	SWP	I	×
	CON	SWF		SWP						
		Without	With	Without	With					
NH3-N-0h	0.6 ± 0.04	0.5 ± 0.02	0.4 ± 0.01	0.5 ± 0.009	0.4 ± 0.03	0.02	ns	ns	ns	ns
NH3-N-240h	1.9 ± 0.08	0.7 ± 0.01	1.3 ± 0.04	0.9 ± 0.03	2,20 ± 0.08	0.05	*	*	**	*
pH-0h	4.53 ± 0.07	4.26 ± 0.09	4.43 ± 0.03	4.38 ± 0.14	4.35 ± 0.12	0.10	**	*	ns	ns
pH-240h	6.13 ± 0.08	4.31 ± 0.11	5.14 ± 0.70	5.44 ± 0.41	6.47 ± 0.18	0.33	*	***	*	*
BC	259.9 ± 1.78	276.8 ± 5.27	266.3 ± 1.73	231.6 ± 3.03	243.4 ± 1.67	3.11	ns	ns	**	ns

19 * $P < 0.01$; ** $P < 0.05$; *** $P < 0.10$; ns: no significant; ^a Treatment: CON, corn grain silage rehydrated with water); SWF, corn grain silage
20 rehydrated with whey fluid; SWF + I, corn grain silage rehydrated with fluid whey, plus inoculant; SWP, corn grain silage rehydrated with water-
21 reconstituted whey powder; SWP + I, corn grain silage rehydrated with powdered whey reconstituted with water, plus inoculant;
22 ^b Variables: BC, Buffering Capacity (e.mg/100g DM); NH3-N, ammoniacal nitrogen g/kg of total nitrogen) and pH in opening (0h) and exposure
23 to air (240h);^c SEM, standard error of the mean;^d Interaction “SWF x SWP”.

Table 4: Aerobic stability parameters of corn grain silages submitted to rehydration

Parameters	Treatments					P-value
	CON	SWP	SWF	SWP+I	SWF+I	
Aerobic stability, hour	76 ^b	84 ^a	84 ^a	84 ^a	75 ^b	0.0007
Time to maximum temperature, hour	234 ^a	234 ^a	104 ^b	204 ^a	201 ^a	0.0001
pH-240h	5.50±1.2 ^{ac}	7.35±1.2 ^b	4.40±0.3 ^c	6.71±1.6 ^{ab}	6.88±1.4 ^{ab}	0.0006

CON, corn grain silage rehydrated with water; SWF, corn grain silage rehydrated with whey fluid; SWF + I, corn grain silage rehydrated with fluid whey, plus inoculant; SWP, corn grain silage rehydrated with water-reconstituted whey powder; SWP + I, corn grain silage rehydrated with powdered whey reconstituted with water, plus inoculant.

7 ARTIGO II

Artigo submetido na revista *Animal Bioscience* de ISSN: 2765-0235 e Fator de impacto: 2.509

Performance and feed preference of weaned piglets fed with corn grain silage subjected to different rehydration sources

Ediane Zanin¹, Egon Henrique Horst², Julie Gabriela Nagi Dario¹, Camila Kerolin Bassi Krzezanovski³, Gabriela Ruiz¹, José Antonio Fregonesi¹, Caio Abércio da Silva¹, Valter Harry Bumbieris Junior¹

¹Department of Animal Science, Londrina State University, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380, University Campus, 86057-970, Londrina, PR, Brazil

²PhD, Assistant Professor of Department of Veterinary Medicine, Midwestern Paraná State University, Rua Padre Salvatore Renna, 875, 85015-430, Guarapuava, PR, Brazil

³Department of Veterinary Medicine, Centro Universitário Filadélfia, Av. Juscelino Kubitscheck, 1626, 86010-000, Londrina, PR, Brazil

Ediane Zanin: ediane.z@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1772-3542>

Egon Henrique Horst: egonhh@yahoo.com.br; <https://orcid.org/0000-0002-4380-8486>

Julie Gabriela Nagi Dario: gabrielanagi@hotmail.com; <https://orcid.org/000-0002-8396-8468>

Camila Kerolin Bassi Krzezanovski: camilabassii@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8516-3938>

Gabriela Ruiz: gabrielaruizmv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5334-2931>

José Antonio Fregonesi: jafregonesi@uel.br; <https://orcid.org/0000-0002-4195-2812>

Caio Abércio da Silva: casilva@uel.br; <https://orcid.org/0000-0001-9123-0343>

Valter Harry Bumbieris Junior: jrbumbieris@uel.br; <https://orcid.org/0000-0001-7255-4887>

Author correspondence: Ediane Zanin, Londrina State University, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380, Campus Universitário, 86.057-970, Paraná, Brazil; E-mail: ediane.z@hotmail.com

Abstract

Objective

Evaluate the effects of diets composed of corn grain silage rehydrated with water and acid whey on the productive performance and feed preference of the weaned piglets.

Methods

Were evaluated 120 piglets weaned in the pre-initial phase I (21 to 32 d) as for productive performance and diarrhea, depression and thinness scores as the following diets: a control ration with dry corn grain (CR); corn grain silage rehydrated with water (CGSR+W); corn grain silage rehydrated with water and inoculant (CGSR+WI); corn grain silage rehydrated with acid whey (CGSR+AW). To determine the piglets' feed preference, diets were offered in two phases with the observation of daily feed intake (DFI) and behavioral responses of 20 piglets weaned housed in pairs. The first phase involved the supply of the reference diet (CR) for five days, followed by the test diet (CGSR+AW) for another five days. The second phase involved the free-choice, with the supply of both diets for six days.

Results

For performance in pre-initial phase I there was no difference of treatments ($p > 0.05$). The piglets of group CR differing for depressed score and the group of CGSR+W were severely thin ($p < 0.05$). During the restricted phase higher DFI of was observed (649.1 ± 152.7 vs. 509.7 ± 129.4 g of DM) for CGSR+AW ($p < 0.05$). In the free-choice phase, piglets spent more time consuming CR (118.7 ± 60.3 vs. 57.3 ± 37.5 min/d) and showed a higher DFI (761.3 ± 178.1 vs. 592.1 ± 207.4 g of DM) for the reference diet ($p < 0.05$). Piglets preferred to consume CR (56.39%) over CGSR+AW ($p = 0.0041$).

Conclusion

The diet with CGSR+W reduced diarrhea resulting in DWG and exerted an influence on feeding initiation in the first few weeks after weaning and was equivalent to the diets with dry grains.

Piglets exhibited higher preference for diet based on dry corn grain.

Key-words: Acid whey; Diarrhea; Intake; Preference; Silage; Weaning.

INTRODUCTION

In the intensive swine production system, early weaning of the piglets is commonly practiced (between 21 and 28 days of age), corresponding to a very critical event specially in the first two weeks following segregation [1]. At this stage, several stress factors, such as breast milk deprivation, social disorganization, the unknown environment, and reluctance to a new diet, among others, are associated with the delay in starting or determine food consumption below basic needs. Consequently, there are changes in intestinal morphology and microbiome, there by resulting in diarrhea and leading to poor performance and an increased mortality rate [2, 3].

To minimize these effects on the performance of the weaned piglets new feeding strategies, as providing a good meal (concerning flavors, textures, and sensory characteristics) encourages the exploratory behavior, and piglets may spend more time in the trough, increasing feed intake [4]. The feeding characteristics, such as diet flavor, fiber content, a wide variety and textures of cereals and highly digestible starch [5, 6], have been investigated to determine the impacts on the taste of weaned piglets. The silage in turn, reduces non-starch polysaccharides, increases starch availability, produces organic acids during fermentation, and prompts changes regarding odor and texture that can improve feed palatability [7].

The silage of dry corn grains requires rehydration, which is commonly performed with water [8]. Its supply to the weaned piglets could play an important role in this critical phase, as it possibly improves grain digestibility, which reflects on animal performance [7] and its acidification, which contributes to the maintenance of the gastrointestinal tract and minimizes the cases of diarrhea [9]. The advantages of preserving food include improved animal performance [7] and during the post-weaning phase, feed preference may be an important factor

in facilitating feeding initiation in piglets [5].

An alternative to reduce and replace the use of water in grain rehydration, the potential of acid whey as an ingredient with high water content (940 g/kg), lactose (44–50 g/kg), soluble proteins (6–8 g/kg), and minerals (7 g/kg) has been recognized [10], which represents the substrates supporting good rehydration of dry corn grain, promoting in parallel the acidity of the environment, along with an additional source of lactic acid bacteria, with positive repercussions on the chemical-fermentative aspects of the final silage [8].

Based on these concepts, the inclusion of this ingredient, while formulating a feed for the weaned piglets, could promote better consumption, and greater digestibility of the diet along with the minimization of diarrheal conditions. Additionally, as it has a higher moisture content than ingredients commonly used in diets, we hypothesized also that a diet incorporating corn grain silage rehydrated with acid whey is more humid and would be comparable to a diet composed by sow's milk. Furthermore, we also predicted that the inclusion of silage would improve feed characteristics organoleptic, such as texture, sensory, flavor, available starch, motivating exploratory behavior in the search for the new feed. Thus, the objective of this study was to evaluate the productive performance and preference of weaned piglets fed with diets composed of corn grain silage rehydrated with water and acid whey on the of the weaned piglets.

MATERIAL AND METHODS

Housing and animals

Two experiments were conducted with weaned piglets and approved by the Committee on Ethics and Use of Animals (CEUA) (registration no. 1738.2019.75). The experiment 1 was designed to study the performance of weaned piglets; Experiment 2 was designed to evaluate feed preference of weaned piglets with inclusion of grain corn grain silage rehydrated.

In the experiment 1 we evaluated 120 piglets, including castrated males and females belonging to the Choice lineage, with an average age of 21 days, and average initial weight of 6.03 ± 0.75 kg. The experiment was started at weaning and was concluded at 32 days of age during pre-initial phase I. The animals were kept in a closed shed during the experiment and housed in collective pens of 3 m^2 (1 m^2 per animal) with three animals per pen, with partially slatted plastic floor, linear feeders, and nipple-type drinkers. Each pen was heated using 200 WIR infrared lamps. The piglets were distributed in randomized blocks according to their weight and sex, with 10 repetitions per treatment. The average closed shed temperature was 26.81 ± 2.55 °C. For data analysis, a pen with three animals was considered as one experimental unit.

In the experiment 2 a total of twenty piglets (10 castrated males and 10 females; Choice Genetics), with an average initial weight of 6.139 ± 1.64 kg and weaned at 21 days old. The animals were randomly distributed into 10 pens enrolled according to age, weight, and sex, to form 10 pairs of animals, which were kept under evaluation for 21 days. The stalls had 1.5 m^2 of area, with a fully slatted plastic floor, a nipple-type drinker, and an adjustable height. The piglets were acclimated to the test pen for 7 d before the experiment began which started at 28 days old. Four round plate-type feeders were installed in each stall to reduce competition for feeding place and provide equally the two diet options namely, dry corn grain (D1) and rehydrated corn grain silage with acid whey (D2). The troughs were switched during the experiment to remove the possibility of a preference for the trough position (left or right side). A thermometer (TR10, Western[®]) was fixed in the center of the shed to monitor the room temperature.

Experimental diets and chemical composition analysis

The experimental diets (Table 1) were based on the dry matter (DM) of dry corn grain (880

g/kg DM) and the digestible energy of silage of rehydrated corn [11] to meet the minimum nutritional requirements of the female piglets with high genetic potential between 21 and 32 days (pre-initial phase I) based on the nutritional recommendations of the Brazilian Tables for Poultry and Swine [10].

For experiment 1 the experimental treatments were as follows: control ration (CR, dry grain corn); corn grain silage rehydrated with water (CGSR+W); corn grain silage rehydrated with water combined with inoculant (CGSR+W_I); corn grain silage rehydrated with acid whey (CGSR+AW). The experiment 2 was offered control ration (CR, reference diet) and rehydrated corn grain silage with acid whey (CGSR+AW, test diet). The dry corn grains used for silage production were processed with an average particle size of 1.5 mm and rehydrated with a liquid source (water or whey) to attain a moisture level of 370 g/kg. The ensiled mass was placed in drum-type silos with a capacity of 250 L and stored for 90 days until the date of opening. The piglets were fed total mixed ration (TMR) provided *ad libitum* according to each treatment composed with dry corn or corn silage rehydrated with water or acid whey, soybean meal, and other ingredients, as presented in Table 1. The diets containing rehydrated corn grain silage were prepared daily in a “Y” type mixer for 5 min, to mix the ensiled mass portion and the other ingredients of the total ration (Table 1).

Silage, after opening the silos (*Supplementary files, Table I*), and total mixed ration (TMR) samples, which corresponded to the experimental diets (Table 2), were evaluated for their chemical composition [12], neutral detergent fiber (NDF) assayed with a heat stable alpha amylase and sodium sulphite (aNDF), acid detergent fiber (ADF) and lignin contents were evaluated using sulphuric acid and corrected for ash [13]. To evaluate the fermentative profile of silage and TMR samples, the buffer capacity (BC) and ammonia nitrogen (N-NH₃) content were determined according to the method described by Playne and McDonald [14], and the values of hydrogen ionic potential (pH) was measured using a potentiometer (AZ Temp Meter;

AZ Instrument Corp., Taichung City, Taiwan) at the time of opening of the silos and during the experimental period [12]. The chemical-fermentative composition of silage samples was also determined using a near-infrared spectrometer (NIRS DS2500; Foss, Denmark) (*Supplementary files, Table II*) in the 3rlab[®] laboratory (Chapecó, Santa Catarina, Brazil).

The dry corn grain used for silage production was analyzed [12], with the following composition (dry matter basis): dry matter (DM): 880 g/kg, crude protein (CP): 856 g/kg, mineral matter (ash): 12 g/kg, NDF: 120 g, ADF: 25 g/kg, ether extract: 31 g/kg, total carbohydrates (TCHO): 863.5 g/kg, and total digestible nutrients (TDN): 730.3 g/kg. Acid whey, chemically evaluated according to the method AOAC [12], presented (dry matter basis) the following composition: DM: 64.4 g/kg; CP: 9.3 g/kg; ash: 4.1 g/kg; and fat: 2 g/kg. Its pH was 4.84, and the pH of lactic acid was 0.34.

Performance variables

To evaluate the performance, the piglets were individually weighed (Balance Mettler Toledo 9091 Scale; United States, EUA) at the beginning of the experiment and at the end of phase. The feed consumption was calculated during the same intervals. The daily weight gain (DWG), daily feed intake (DFI), and feed conversion (FC) were evaluated at the end of phase, considering the total period of the experiment. Diarrhea, depression, and thinness scores were recorded by a single observer trained using direct observation at 5 p.m. on the period total of an experiment. The number of occurrences of medicated animals per treatment were registered during the experiment.

Diarrhea score assessment was performed daily using the method reported by Sobestiansky and Barcellos [15], with the following classification being obeyed: 0, stools of normal consistency; 1, semi-solid; 2, sticky; and 3, aqueous. The number of occurrences score 2, 3 and total was calculated per treatment and diarrhea index and severity were calculated using

the following equations:

$$\text{Diarrhea incidence} = \frac{\text{number of animals with diarrhea score} \geq 2}{\text{number of animals per treatment}}$$

$$\text{Diarrhea severity} = \frac{\text{sum diarrhea scores}}{\text{total number of animals evaluated in days}}$$

During the first two weeks of the experiment, the state of depression and thinness of the piglets were also evaluated. The depression status was assessed based on the clinical signs of the piglets and classified as follows: 0, vivacious, alert, and responsive; 1, standing and isolated, but quickly responding to the stimulus; 2, upright and isolated, with low head and may exhibit muscle weakness and delayed response to the stimulus; 3, depressed, lying down, and reluctant to stand up [16]. In the same period the thinness score was also evaluated based on the clinical observation of the piglets, as follows: 0, normal abdomen, full, and round flanks; 1, small bowel and flat flanks; 2, severely thin and empty flanks [17]. The thinness and depression score was calculated according to the number of occurrences of each score per treatment.

Feed preference test phases and behavioral measures

Piglet feed preference was assessed during two stages. The first was a 10-day restricted phase, of which five days were used to supply CR and another five to supply CGSR+AW. The order that the diets were supplied during the restricted phase was at random. The second phase involved the assessment of preference through free choice, according to the methodology proposed by Fraser and Matthews [18]. During this stage, both diets were provided for six days and the piglets' behaviors were monitored.

The TMR of each diet, represented in Table 1, was provided *ad libitum* according to each phase of the experiment. The TMR was weighed immediately after preparation and

supplied twice a day, at 8 am and 4 pm. The daily feed intake (DFI) was obtained by recording the total feed provided minus the leftovers.

To determine preference during the free-choice phase, the relationship between the reference and test diets was calculated using the following equation [5]:

$$\% \text{ preference} = \frac{\text{Test diet intake}}{(\text{Test diet intake}) + (\text{Reference diet intake})} \times 100$$

where the reference diet refers to the dry corn grain (CR), and the test diet refers to the rehydrated corn grain silage with acid whey (CGSR+AW).

Behavior was recorded by a single observer using direct observation and instantaneous scan sampling at 5-min intervals [19] for two sessions of each 2 h using pen and paper for annotation. The two animals from the experimental units (pairs) were identified with a marker stick. The animals were monitored individually for 16 consecutive days from 8 to 10 am and 4 to 6 pm (for 2 h after feed provision) [20]. Thus, a total of 48 scans per piglet were made per day. For each scan, the following piglet behaviors were recorded and expressed according to the duration in minutes [21]: eating (animal with head over or within the feeder, in the process of chewing, and with feed in the mouth), position of the animal (lying, sitting, or standing), resting (lying down), drinking water (animal in the trough drinking water), and number of visits to the trough (approaching the trough without feed intake). Finally, at the end of the test period, the animals were individually weighed (Balance Mettler Toledo 9091; United States, EUA).

Statistical analysis

Experiment 1

The results were subjected to the analysis of variance (ANOVA), and the means were compared using the Tukey's test and Kruskal-Wallis non-parametric test at 5% significance in the

statistical program RStudio (v. 3.6.0; 2019), with the dbc ExpDes.pt package. The normality of the residues was assessed using the Shapiro-Wilk's test and the homogeneity of variance was assessed using the Anscombe-Tukey test with $p < 0.05$. Data on diarrhea, thinness, depression, and number of medicated animals were compared using the Chi-square test at 5% significance. For the performance data, the following mathematical model was applied:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$$

where,

Y_{ij} = observed response to treatment (i) in block (j),

μ = overall mean,

b_j = effect blocks of each repetition,

t_i = treatment effect, and

e_{ij} = residual error effect.

Experiment 2

The total of 48 scans per piglet (n=20) per day were calculated to the duration for each activity in minutes. The observations total time per day spent on each of behaviors activities was calculated for each pair of weaned piglet, total of 10 pairs. Observations on the total duration for each activity per piglet per day (5 d in the restricted and 6 d in the free-choice phases) were averaged to form a mean value per piglet pair per day for each phase and treatment. These means were subjected to an analysis of variance (ANOVA) and the data normality was verified Shapiro-Wilk test in the statistical program R (version 3.6.0; 2019) with level the significance of $\alpha = 0.05$. For analyses of % preference the means of DFI per pair each diet in free-choice phase were compared with a neutral value of 50% using the Student's t-test in the same program R. Data are presented as the mean \pm standard error.

RESULTS

Experiment 1

Productive performance

No significant difference was observed in the pre-initial phase I ($p > 0.05$) for any of the treatments applied (Table 3). Diarrhea score did not differ among different treatment groups ($p > 0.05$); however, there was a trend ($p = 0.060$) observed in the occurrence and severity of diarrhea (score 3) for the CGSR+W group (with and without additive) (Table 4). For diarrhea score 3 were observed 6 occurrences in the CGSR+W group and 7 occurrences for CGSR+WI, while for the CR group were observed 10 occurrences and 17 of the CGSR+AW. As for the medication of the animals, there was no significant difference between treatments, regardless of the disease diagnosed ($p > 0.05$).

For the thinness score (Table 4), there was a significant difference between different treatment groups ($p < 0.05$), with lower occurrence score of 1 for the CR group and higher for the CGSR+WI group. A severe thinness score 2 was only observed in the CR and CGSR+W groups ($p < 0.05$). For the depression score, most animals, regardless of the feed offered, did not exhibit any degree of this sign; however, for score 3, a significant difference was observed between different treatment groups, with a higher occurrence in the CR and CGSR+W groups.

Experiment 2

Restricted and free-choice phases

The behavioral variables of lying, standing, eating time and DFI differed ($p < 0.05$) during the restricted phase, in which only one of the diets was provided. A higher DFI was observed for the test diet (CGSR+AW) with 649.1 ± 152.7 g of DM compared with 509.7 ± 129.4 g of DM of reference diet (CR) ($p = 0.0086$) (Figure 1a). The longer lying time was observed for D1 with 276.7 ± 48.3 min/d compared with 237.9 ± 44.9 min/d of CGSR+AW ($p = 0.0463$) (Figure

1b). Piglets spent the longer standing time of 74.4 ± 28.1 min/d for CGSR+AW compared with 33.2 ± 23.8 min/d of CR ($p = 0.0001$) (Figure 1c).

The feeding time, drinking water, sitting and visit to the trough there were no significance ($p > 0.05$). The weaned piglets spent feeding 158.9 ± 43.5 min/d for CR and 162.7 ± 38.4 min/d for CGSR+AW ($p = 0.6445$), spent drinking water time of 7.2 ± 6.3 min/d CR and 5.7 ± 6.4 min/d for CGSR+AW ($p = 0.2408$). Weaned piglets spent 0.6 ± 1.6 min/d (CR) and 0.7 ± 2.0 (CGSR+AW) sitting, without effect significance of treatment ($p = 0.7866$). The visit to the trough was observed a time of 0.7 ± 2.3 min/d for both diets ($p = 1.000$).

When offered the free-choice, the feeding time and DFI differed ($p < 0.05$) between the diets, with a longer feeding time and higher consumption for the reference diet (CR). The weaned piglets spent more time consuming the CR with a total of 118.7 ± 60.3 min/d compared with 57.3 ± 37.5 min/d of CGSR+AW ($p = 0.0003$) (Figure 2a) and showed a higher DFI of 761.3 ± 178.1 g of DM for CR ($p = 0.0119$) that CGSR+AW with 592.1 ± 207.4 g of DM (Figure 2b). The preference for CGSR+AW was lower ($p < 0.05$) than the neutral value of 50% (Figure 2) and piglets preferred to consume CR (56.39%) over CGSR+AW ($p = 0.0041$) (Figure 2c).

During this phase, was observed that weaned piglets spent average lying time of 239.4 ± 61.4 min/d and spent standing of 57.9 ± 29.1 min/d. The behaviors of drinking water time were of 8.66 ± 8.6 min/d, sitting 1.25 ± 2.7 min/d and visit to the trough of 0.16 ± 0.9 min/d.

DISCUSSION

Experiment 1

Productive performance

In pre-initial phase I, DWG values obtained (between 160.02 to 210.09 g/d), regardless of the diet provided, were in accordance with the values reported previously in the literature [1, 4] for

the piglets aged from 21 to 32 days. However, there were no significant differences for these parameters, which were also concordant for the FC and WF (Table 3). Therefore, it can be concluded that FC and DFI are influenced by many factors [2, 3], including intrinsic (relative) to the animal itself, which can have limited the identification of significant differences in the statistical tests.

The rations in pre-initial phase I it's necessary to use the high levels of dairy products (totaling 98.5 g/kg lactose) and plasma (50 g/kg), attributes that are known to favor the digestibility of the diet, increase consumption, and improve the immune status [22]. These effects, which may in part have superimposed the expected benefits of diets that were formulated using rehydrated corn silage, possibly justified the lack of advantages of treatments formulated using this ingredient, even with increased starch availability, acid production, and the improvement of organoleptic characteristics, which are known to be present in silage [7, 23]. The piglets fed with rations containing silage in their composition did not differ significantly for DWG; that is, the resources used to rehydrate the corn grain (with water only, acid whey, and with more inoculant water) were not sufficient between theirs to characterize better performance.

Diets formulated with corn grain silage rehydrated with water and/or water combined with inoculant contributed to the preservation of intestinal health, as indicated by the trend ($p = 0.06$) towards a lower number of cases and the severity of diarrhea episodes compared to other treatments (Table 5). For diarrhea score 3 were observed 6 occurrences in the CGSR+W group and 7 occurrences for CGSR+WI, while for the CR group were observed 10 occurrences and 17 of the CGSR+AW. The number of occurrences obtained through daily evaluation per pen and treatment, most of the time it was the same animal that presented the diarrhea score for consecutive days, that is, the number of occurrences in the present study is related to the time that the disease affected the piglets. This fact evidences that the number of piglets with diarrhea

was low when compared to the total of 120 animals used in the experiment and the total of 28 days of evaluation. In addition, it can be seen in table 4 that there was a low evolution from score 2 to 3 in the number of occurrences of these scores.

Diarrhea score results may be related to the inclusion of silage in the diet. The ensiling process, which involves the fractionation and rehydration of the grain, promotes the degradation of prolamines more readily, thereby leading to greater availability of starch, and consequently improve the digestibility of the ingredients [8]. This condition, owing to the fermentation products generated (organic acids) that are inherent to the ensiling process, may improve food preservation, pH stabilization, reduction of buffer capacity, and feed acidification [23]. These factors, may have contributed in favor of the recorded diarrhea rates.

These parameters were identified based on the buffer capacity and low acid pH values of diets formulated with rehydrated corn grain silage (CGSR+W, CGSR+AW, and CGSR+WI) observed in this study (Table 2) compared to the feed based on dry corn grain, which is inferior favoring the positive action in and minimizes the incidence and severity of diarrhea [9]. The CGSR+W presented acid pH values of 5.37 while the CR presented pH values of 6.82. The same behavior of a more acidic diet was observed for CGSR+WI, which included inoculated silage. This diet presented the most acids pH values among all treatments with a pH of 4.98 (Table 2). A more acidic pH in feed consumed by the piglets can exert positive effects on the digestion process, since a reduction in gastric pH can improve the digestion of nutrients and alter the microbial populations in the stomach and other parts of the gastrointestinal tract [9].

At the same time, it is known that at the commercial weaning age, due to a change in diet and the immaturity of the digestive system, the piglets exhibit low secretion of HCl, which compromises stomach acidification [2]. Therefore, maintaining a low gastric pH by offering feed with rehydrated corn grain silage optimizes the digestion of nutrients and prevents pathogen overgrowth. The addition of organic acids to fresh cereals and feed has been used to

benefit the healthy maintenance of the gastrointestinal tract and minimize the cases of diarrhea, with a consequent improvement in the performance of the post-weaning piglets [9]. In the present study, the relationship between organic acids in rations and low incidence of diarrhea in piglets weaned can be applied, since silage has organic acids in its composition (*Supplementary file, Table II*) that can contribute to these positive aspects of intestinal health.

The weakening of fibers (non-starch polysaccharides) through the silage process [7, 23] may also have contributed to the reduction of diarrhea cases, since the insoluble fiber present in greater percentage in the corn grain was weakened, and when included in the diet in place of dry corn grain, it may have favored microbial fermentation in the large intestine more quickly. The use of fiber in post-weaning diets is justified by the modulation of the intestinal microbiota, as the nutritional components of fiber provide substrates for microbial fermentation in the colon and, consequently, the production of short-chain fatty acids, which are rapidly absorbed by the intestinal lumen and promote an increase in the area of absorption and renewal of intestinal epithelial cells, as well as a decrease in pH in the gastrointestinal tract system and improvement [24].

The thinness and depression scores observed in this study are also related to the good health of the piglets during the entire experimental period seen the highest number of occurrences for the score 0 (Table 5), representing evaluation parameters to measure the quality of the diet, health conditions, and the environment in which the piglets were inserted. Depression and thinness scores were observed daily by pen and treatment, and the number of occurrences of these scores is also related to the time that a given disease affected the same piglets. As for the medication of the animals (Table 5), few animals were medicated for pneumonia (cough), arthritis and diarrhea diseases contributing to a higher occurrence of score 0.

For the thinness score, the score 1 which characterizes the piglets with small intestines

and flat flanks, was obtained for the CGSR+WI group may be related to low DFI and DWG of the piglets in this group in pre-initial phase I (Table 4). Furthermore, this result is directly related to the same piglets that were sick, that is, the number of occurrences for score 1 repeated itself while the animal did not show improvement and weight gain. The lowest number of occurrences of score 1 was of CR group, the piglets this group exhibited the second highest DWG among treatments (Table 4). The groups CGSR+W and CGSR+AW, also exhibited lowest number of occurrences for score 1, due to the highest DFI and DWG of piglets.

The severe thinness score 2 observed for the CR and CGSR+W groups is related to specific cases of the piglets that were clinically affected by arthritis, pneumonia, and diarrhea (Table 4), which required more medication and remain ill for a few days of the assessment. Therefore, resulted in compromised weight gain. A few critical cases of thinness were observed (score 2), indicating that for all rations, there was a satisfactory effect on the consumption in the first few days after weaning, especially for the CGSR+WI and CGSR+AW groups, which did not exhibit the occurrence of severe leanness in the piglets ($p < 0.05$).

For the score of depression, in general, the piglets exhibited a higher prevalence of score 0 in relation to the other scores (Table 4), which indicated that most of the piglets, regardless of the treatments, were not in depressed states. The number of occurrences of depression score 3, as observed in the CR group ($p < 0.05$), was identified in the piglets that were depressed, lying down, and reluctant to stand up due to the clinical conditions of arthritis, pneumonia, and diarrhea, in specifically diagnosed and medicated cases. In addition, this number of occurrences is related to the same animals that presented this score on consecutive days of observation, as observed for the thinness score of 2.

A score 3 of depression is related to the animal's general health condition, which restricted its development during the pre-initial phase. It is not uncommon for the post-weaning piglets to exhibit clinical symptoms of arthritis, among other problems, due to the procedures,

such as cutting or wearing teeth, tail sectioning, and surgical castration [25]. These procedures favor the entry of bacteria and increase the incidence of arthritis, thereby leading the animals to exhibit behavioral signs of pain and self-care, such as prostration, longer lying down, and isolation from other animals in the pen. Consequently, loss of productive performance, such as decreased weight gain, which can last up to 70 days after caudectomy [25, 26], is frequently reported.

Experiment 2

Restricted and free-choice phases

The higher DFI was observed for the test diet (CGSR+AW) in restricted phase, which highlighted the greater acceptability of including silage in the diet during the first weeks post-weaning (Figure 1a). According to Solà-Oriol et al [5], diets formulated with ingredients of greater palatability can contribute to post-weaning diet adaptation and to facilitation of feed initiation. This may explain the higher consumption of CGSR+AW during the restricted phase, since the piglets had recently been weaned and were still looking for a moist diet similar to that of the sow's milk. A diversified diet (regarding flavors, textures, and sensory characteristics) may encourage exploratory behavior. While piglets are performing active behavior, over half of the time is spent rooting through the trough and ground to satiate their natural rooting behavior. Therefore, when the diet is diversified, piglets spend more time performing this behavior in the trough and the feed intake consequently increases [4].

The higher CGSR+AW consumption during the restricted phase may be related to the greater availability of starch with content of 704.2 g/kg (*supplementary file, Table II*), which occurred after silage of corn grains, as piglets have a greater acceptability for ingredients with high levels of digestible starch and a high glycemic index [5, 6]. Despite having a mash-like physical and granulometry of 1.5 mm (similar to the dry milled corn grain), the changes

regarding the organoleptic characteristics of the silage, such as the odor, flavor, and texture, may have contributed towards stimulating exploratory behavior and, therefore, increased the feed intake. In addition, the higher glycemic index of CGSR+AW may have influenced the consume, due to the oscillations of high and low blood glucose levels, making the piglets feeding more and reflected in the longer standing time in the restrict phase. Another fact to be considered is the weakening non-starch polysaccharides through the silage process [7, 23] may have contributed to an increase in the passage rate and the piglets were encouraged to forage more frequently, contributing to the food initiation in the first week post-weaned (Figure 1).

Lying down time is an indicator of animal welfare, given that if any discomfort occurs, a change in this behavior will be prompted [18]. Newly-weaned piglets naturally exhibit resting behavior for approximately 18 hours a day. This time can change due to the common stresses prompted by early weaning (21 days old) [30]. During the restricted phase, in which the animals received only one of the diets, the time the piglets spent lying down was greater for CR ($p = 0.0463$) (Figure 1*b*), and the time spent standing was greater for CGSR+AW ($p = 0.0000$) (Figure 1*c*). This behavior may be related to lower index glycemic to the diet CR, contributing for more time of satiated, since the lying behavior is related to the satiety that a given feed can offer. This is because an increase in satiety causes the organism to enter a balance, for which the animal reduces physical activity and alertness to maintain resting behavior [27].

Despite the lack of significance for this variable, we observed that the time spent in taking water was shorter for CGSR+AW during the restricted (7.2 vs.5.7 min/d). This behavior can be partially explained by the characteristics of the diet, which had a higher moisture content. For CR, the higher water intake may be related to the feed consumption, as the diet had a higher DM content, which favors the more frequent search for water. Dry rations, as opposed to wet rations, favor water consumption. Da Silva et al [28] found the same trend in a group of weaned piglets that received dry feed, which exhibited a higher water consumption compared to a group

that received wet feed. The authors concluded that dry rations have a positive effect on water consumption during the first weeks after weaning. However, the moisture content of CGSR+AW may have contributed towards facilitating the feed intake during the first weeks after weaning, due to the increased interest in the feed, without compromising the water intake. The exploratory behavior of the piglets, evaluated by visiting the trough, may explain the equality of this variable for both diets. This behavior is common in pigs, particularly in newly-weaned piglets, who use curiosity as a way of adapting to the environment, diet, and other individuals [4].

Preference tests involve a choice between two or more options by animals, with the preferred option being the one that is selected most frequently, receives the most attention during the available time, or presents the greatest consumption regarding quantity [18]. The daily feed intake of the piglets during the free-choice phase (Fig. 2b) indicates that the DFI of CR (dry corn grain) was significantly higher than that of CGSR+AW (corn grain silage rehydrated with acid whey), which may explain why piglets spent more time eating CR (Figure 2a).

The time the piglets spent eating CGSR+AW to the diet during the free-choice phase may indicate a lower preference by diet test. According to Fraser and Matthews [18], the possibility of offering a choice, regarding the diet or environment, is one of the most appropriate ways to determine the animal's preference, as which option most pleases the animal. Otherwise, during the restricted phase, the higher consumption of ($p < 0.05$) and feeding time CGSR+AW may be related to the difficulty that the piglets experienced when adapting to the dry feed during weaning, beyond to being related to the higher glycemic index offered by this diet, which stimulated greater consumption and consequently more feeding time. According to Bruininx et al [29], newly-weaned piglets can take up to 36 h to start feeding. When piglets are exposed to new feeds, they usually elicit a neophobic response caused by a fear of novelty, which is

reinforced by the new environment. This response causes a reduction in consumption, growth, health, and behavioral changes, which will impact on the animal's welfare [3].

The contrast applied to this experiment was the moisture contents of the diets achieved by adding rehydrated corn grain silage with acid whey to the total ration. The DM value of CGSR+AW (757.6 g/kg) was 162.3 g/kg lower than that of CR (919.9g/kg), which characterizes it as the diet with a higher moisture content. In accordance with our hypothesis, this is a criterion for determining the preference of these piglets for a more humid diet, in addition to offering different palatability characteristics with silage supply. However, the intake-related behaviors observed in the present study demonstrate that piglets preferred to consume CR, with 56.39% of the total intake being of the reference diet (Figure 2). The free-choice phase the preference for CGSR+AW was lower than the neutral value of 50%, which may indicate a lower preference for diets containing corn grain silage rehydrated with acid whey compared to diets with a dry corn grain base (Figure 2c). According to Solà-Oriol et al [5], preference varies between 0 and 100%. A value equal to 50% would indicate that there is no preference for a diet, while a value greater or less than 50% would indicate a significant preference or aversion to a diet, respectively.

Although the preference test makes it possible to assess the animal's choice, the strength of the preference can be assessed through a motivation test, which investigates how much the animal is willing to perform a task to access a resource, being considered the resource as important when the stronger the motivation [18]. In the present study, the strength of preference was not assessed by means of the motivation test, we suggest further investigations to assess how important the dry grain corn or silage diet is for weaned piglets.

During the free-choice phase, the consumption of rehydrated corn grain silage (CGSR+AW), due to its moisture characteristics, may have contributed to the decreased time spent feeding and facilitated ingestion, since wetter diets promote a shorter eating time in pigs

compared to dry diets [26]. The DM content of the diet test (Table 2) was lower (757.6 vs. 919.9 g/kg), which characterizes a higher moisture content in the diet with the inclusion of silage. This indicates that daily feed intake was also influenced at the free-choice phase by ingested volume, being limited by the effect of satiety caused by greater filling of the gastrointestinal tract [27].

Although the test diet composed with silage that is characterized by offer changes regarding the organoleptic characteristics and an improved feed digestibility [23], this may not have been sufficient to determine the feed preference. However, we observed that although the consumption of the diet formulated with the inclusion of CGSR+AW was lower than the reference diet, there was still consumption by piglets. This indicates that there was no aversion to the offered diet. Thus, an important consideration for experiments that measure preference is the opportunity for piglets to choose a diet. During the critical weaning phase, more than one diet can be offered [4] as a way to facilitate feed initiation, stimulate exploratory behavior, and prompt feed intake, as long as the formulation meets the nutritional requirements of piglets and does not interfere with the daily and economic management of the farms.

CONCLUSION

Including corn grain silage rehydrated with water (with or without inoculant) or acid whey in weaned piglet rations helped meet the performance demands in the first few days after weaning (21 to 32 days of age). The effectiveness of rations, including corn grain silage rehydrated with water with or without inoculant, in controlling the occurrence and severity of diarrhea ensures the possibility of replacing dry corn grain in piglet rations after the first few post-weaning days.

Piglets spent more time feeding and a higher DFI of diet based on dry corn grain when provided access to diet free-choice, with higher preference for reference diet (dry corn grain). The weaned piglet's greater acceptability of rehydrated corn grain silage in the first weeks post-

weaning in the restrict phase. Additionally, as the first study to supply rehydrated corn grain silage to piglets during the post-weaning phase, we conclude that the diversity of diet with rehydrated corn grain silage exerted a considerable influence on feeding initiation.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the postgraduate program in Animal Science of the State University of Londrina (UEL, Londrina, Brazil) and the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES, Brasília, Brazil) for granting a scholarship. This research did not receive any specific funding.

DISCLOSURE STATEMENT

The authors have declared that no competing interests exist.

REFERENCES

- [1] Villagómez-Estrada S, Pérez JF, van Kuijk S, Melo-Durán D, Karimirad R, Solà-Oriol D. Dietary preference of newly weaned pigs and nutrient interactions according to copper levels and sources with different solubility characteristics. *Animals* 2020;10:1133. <https://doi.org/10.3390/ani10071133>
- [2] Heo JM, Opapeju FO, Pluske JR, Kim JC, Hampson DJ, Nyachoti CM. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhea without using in-feed antimicrobial compounds. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2013;97:207–237. doi: 10.1111/j.1439-0396.2012.01284.x
- [3] Oostindjer M, Kemp B, van den Brand H, Bolhuis JE. Facilitating ‘learning from mom how to eat like a pig’ to improve welfare of piglets around weaning. *Appl Anim Behav Sci* 2014;160:19–30. doi: 10.1016/j.applanim.2014.09.006
- [4] Middelkoop A, van Marwijk MA, Kemp B, Bolhuis JE. Pigs like it varied; feeding behavior

and pre- and post-weaning performance of piglets exposed to dietary diversity and feed hidden in substrate during lactation. *Front Vet Sci* 2019;6:408. doi: 10.3389/fvets.2019.00408

[5] Solà-Oriol D, Roura E, Torrallardona D. Use of double-choice feeding to quantify feed ingredient preferences in pigs. *Livest Sci* 2009;123:129-137. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.10.015>

[6] Solà-Oriol D, Roura E, Torrallardona D. Feed preference in pigs: Relationship between cereal preference and nutrient composition and digestibility. *J Anim Sci* 2014;92:220-228. doi: 10.2527/jas.2013-6791

[7] Kanengoni AT, Chimonyo M, Ndimba BK, Dзамad K. Feed preference, nutrient digestibility and colon volatile fatty acid production in growing South African indsnyer-type indigenous pigs and Large White×Landrace crosses fed diets containing ensiled maize cobs. *Livest Sci* 2015;171:28-35. doi: 10.1016/j.livsci.2014.10.018

[8] Rezende AV, Rabelo SHC, Veiga MR et al. Rehydration of corn grain with acid whey improves the silage quality. *Anim Feed Scie Technol* 2014;197:213–221. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.07.009

[9] Suiryanrayna MV, Ramana J. A review of the effects of organic acids in swine feed. *J Anim Sci Biotechnol* 2015;6:45. doi: 10.1186/s40104-015-0042-z

[10] Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais 4ª edição. Viçosa, Minas Gerais, Brasil; 2017.

[11] Silva MAA, Furlan AC, Moreira I, Paiano D, Jobim CC, Barcellos LCG. Nutritional evaluation of dry grain and silage of higher oil corn on growing - finishing pigs feeding. *R Bras Zootec* 2006;35:830-339. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000300028>

[12] AOAC Internacional. Association of Official Analytical Chemists Official methods of analysis. 17ª edition. Arlington, VA; 2000.

- [13] Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;74:583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
- [14] Playne MJ, McDonald P. The buffering constituents of herbage and of silage. *J Sci Food Agric* 1966;17:264-268. doi: 10.1002/jsfa.2740170609
- [15] Sobestiansky J, Barcellos DESN. Monitoramentos clínicos. In: J. & Barcellos D.E.S.N. (Eds). *Doenças dos suínos*. Goiânia: Cãnone; 2007. p. 723-726.
- [16] Rossi L, Turin L, Alborali GL, et al. Translational approach to induce and evaluate verocytotoxic e. Coli o138 based disease in piglets. *Animals*, 2021;11:2415. doi:10.3390/ani11082415
- [17] Spiels MJ, Shurson GC, Johnston LJ. Effects of two direct-fed microbials on the ability of pigs to resist an infection with *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *J Swine Health Prod*, 2008;16:27–36.
- [18] Fraser D, Matthews LR. Preference and motivation testing. In: APPLEBY, M. C., HUGHES, B. O. *Animal Welfare*. Wallingford, UK: CAB International; 1997. p. 159–173.
- [19] Altmann J. Observational study of behaviour: sampling methods. *Behaviour* 1974;49:227-267.
- [20] Oliveira GF, Caldara RF, Garcia RG, et al. Different intervals of behavioral observation in the scanning method and the real behavior of pigs. *R Bras Zootec* 2018;47:e20180016. <https://doi.org/10.1590/rbz4720180016>
- [21] Martin P, Bateson PPG *Measuring Behaviour: An introductory guide*. 2^a edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK; 1993. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139168342>
- [22] Dalto DB, Gavioli DF, Oliveira ER, et al. Efeito de dietas contendo plasma sanguíneo desidratado sobre características microbiológicas, imunológicas e histológicas de leitões leves

ao desmame. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2013;65:189-197. doi: 10.1590/S0102-09352013000100028

[23] Kung Júnior L, Shaver RD, Grant RJ, Schmidt RJ. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J Dairy Sci* 2018;101:4020-4033. Doi: 10.3168/jds.2017-13909

[24] Jha R, Fouhse JM, Tiwari UP, Li L, Willing BP. Dietary Fiber and Intestinal Health of Monogastric Animals. *Front Vet Sci* 2019;6:1-12. doi: 10.3389/fvets.2019.00048

[25] Nannoni E, Valsami T, Sardi L, Martelli G. Tail docking in pigs: a review on its short and long-term consequences and effectiveness in preventing tail biting. *Ital J Anim Sci* 2014;13:98-106. doi: 10.4081/ijas.2014.3095

[26] Zoric M, Schmidt U, Wallenbeck A, Wallgren P. Lameness in piglets-should pain killers be included at treatment? *Porcine Health Manag*, 2016;2. DOI:10.1186/s40813-016-0022-5.

[27] De Leeuw JA, Bolhuis JE, Bosch G, Gerrits WJJ. Effects of dietary fibre on behaviour and satiety in pigs. *Proc Nutr Soc* 2008;67:334-342. doi: 10.1017/S002966510800863X.

[28] Da Silva AC, Kronka NR, Thomaz CM, Kronka NS, Soto CW, Carvalho EL. Rações úmidas e água de consumo e ração com edulcorante para leitões desmamados aos 21 dias e efeitos sobre o desempenho até os 90 kg de peso vivo. *Cienc Rural* 2002;32:681-686. doi: 10.1590/S0103-84782002000400022

[29] Bruininx EM, Schellingerhout AB, Binnendijk GP et al. Individually assessed creep feed consumption by suckled piglets: influence on post-weaning food intake characteristics and indicators of gut structure and hind-gut fermentation. *Anim Sci* 2004;78:67-75. <https://doi.org/10.1017/S1357729800053856>

[30] Hessel E, Reiners K, Van den Weghe HA. Socializing piglets before weaning: Effects on behavior of lactating sows, pre-and post-weaning behavior, and performance of piglets. *J Anim Sci* 2006;84:2847-2855. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-606>

Table 1. Formulation of experimental diets using dry corn grain and corn grain silage rehydrated

Ingredients (%)	Pre-initial phase I (21 to 32 days)
Dry corn grain (8,7% CP)	57.0120
Soybean meal (47% CP)	11.1522
Whey powder	14.0000
Star pro 25 (Auster)	8.0000
Concentrated soy protein	1.1045
Blood plasma	5.0000
Calcareous	0.2963
Bicalcium phosphate	1.3437
L-lisine hydrochloride	0.6628
Zinc oxide	0.3000
L-threonine, 98%	0.2271
DL-methionine	0.3747
L-tryptophan	0.0578
Antioxidant (Banox)	0.0100
Adsorber	0.1500
Salt	0.0587
Vitamin premix ¹	0.1500
Mineral premix ²	0.1000
Total	100.00
Nutritional levels	
Protein (%)	19.00
Fat (%)	4.59
Calcium (%)	0.91
Available phosphorus (%)	0.46
Metabolizable energy (Kcal/kg)	3403
Digestible lysine (%)	1.45
Total lactose (%)	9.85
Digestible methionine + cystine (%)	0.81
Digestible threonine (%)	0.97
Digestible tryptophan (%)	0.28
Mineral matter (%)	6.45

¹ Níveis por kg de produto Vitamin Premix: vitamin A (min) 6.000 UI; vitamin D3 (min) 1.500 UI; vitamin E (min) 15.000 mg; vitamin K3 (min) 1.500 mg; vitamin B1 (min) 1,350 mg; vitamin B2 4.000 mg; vitamin B6 2,000 mg; vitamin B12 (min) 20 mg; niacina (min) 20.000 mg; ido pantotico (min) 9,350 mg; ácido fólico (min) 600 mg; biotina (min) 80 mg; selênio (min) 300 mg.

² Níveis por kg de produto Mineral Premix: ferro (min) 100 mg; cobre (min) 10 mg; manganês (min) 40 g; cobalto (min) 1.000 mg; zinco (min) 100 mg; iodo (min) 1.500 mg.

Table 2. Chemical composition (mean \pm SE) of the experimental diets fed to the weaned piglets

Nutrients (g/kg DM)	Treatments			
	CR ¹	CGSR+W	CGSR + WI	CGSR +AW ²
	Pre-initial phase I (21 to 32 days)			
DM	919.9 \pm 0.11	743.4 \pm 0.13	749.4 \pm 0.08	757.6 \pm 0.08
OM	945.9 \pm 0.10	953.9 \pm 0.03	953.1 \pm 0.02	956.7 \pm 0.16
Ash	54.1 \pm 0.10	46.1 \pm 0.03	46.9 \pm 0.02	43.3 \pm 0.16
CP	169.7 \pm 0.59	204.9 \pm 1.69	193.7 \pm 0.10	185.2 \pm 0.25
EE	54.3 \pm 1.96	36.3 \pm 0.003	43.4 \pm 0.21	36.2 \pm 0.05
NDF	76.2 \pm 0.75	84.4 \pm 0.59	62.5 \pm 0.42	85.9 \pm 0.14
ADF	16.4 \pm 0.20	18.7 \pm 0.09	16.1 \pm 0.25	19.6 \pm 0.03
Lignin	02.0 \pm 0.14	02.4 \pm 0.08	02.0 \pm 0.03	03.9 \pm 0.22
TCHO	755.2 \pm 0.50	712.6 \pm 1.72	731.6 \pm 1.23	735.3 \pm 0.39
TDN	649.9 \pm 0.71	696.7 \pm 1.49	669.0 \pm 3.03	649.4 \pm 0.50
N-NH ₃ (g/kg nitrogênio total)	00.2 \pm 0.001	00.3 \pm 0.001	00.3 \pm 0.002	00.3 \pm 0.001
BC (e.mg/100g DM)	21.12	23.52	24.18	24.15
pH	6.82	5.37	4.98	5.36

DM, Dry matter (% of natural matter); OM, Organic matter; Ash, Mineral matter; CP, Crude protein; CE, Crude energy; EE, Ether extract; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; TCHO, Total carbohydrates; TDN, Total digestible nutrients; N-NH₃, ammoniacal nitrogen (g/kg of total nitrogen); BC, Buffering Capacity (e.mg/100g DM); CR, control ration; CGSR+W, corn grain silage rehydrated with water; CGSR+WI, corn grain silage rehydrated with water combined with inoculant; CGSR+AW, corn grain silage rehydrated with acid whey.

¹Reference test = dry corn grain (CR); ²Test diet = corn grain silage rehydrated with acid whey (CGSR +AW).

Table 3. Performance of piglets weaned fed with diets with the inclusion of corn grain silage rehydrated

Variables ¹	Treatments				P-value
	CR	CGSR+W	CGSR+WI	CGSR+AW	
Pre-initial phase I (21 to 32 d)					
IW (kg)	6.04±0.76	6.04±0.77	6.02± 0.76	6.03±0.75	0.9995
DFI (g/d DM)	231.90±0.06	279.26±0.07	234.37±0.05	240.30±0.05	0.2746
DWG (g/d)	175.61±0.07	210.09 ±0.07	160.02±0.05	174.25±0.03	0.3002
FC	1.42±0.38	1.36±0.13	1.51±0.17	1.38±0.06	0.3896
WF (kg)	7.97±0.95	8.35± 1.47	7.78±1.11	7.95 ±0.90	0.8465

^[1] IW, Initial weight (kg); DFI, daily feed intake; DWG, daily weight gain; FC, feed conversion; WF, weight final. CR, control ration; CGSR+W, corn grain silage rehydrated with water; CGSR+WI, corn grain silage rehydrated with water combined with inoculant; CGSR+AW, corn grain silage rehydrated with acid whey.

Table 4. Number of occurrences and score of diarrhea, the rate of incidence, and severity of diarrhea; number of animals medicated with injectable products, according to the diagnosed diseases; number of occurrences of thinness score and depression score in the total evaluation period

Parameters ¹	Treatments ²				P-value
Diarrhea score (n)	CR	CGSR+W	CGSR+WI	CGSR+AW	
2	33	30	42	40	0.445
3	10	6	7	17	0.060
Total	43	36	49	57	0.160
Incidence	1.43	1.20	1.63	1.90	-
Severity	0.33	0.20	0.23	0.57	-
Medications (n)					
Pneumonia (cough)	2	2	1	2	0.934
Arthritis	2	3	2	0	0.283
Diarrhea	1	0	1	3	0.438
Thinness score (n)					
0	135	125	117	132	0.679
1	28b	39ab	53a	38ab	0.045
2	7a	6a	0b	0b	0.004
Depression score (n) ³					
0	148	158	163	159	0.855
1	10	9	6	10	0.746
2	3	0	1	1	0.284
3	9a	2b	0b	0b	0.000

¹Diarrhea score: 2, sticky; 3, aqueous; Thinness score: 0, normal abdomen, full, and round flanks; 1, small bowel and flat flanks; 2, severely thin and empty flanks. Depression score: 0, vivacious, alert, and responsive; 1, standing and isolated, but quickly responding to the stimulus; 2, upright and isolated, with low head and may exhibit muscle weakness and delayed response to the stimulus; 3, depressed, lying down, and reluctant to stand up. (n): number of occurrences for each score

²CR, control ration; CGSR+W, corn grain silage rehydrated with water; CGSR+WI, corn grain silage rehydrated with water combined with inoculant; CGSR+AW, corn grain silage rehydrated with acid whey^{a,b} Different mean in the lines indicate difference by the Chi-square test applied at a significance level of 5%.

Figure 1 Results from the restricted phase of the experiment. Mean (\pm SD) daily feed intake (g of DM) (A), and time that weaned piglets (n=20) (min/d) spent lying (B) in the standing (C) of the 2 diets D1= dry corn grain or D2 = rehydrated corn grain silage (P < 0.05 for all 3 comparisons).

Figure 2 Results from the free-choice phase of the experiment. Mean (\pm SD) that weaned piglets (n=20) spent feeding time (min/d) (A), daily feed intake (g of DM) (B) and % of preference (C) of the 2 diets D1 = dry corn grain or D2 = rehydrated corn grain silage (P < 0.05 for all 3 comparisons).

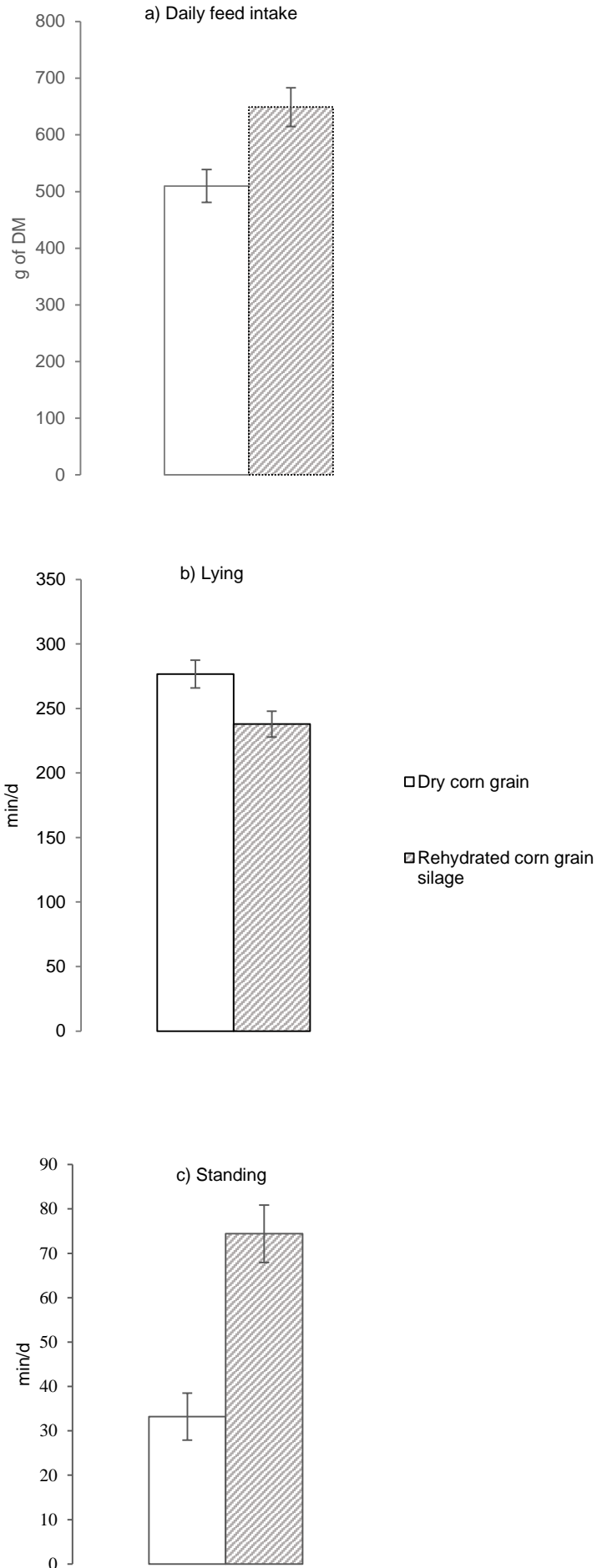


Figure 1

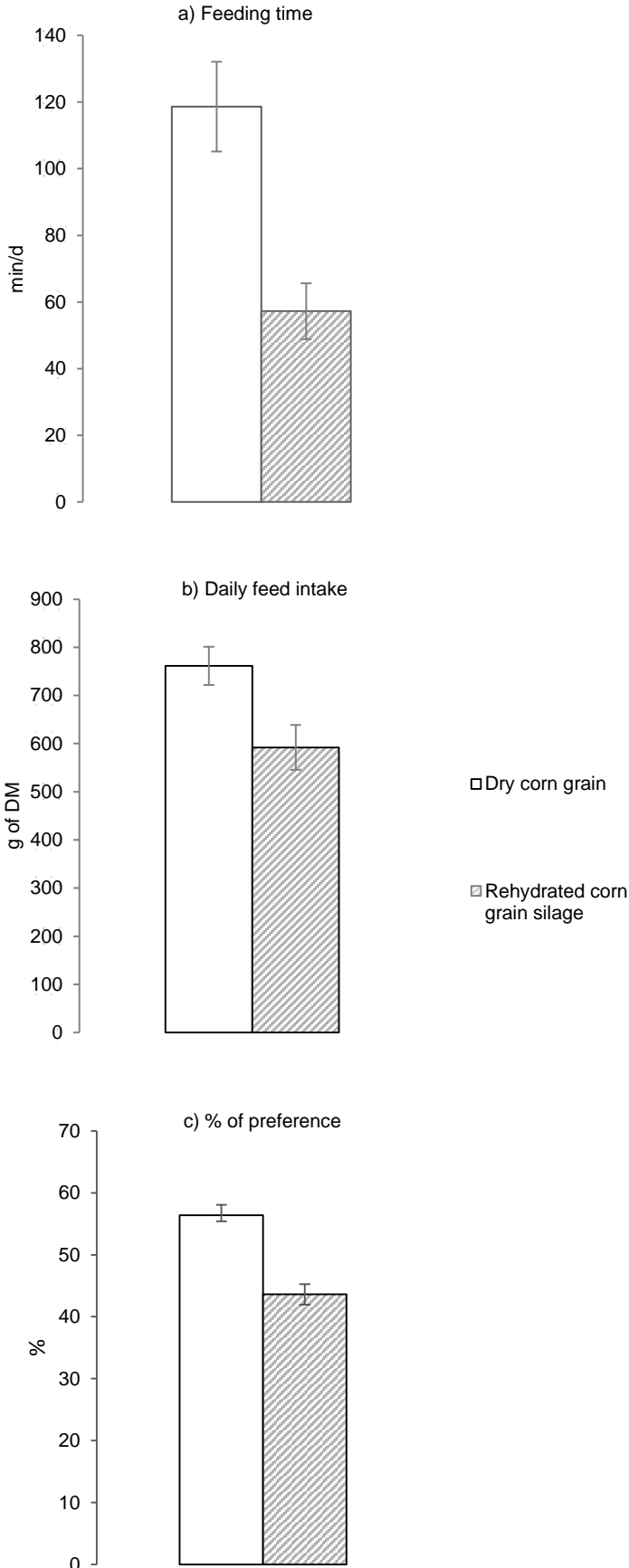


Figure 2

ARQUIVOS SUPLEMENTARES

Table I. Chemical composition (mean \pm SE) of silages (% DM) fed to the weaned piglets

Variables ¹	Pre-initial phase I (21 to 32 d)		
	CGSR+W	CGSR+WI	CGSR+AW
DM	663.1 \pm 0.06	677.3 \pm 0.78	709.9 \pm 0.02
OM	989.6 \pm 0.03	987.8 \pm 0.12	980.7 \pm 0.48
Ash	10.4 \pm 0.03	12.2 \pm 0.12	19.3 \pm 0.48
CP	99.0 \pm 0.14	104.7 \pm 0.13	102.3 \pm 0.27
EE	34.5 \pm 0.12	40.9 \pm 0.10	30.5 \pm 0.18
NDF	89.4 \pm 1.42	91.7 \pm 0.83	94.6 \pm 0.27
ADF	17.6 \pm 0.12	21.9 \pm 0.20	21.2 \pm 0.07
Lig	01.4 \pm 0.01	02.2 \pm 0.01	09.4 \pm 0.01
TCHO	856.1 \pm 0.16	842.3 \pm 0.02	847.9 \pm 0.73
TDN	766.7 \pm 1.49	750.5 \pm 0.81	753.3 \pm 0.73
N-NH ₃	00.5 \pm 0.001	00.4 \pm 0.005	00.3 \pm 0.004
BC	15.10	22.54	24.04
pH	4.14	3.89	4.17

^[1]DM, Dry matter (% of natural matter); OM, Organic matter; Ash, Mineral matter; CP, Crude protein; EE, Ether extract; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber; Lig, lignin; TCHO, Total carbohydrates; TDN, Total digestible nutrients; N-NH₃, ammoniacal nitrogen (g/kg of total nitrogen); BC, Buffering Capacity (e.mg/100g DM); CGSR+W, corn grain silage rehydrated with water; CGSR+WI, corn grain silage rehydrated with water combined with inoculant; CGSR+AW, corn grain silage rehydrated with acid whey.

Table II. Chemical-fermentative quality of silages determined using the NIRS system

Variables ¹ (g/kg DM)	CGSR+W	CGSR+WI	CGSR+AW
DM (g/kg of NM)	683.3	673.1	664.9
Moisture	316.7	326.9	335.1
CP	91.6	92.3	92.9
Protein soluble g/kg CP	466.8	467.9	443.8
Protein available	90.8	91.7	92.1
ADIP	00.8	00.7	00.8
NDIP	03.0	02.7	02.5
ADIP g/kg CP	08.5	07.2	08.8
ADF	29.8	29.4	29.7
NDF	87.9	82.3	79.6
aNDFmo	81.5	77.2	73.2
Lignin	05.0	04.9	05.0
Lignin g/kg NDF	56.7	60.0	62.4
Sugars (Carbohydrates soluble in water)	44.1	49.5	48.4
Starch	710.0	705.7	704.2
Starch g/kg NFC	917.3	909.3	902.7
Lipids	32.2	34.9	32.8
Ash	17.4	17.2	17.0
Calcium	00.5	00.5	00.5
Phosphorus	02.1	02.1	02.0
Potassium	03.8	03.9	03.7
Magnesium	00.9	00.9	00.8
Sulfur	00.8	00.9	00.9
Lactic acid	22.3	25.3	20.6
Acetic acid	01.6	02.1	01.4
Protein equivalent of N-NH ₃	02.3	02.4	02.5
N-NH ₃ (g/kg da CP)	24.8	25.6	26.9
pH	4.42	3.77	4.33
Kd of starch (using 3.7 h) %h	15.44	15.01	14.46

^[1] Variables: DM, Dry matter (% of natural matter); CP, crude protein; ADIP, acid detergent insoluble protein; NDIP, Neutral detergent insoluble protein; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber; aNDFmo, neutral detergent fiber with amylase and expressed excluding residual ash; N-NH₃, ammoniacal nitrogen. Kd, Fractional rate of degradation. Analyses determined by the laboratory 3rLab

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A reidratação do grão de milho com o coproduto soro de leite fluido apresenta-se como fonte alternativa ao uso da água para ensilagem, com efeito positivo na qualidade química, no perfil fermentativo e na estabilidade aeróbia da silagem.
- A silagem de grão de milho reidratado com soro de leite é uma estratégia alternativa ao uso da água para reidratar os grãos, e atende de forma semelhante aos padrões de performance previstos dos leitões nos primeiros dias pós-desmame durante a fase pré-inicial I. A silagem de grão de milho reidratado com água ou água e inoculante como ingrediente na dieta de leitões desmamados tem a habilidade de minimizar os quadros de diarreia e sua severidade.
- A silagem de grão de milho reidratado com soro de leite teve maior aceitabilidade pelos leitões nas primeiras semanas após o desmame. Leitões alimentados com grão de milho seco tiveram maior comportamento de repouso durante a fase restrita e maior tempo de alimentação e de consumo na fase de livre escolha. Os leitões preferiram consumir grãos de milho secos em vez da silagem de grãos de milho reidratados na fase pré-inicial I.