

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

EFEITO DE MATURIDADE E DOSE DE NITRITO DE SÓDIO E
HEXAMINA NA CONSERVAÇÃO DA SILAGEM DE CAPIM-
MOMBAÇA

Autora: Andresa de Moraes

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Pratti Daniel

MARINGÁ
Estado do Paraná
Fevereiro – 2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

EFEITO DE MATURIDADE E DOSE DE NITRITO DE SÓDIO E
HEXAMINA NA CONSERVAÇÃO DA SILAGEM DE CAPIM-
MOMBAÇA

Autora: Andresa de Moraes

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Pratti Daniel

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de Concentração Produção Animal.

MARINGÁ

Estado do Paraná

Fevereiro – 2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

M828e

Moraes, Andresa de

Efeito de maturidade e dose de nitrito de sódio e hexamina na conservação da silagem de capim-Mombaça / Andresa de Moraes. -- Maringá, PR, 2022.
64 f.figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Pratti Daniel.

Coorientador: Prof. Dr. Cloves Cabreira Jobim.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2022.

1. Conservação de forragem. 2. Aditivos químicos. 3. Capim tropical. I. Daniel, João Luiz Pratti, orient. II. Jobim, Cloves Cabreira, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 23.ed. 636.2



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

EFEITO DE MATURIDADE E DOSE DE NITRITO DE SÓDIO
E HEXAMINA NA CONSERVAÇÃO DA SILAGEM DE
CAPIM MOMBAÇA

Autora: Andresa de Moraes
Orientador: Prof. Dr. João Luiz Pratti Daniel

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADA em 24 de fevereiro de 2022.

Prof. Dr. Luiz Gustavo Nussio

Profª Drª Maity Zopollatto

Prof. Dr. João Luiz Pratti Daniel
Orientador

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota”.

Theodore Roosevelt

A Deus pelo dom extraordinário da vida, ao meu pai André Cardoso de Moraes, e especialmente à minha mãe Rosemary Marinozzi de Moraes, que sempre me incentivou, compreendeu e orientou durante toda minha trajetória, e aos meus verdadeiros amigos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir presenciar este momento único e por sempre me dar forças e nunca me desamparar.

À Universidade Estadual de Maringá (UEM), e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia pela oportunidade de realizar este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador Dr. João Luiz Pratti Daniel, por todo ensinamento compartilhado, apoio, conselhos, estímulos e acreditar no meu potencial, sempre me fazendo ser uma melhor pessoa e profissional.

Ao professor Dr. Clóves Cabreira Jobim e todos os amigos do Grupo de Estudo em Silagem e Feno (GESF), em especial aos colegas de pós-graduação Camila, Francisco, Janaina, Sillas e Matheus, por todo companheirismo, e aos graduandos Pâmela, Regina, Isabel, Sara por todo apoio, carinho, amizade e ajuda prestada, vocês foram essenciais.

Aos funcionários da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), Célio e Wilson por toda a ajuda na realização do trabalho a campo. E, também aos funcionários do Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal (LANA), Osvaldo e Ulisses, pela ajuda e apoio e ensinamento na condução das análises químicas.

Aos meus pais André e Rosemary, por toda força durante estes anos, pois sem eles nada seria possível. À minha irmã Jéssica Letícia, ao meu cunhado Paulo e avó Maria Zelinda, que sempre me deram apoio em tudo o que fosse preciso. As minhas tias Léia e

Lucilene, que sempre fizeram o possível para me ajudar. Aos familiares que estiveram presentes, por todo amparo e ternura durante essa caminhada.

Às minhas amigas Larissa e Micaelli, pela amizade, carinho e companheirismo durante essa trajetória.

Meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

ANDRESA DE MORAES, filha de André Cardoso de Moraes e Rosemary Marinozzi de Moraes, nasceu na cidade de Maringá, Paraná, no dia 9 de novembro de 1997. Iniciou a graduação em Zootecnia no ano de 2015, pela Universidade Estadual de Maringá. Em fevereiro de 2020, obteve o título de “Zootecnista” pela mesma instituição. Em março de 2020 iniciou no curso de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, em nível de Mestrado, área de concentração Produção Animal, realizando estudos sobre Conservação de Forragens e Nutrição de Ruminantes. Em fevereiro de 2022, submeteu-se à banca examinadora para defesa da dissertação.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	14
INTRODUÇÃO.....	16
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
1.1 Silagem de capim.....	17
1.2 Aditivos químicos melhoradores de fermentação em silagens.....	19
1.2.1 Nitrito de sódio.....	20
1.2.2 Hexamina.....	22
1.3 Combinação de nitrito de sódio e hexamina.....	22
1.4 Maturidade e coeficiente de fermentabilidade de capins tropicais.....	23
2 Referências.....	24
II. Efeito de maturidade e dose de nitrito de sódio e hexamina na conservação da silagem de capim-Mombaça.....	32
RESUMO.....	33
INTRODUÇÃO.....	35
MATERIAL E MÉTODOS.....	36
<i>Ensilagem e tratamentos</i>	36

<i>Ensaio de estabilidade aeróbia</i>	38
<i>Análises químicas</i>	38
<i>Contagens de microrganismos</i>	41
<i>Análise estatística</i>	42
RESULTADOS	42
<i>Características do capim-Mombaça</i>	42
<i>Fermentação e estabilidade aeróbia das silagens</i>	43
<i>Composição química e digestibilidade das silagens</i>	45
DISCUSSÃO.....	48
<i>Características do capim-Mombaça</i>	48
<i>Fermentação e estabilidade aeróbia das silagens</i>	50
<i>Composição química e digestibilidade das silagens</i>	52
CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Composição química e contagem microbiana do capim-Mombaça fresco colhido com 5 ou 10 semanas de maturidade (n = 4)	60
Tabela 2. Perfil de fermentativo da silagem de capim-Mombaça colhido com 5 ou 10 semanas de maturidade (n = 4)	61
Tabela 3. Composição química da silagem de capim-Mombaça colhidas com 5 ou 10 semanas de rebrota (n = 4)	64

LISTA DE FIGURAS

Página

Fig. 1. Desenvolvimento do pH em silagem de capim-guiné durante exposição aeróbia por 10 dias.....	63
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RESUMO

Frequentemente os teores de matéria seca e de carboidratos solúveis aumentam com o avanço da maturidade em capins utilizados para ensilagem. Consequentemente, o potencial de ensilabilidade deve aumentar com a maturidade, possibilitando reduzir a dose necessária de aditivo para restringir o crescimento de microrganismos indesejáveis durante a fermentação. O objetivo deste estudo é verificar se a dose de aditivo contendo nitrito de sódio e hexamina interage com a maturidade do capim-Mombaça para alterar a conservação e o valor nutricional da silagem. Um campo de capim-Mombaça (3 ha) dividido em quatro blocos, cada bloco com duas parcelas, foi roçado para padronização. Após cinco semanas, uma parcela de cada bloco foi roçada novamente para estabelecer o gradiente de maturidade. Dez semanas após o corte de padronização, os capins com 5 e 10 semanas de rebrota foram colhidos manualmente para o experimento (aprox. 30 kg/parcela). O capim de cada parcela foi picado e dividido em 3 montes, totalizando 24 montes, como resultado da combinação de quatro blocos, duas maturidades e três tratamentos com aditivos. Os tratamentos foram os seguintes: controle (sem aditivo), dose baixa de nitrito de sódio (0,5 g/kg) + hexamina (0,325 g/kg) (NHB) e dose alta de nitrito de sódio (1 g/kg) + hexamina (0,65 g/kg) (NHA). Após 90 dias de armazenamento os silos foram abertos e as silagens amostradas para determinação de perdas fermentativas, contagens de microrganismos, produtos de fermentação, estabilidade aeróbia e valor nutricional. Os dados foram analisados pelo procedimento MIXED do SAS considerando um delineamento em blocos ao acaso. Embora a interação entre maturidade e dose de aditivo foi observada para diversas variáveis, o aditivo aplicado em dose adequada (NHA) foi capaz de reduzir o desenvolvimento de clostrídios, resultando em menores concentrações de amônia, ácido butírico, menores contagens de esporos de clostrídios e

menores perdas de matéria seca durante a fermentação, em ambas as maturidades. Colher o capim mais maduro não possibilitou reduzir a dose de aditivo pela metade, enquanto diminuiu bruscamente o valor nutritivo das silagens.

Palavras-chave: aditivo químico, capim tropical, clostrídio, fermentação, *Megathyrus maximus*.

ABSTRACT

Frequently, dry matter and soluble carbohydrates contents increase with grass maturity. Consequently, the ensilability potential might increase with maturity stage, reducing the required dose of silage additive to prevent the development of undesirable microorganisms during silage fermentation. The objective of this study was to verify if the additive dose containing sodium nitrite and hexamine interacts with Mombasa grass maturity to alter silage conservation and nutritive value. A Mombasa grass field (3 ha) was mowed and divided into four blocks with two plots in each block. After five weeks, one plot of each block was mowed again to establish the maturity gradient. Ten weeks after the first mowing, the grass with 5 and 10 wk of regrowth was manually harvested and used for the trial (approx. 30 kg of grass per plot). The grass from each plot was chopped and divided into 3 piles, totalizing 24 piles, as result of four blocks, two maturities, and three additive treatments. Silage additive treatments were as follows: control (without additive), low dose of sodium nitrite (0.5 g/kg) + hexamine (0.325 g/kg) (NHB), and high dose of sodium nitrite (1 g/kg) + hexamine (0.65 g/kg) (NHA). After 90 d of storage, the silos were opened and silages sampled for determination of fermentative losses, microbial counts, fermentation end-products, aerobic stability, and nutritional value. Data were analyzed using the MIXED procedure of SAS considering a randomized block design. Although the interaction between maturity and additive was significant for several variables, the application of additive in adequate dose (NHA) was able to reduce *Clostridium* development, resulting in lower ammonia and butyric acid concentrations, less *Clostridium* spores, and lower dry matter losses during fermentation, in both maturities. Harvesting mature grass did not turn possible to reduce the dose of additive by half, while markedly reduced silage nutritive value.

Key words: chemical additive, clostridia, fermentation, *Megathyrus maximus*, tropical grass.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a silagem de capim (tropical) está entre os principais volumosos utilizados em sistemas de produção de gado de corte (Pinto e Millen, 2016) e de leite (Bernardes e Do Rêgo, 2014). As gramíneas tropicais apresentam elevada produção de matéria seca por hectare, que pode ser aproveitada na forma de silagem para utilização na época de escassez de alimento ou em sistemas confinados (Vasconcelos et al., 2009). No entanto, as gramíneas tropicais apresentam baixo teor de matéria seca, alto poder tampão e baixo teor de carboidratos solúveis nos estádios de crescimento em que apresentam bom valor nutritivo, colocando em risco o processo de conservação por meio da ensilagem, por causa da possibilidade de fermentações secundárias indesejáveis, como por exemplo, o crescimento de clostrídios (Reis e Coan, 2001; Nussio et al., 2002; Evangelista et al., 2004).

No intuito de reduzir perdas, por modificação do processo fermentativo e da estabilidade aeróbia das silagens, várias substâncias, orgânicas ou inorgânicas, bióticas ou abióticas, têm sido estudadas como aditivos de silagens. No mercado mundial de silagens, os aditivos mais importantes são os inoculantes microbianos e os compostos químicos (Kung Jr. et al., 2003).

Os aditivos químicos são classificados de acordo com seus efeitos inibitórios nos microrganismos indesejáveis, com o intuito de melhorar a fermentação e/ou a estabilidade aeróbia. Para silagens de capins, além dos produtos contendo ácido fórmico, os aditivos à base de sais têm sido adotados em vários países europeus desde os anos de 1980. Uma das formulações bem estabelecidas no mercado Europeu é composta de nitrito de sódio e hexamina (hexametenotetramina). O efeito geral dessa combinação é causado pela inibição de clostrídios e seus esporos pelo nitrito e seus produtos de decomposição, óxidos nítricos, durante as fases iniciais da fermentação e, posteriormente, pela liberação de

formaldeído a partir da hexamina em pH baixo (Auerbach e Nadeau, 2019). Em capins tropicais, Gomes et al. (2021) demonstraram que a combinação de nitrito de sódio (1 g/kg; NIT) e hexamina (0,65 g/kg; HEX) foi eficiente para inibir o desenvolvimento de clostrídios, reduzir perdas fermentativas e melhorar o valor nutricional da silagem de capim-Mombaça. Entretanto, não se conhece o efeito da dose do aditivo contendo NIT+HEX e se a dose de NIT+HEX interage com a maturidade do capim para afetar o processo de fermentação.

Então, o objetivo deste trabalho é verificar se a dose de aditivo NIT+HEX interage com a maturidade para alterar a conservação e o valor nutricional da silagem de capim-Mombaça. A hipótese é que o coeficiente de fermentabilidade deve aumentar com a maturidade, e que a dose de aditivo possa ser diminuída para o capim colhido com 10 semanas de rebrota, mas não para o capim colhido com 5 semanas de rebrota.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Silagem de capim

O Brasil é um país tropical, caracterizado por médias anuais de temperaturas elevadas na maior parte do território e, portanto, favorável ao cultivo de gramíneas forrageiras tropicais, do tipo C4, as quais possuem produtividade de matéria seca frequentemente superior às forrageiras de clima temperado (Corrêa e Pott, 2001). As gramíneas tropicais cultivadas em pastagens representam a principal fonte alimentar para a produção de bovinos nos países tropicais, mas apresentam grande variação na qualidade nutricional e na quantidade produzida ao longo do ano (Evangelista et al., 2004), indicando grande potencial para conservação de forragens por meio da ensilagem e/ou fenação, e para diminuir os riscos da falta de alimento.

A silagem de capim é uma alternativa para as culturas anuais, tendo como vantagem as características de cultura perene, baixo risco agrônômico, possibilidade de manutenção de elevadas taxas de lotação na propriedade e por permitir flexibilidade em termos de manejo de colheita e direcionamento para diferentes categorias de animais dentro do rebanho (Corrêa e Pott, 2001). Enquanto isso, o potencial de uma espécie forrageira para ensilagem é dependente do seu teor de umidade, teor de carboidratos solúveis e poder tampão no momento do corte (McDonald et al., 1991). Esses parâmetros influem, de maneira decisiva, na natureza da fermentação e no valor alimentício da forragem conservada (Nussio et al., 2002).

O teor de umidade, quando elevado propicia condições para desenvolvimento de clostrídios, culminando em fermentação butírica e proteólise excessiva, com evidente queda no valor nutritivo do volumoso conservado (Ferrari Júnior e Lavezzo, 2001). Além de prejudicar a fermentação, a ensilagem de forragens com alto teor de umidade resulta na produção de efluente. O efluente representa perda de nutrientes e possui alto poder poluente pela presença de compostos orgânicos e de minerais provenientes do material ensilado (Loures et al., 2003; Bernardino et al., 2005). Quando a prática de emurhecimento ou adição de absorventes de umidade não são factíveis, os silos devem conter estruturas de captação e armazenamento, que possibilitem o tratamento e a destinação do efluente (Gebrehanna et al., 2014).

O teor de carboidratos solúveis das plantas forrageiras destinadas ao processo de ensilagem, é um dos pontos fundamentais para que os processos fermentativos se deem de maneira eficiente (Vilela, 1997), uma vez que o carboidrato solúvel é o principal substrato para as bactérias ácido lácticas produzirem ácidos, e conseqüentemente promover a redução do pH e conservar o material ensilado (Bolsen, 1995). Os principais

carboidratos solúveis presentes em culturas forrageiras são a frutose, glicose, sacarose e frutanas (Woolford, 1984).

O poder tampão de uma forrageira consiste em sua capacidade de resistir a alterações de pH. Uma boa parte das propriedades tamponantes das forragens pode ser atribuída aos ânions, que são os sais ácidos orgânicos, ortofosfatos, sulfatos, nitratos e cloretos (Ávila et al., 2006). Em quantidade, os ácidos mais importantes que as gramíneas possuem são o málico, o cítrico e o quinico, onde o ácido oxálico se destaca como o mais importante para as gramíneas tropicais (McDonald, 1981). A razão entre carboidratos solúveis e poder tampão é fundamental no processo da ensilagem, tanto que quando essa razão diminui, aumento mínimo no teor de MS é requerido para evitar fermentações indesejáveis no interior do silo (Vilela, 1997).

1.2 Aditivos químicos melhoradores de fermentação em silagens

A utilização de aditivos é uma ferramenta estratégica na gestão da produção de silagem (Auerbach e Nadeau, 2019). Os principais objetivos do uso de aditivos no processo da ensilagem de capins são: melhorar o perfil da fermentação no silo, reduzir perdas de nutrientes e aumentar a ingestão e o desempenho animal (Wilkinson, 1998).

Embora os aditivos biológicos sejam os mais utilizados no mercado mundial de silagens, os aditivos químicos desempenham papel importante em certas regiões, especialmente na Europa (Auerbach e Nadeau, 2019).

Há grande variedade de produtos químicos disponíveis que são usados como aditivos de silagem, e, estes geralmente são classificados de acordo com seus efeitos inibitórios nos microrganismos alvo para melhorar a fermentação ou aumentar a estabilidade aeróbia (Auerbach e Nadeau, 2019). A principal ação dos aditivos químicos melhoradores de fermentação em silagens é por meio da supressão ou inibição de

microrganismos indesejáveis, como clostrídios, enterobactérias e *Listeria* (McDonald et al., 1991). Do ponto de vista histórico, o ácido fórmico tem sido o aditivo químico mais importante para melhorar a fermentação, e vários estudos foram publicados sobre os efeitos positivos na fermentação e no desempenho animal (Haigh and Parker, 1985; Steen, 1990; Nadeau et al., 2000a; Nadeau et al., 2000b; Broderick et al., 2007).

No entanto, por sua natureza corrosiva em metais, na pele e nos olhos, o tamponamento parcial com amônia ou sódio tornou-se muito popular, e frequentemente os aditivos à base de ácido fórmico tamponado contêm outros produtos químicos, por exemplo, ácidos propiônico e benzoico (Auerbach e Nadeau, 2019). Alternativamente aos aditivos à base de ácido fórmico, foram desenvolvidos produtos à base de nitrito de sódio, um dos mais potentes inibidores de clostrídios (Weissbach, 1989).

Ambos os aditivos à base de ácido fórmico/ácido propiônico e aditivos contendo nitrito em várias misturas com hexamina, benzoato, sorbato e propionato demonstraram ser eficientes para inibir a produção de ácido butírico e diminuir a concentração de amônia-N em silagens (Nadeau e Auerbach, 2014) mas, frequentemente, os aditivos contendo nitrito + hexamina têm se mostrado superiores aos produtos à base de ácido fórmico, em termos de redução da contaminação por clostrídios e formação de ácido butírico (Knicky e Lingvall, 2004; Knicky e Spörndly, 2009; König et al., 2018).

1.2.1 Nitrito de sódio

O nitrato (NO_3^-) é encontrado naturalmente em culturas forrageiras. Durante a fermentação da silagem, o nitrato é total ou parcialmente degradado. Os produtos são amônia e óxido nitroso, com nitrito (NO_2^-) e óxido nítrico ocorrendo como intermediários (Spoelstra, 1985). Considerando a atividade anticlostrídica destas moléculas, o nitrito

tem sido utilizado como aditivo na indústria alimentícia e, também na indústria de silagens.

O nitrito de sódio (NaNO_2) é uma molécula com atividade bacteriostática e bactericida, e sua principal função é a supressão de bactérias indesejáveis, particularmente em baixos níveis de pH (Woolford, 1975). A ação antimicrobiana do nitrito de sódio é atribuída a reações associadas à geração de óxido nítrico (NO) e provavelmente peroxinitrito (ONOO^-) e ácido peroxinitroso (ONOOH), que são espécies oxidantes fortes *in vivo* (Majou e Christieans, 2018). Os dois últimos compostos podem oxidar o zinco, tióis proteicos, lipídios de membrana, biossíntese de cisteína e arginina e proteínas ferro-enxofre e bases de DNA, produzindo quebras de fitas de DNA, o que resulta no consumo de NAD^+ e ATP. O sistema fosforoclástico é a principal via para a síntese de ATP em muitos clostrídios, e depende da atividade de duas enzimas ferro-enxofre, ferredoxina e piruvateferredoxina oxidorreductase. Essas enzimas atuam no transporte de elétrons ligados à produção de ATP a partir do piruvato. O óxido nítrico inibe as enzimas ferro-enxofre (que estão associadas ao transporte de elétrons e produção de ATP) pela formação de complexos Fe-NO como catalase, ferroquelatase e aconitase. A ação inibitória no desenvolvimento de clostrídios é pelo comprometimento da atividade respiratória, inibindo-os (Carpenter et al, 1987; Majou e Christieans, 2018). Em ensaios *in vitro*, o nitrito de sódio tem amplo espectro antibacteriano e aumento acentuado da atividade com a redução de pH. Por outro lado, as leveduras demonstraram alta resistência ao nitrito, mesmo em pH 4 e 3 (Woolford, 1975).

Tanto o nitrato quanto o nitrito, presente na planta ou adicionado como aditivo, são degradados durante a fermentação no silo (Spoelstra, 1985). A dose completa de nitrito de sódio utilizada como aditivo (1 g/kg MN) frequentemente resulta em concentrações menores do que 3,5 g NO_2 /kg MS no momento da ensilagem, e em

concentrações significativamente menores após poucas semanas de fermentação (Spoelstra, 1985). Alimentos com concentração de nitrato ≤ 5 g/kg MS são considerados seguros (Hall, 2018).

1.2.2 Hexamina

Hexametileno tetramina (hexamina) é um agente bacteriostático, e em condições ácidas decompõe-se gradualmente em amônia e formaldeído (Restani et al., 1992). O formaldeído reage com proteínas e prejudica as enzimas do microrganismo, ou seja, reduz a degradabilidade das proteínas ao formar ligações cruzadas entre as cadeias proteicas, e possui propriedades antimicrobianas pela capacidade de inativar certas macromoléculas, como proteínas e ácidos nucleicos (Woolford, 1975, Aurelli et al., 2011). O efeito do formaldeído não é específico entre os microrganismos (König et al., 2018). Hellberg (1967) demonstrou que a aplicação isolada de hexamina não foi efetiva em melhorar a fermentação de silagens de gramíneas e leguminosas. Por isso, a hexamina tem sido adotada como aditivo complementar ao nitrito de sódio.

1.3 Combinação de nitrito de sódio e hexamina

O intuito da combinação de nitrito e hexamina é proteger todas as fases da fermentação. O nitrito tem ação nas fases iniciais do processo fermentativo, enquanto o formaldeído, que é derivado da hexamina, tem ação antimicrobiana após a queda do pH. A combinação de nitrito de sódio e hexamina tem a função de melhorar a qualidade da silagem quando comparado ao uso isolado de nitrito de sódio, e alguns ensaios mostraram efeito sinérgico de hexamina e nitrito de sódio (Hellberg, 1967, Auerbach e Nadeau, 2019; Gomes et al., 2021).

O efeito da combinação de ambas as substâncias foi reportado por Hellberg (1967), mas a dose utilizada de hexamina foi considerada alta, a qual poderia causar problemas com resíduos. Posteriormente, Gross e Beck (1972) provaram a eficácia de pequenas quantidades de hexamina em combinação com nitrito de sódio. No experimento de Gomes et al. (2021), a combinação de nitrito de sódio e hexamina foi mais eficiente do que o uso exclusivo de nitrito de sódio, como indicado pela menor perda de MS e menor extensão da proteólise em silagem de capim-Mombaça.

1.4 Maturidade e coeficiente de fermentabilidade de capins tropicais

Segundo Corsi (1990), a época de colheita da forragem, quer seja pelo corte ou pastejo, deve estar relacionada ao estágio de desenvolvimento da forragem, conseqüentemente, ao seu valor nutritivo. Colheitas de forragens mais maduras implicam na obtenção de um alimento com baixa digestibilidade, devido ao decréscimo da relação folha/haste, que parece ser o principal fator de perda de qualidade da forragem com a maturação (Mari, 2003). A maioria das espécies forrageiras sofre declínio no seu valor nutritivo com aumento da idade, resultando da menor relação folha/haste combinada com a crescente lignificação da parede celular (Mari, 2003). Logo, o valor nutritivo pode ser controlado pela definição do momento do corte da forragem para conservação (Hoveland e Monson, 1994).

Zago e Gomine (1982) citaram que, dentro do manejo, merece destaque o intervalo entre cortes observando, em geral, a magnitude da variação da produção de massa de forragem com a extensão do intervalo entre cortes. Vários autores relataram que o avanço da maturidade alterou de maneira antagônica a produtividade e o valor nutritivo da forragem (Andrade e Gomine, 1971; Próspero, 1972; Silveira et al., 1973 e Zago e Gomine, 1982).

Para Euclides et al. (1995), à medida que a planta forrageira amadurece, a proporção de componentes potencialmente digestíveis tende a decrescer, a proporção celulose, hemicelulose, lignina e outras frações indigestíveis (cutina, sílica etc.) aumentam, diminuindo a digestibilidade. Para Reis e Rodrigues (1993), o estágio de desenvolvimento da forragem apresenta ampla relação com a composição química e digestibilidade das forragens. Mott (1970) definiu que valor nutritivo se refere à composição química da forragem e sua digestibilidade, e a qualidade de uma forragem é representada pela associação de sua composição bromatológica, digestibilidade e pelo consumo voluntário da forragem em questão.

Por outro lado, o avanço da maturidade tende a aumentar o coeficiente de fermentabilidade, pelo aumento no teor de MS e em alguns casos também pelo aumento no teor de carboidratos solúveis (Wilkinson, 1983). Para o capim-Mombaça, o aumento no teor de carboidratos solúveis com o avanço da maturidade não tem sido consistente (Tomaz et al., 2018). De qualquer modo, o incremento no teor de MS deve resultar em melhora no coeficiente de fermentabilidade (Tomaz et al., 2018). Porém, não há suporte na literatura sobre a possibilidade de redução da dose de aditivos químicos com o avanço da maturidade de capins tropicais.

2 Referências

- Andrade, I.F., Gomide, J.A. 1971. Curva de crescimento e valor nutritivo de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) “A-146 Taiwan”. Revista Ceres. 1, 431–447.
- Auerbach, H., Nadeau, E.M.G. 2019. Chemical additives for silages: when to use it and what are the options? In: Nussio, L.G., da Silva, E.B, da Silva, Oliveira, K., Gritti,

- V.C., Ribeiro Salvo, P.A., de Souza Salvati, G.G., Oliveira da Sousa, D. (Eds.), Proceedings of the VI International Symposium on Forage Quality and Conservation, Piracicaba, Brazil. 49–88.
- Aurelli, P., Franciosa, G., Scalfaro, C. 2011. Pathogens in Milk - *Clostridium spp.* Encyclopedia of Dairy Sciences, 2, 47 – 53. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2015.08.001>.
- Ávila, C. L. D. S., Pinto, J. C., Tavares, V. B., Santos, Í. P. A. D. 2006. Avaliação dos conteúdos de carboidratos solúveis do capim-tanzânia ensilado com aditivos. Revista Brasileira de Zootecnia, 35, 3, 648–654.
- Bernardes, T.F., do Rêgo, A.C. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. Journal of Dairy Science, 97, 1852–1861. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7181>.
- Bernardino, F.S., Garcia, R., Rocha, F.C., Souza, A.L., Pereira, O.G. 2005. Produção e características do efluente e composição bromatológica da silagem de capim-elefante contendo diferentes níveis de casca de café. Revista Brasileira de Zootecnia, 34, 2185–2191. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000700004>.
- Broderick, G. A., Brito, A. F., Colmenero, J. J. O. 2007. Effects of feeding formate-treated alfalfa silage or red clover silage on the production of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 90: 1378-1391. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71624-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71624-7).
- Carpenter, C.E., Reddy, D.S., Cornforth, D.P. 1987. Inactivation of clostridial ferredoxin and pyruvate-ferredoxin oxidoreductase by sodium nitrite. Applied Environmental Microbiology, 53, 154–159. <https://doi.org/10.1128/aem.53.3.549-552.1987>.

- Corrêa, L.D.A., Pott, E.B. 2001. Silagem de capim, in: Embrapa Pecuária Sudeste-
Resumo em anais de congresso (ALICE). In: Simpósio de Forrageiras e Pastagens
2, Lavras, MG. Anais... Lavras: UFLA, 255-271.
- Corsi, M. 1990. Produção e qualidade de forragens tropicais. In: Pastagens. Piracicaba:
FEALQ, 69–85.
- Euclides, V.P.B., Macedo, M.C.M., Valle, L.C.S. 1995. Avaliação de acessos de *Panicum
maximum* sob pastejo. Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 7.
- Evangelista, A.R., Abreu, J.G.D., Amaral, P.N.C.D., Pereira, R.C., Salvador, F.M.,
Santana, R.A.V. 2004. Produção de silagem de capim-marandu (*Brachiaria
brizantha* stapf cv. Marandu) com e sem emurchecimento. Ciência e
Agrotecnologia, 28, 443–449.
- Ferrari Júnior, E., Lavezzo, W. 2001. Qualidade da silagem de capim-elefante
(*Pennisetum purpureum* Schum.) emurchecido ou acrescido de farelo de
mandioca. Revista Brasileira de Zootecnia, 30, 1424–1431.
- Gebrehanna, M. M., Gordon, R. J., Madani, A., VanderZaag, A. C., Wood, J. D. 2014.
Silage effluent management: a review. Journal of environmental
management, 143, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.04.012>.
- Gomes, A.L.M., Auerbach, H.U., Lazzari, G., Moraes, A., Nussio, L.G., Jobim, C.C.,
Daniel, J.L.P. 2021. Sodium nitrite-based additives improve the conservation and
the nutritive value of guinea grass silage. Animal Feed Science and
Technology, 279, 115033. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115033>.
- Gross, F., Beck, T. 1972. Comparative investigations on the action of various silage
additives. Das Wirtschaftseigene Futter, 18, 161–177.
- Haigh, P. M., Parker J. W. G. 1985. Effect of silage additives and wilting on silage
fermentation, digestibility and intake, and on live weight change in young cattle.

- Grass Forage Sci. 40: 429-436. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1985.tb01774.x>.
- Hall, J.O. 2018. Nitrate- and Nitrite-Accumulating Plants. *Veterinary Toxicology*, 941–946. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811410-0.00065-9>.
- Hellberg, A. 1967. A combination of nitrite and hexamine as an additive in the ensiling of herbage. *Grass and Forage Science*, 22, 289–297.
- Hoveland, C.S., Monson, W.G. 1994. Genetic and environmental effects on forage quality, in: Hoveland, C.S. (Ed.). *Crop quality, storage and utilization*. Madison: ASAE; CSSA; SSSA, 450–493.
- Knicky, M., Lingvall, P. 2004. Ensiling of high wilted grass-clover mixture by use of different additives to improve quality. *Acta Agric. Scand.*, 54, 197–205. <https://doi.org/10.1080/09064700410010017>.
- Knicky, M., Spordly, R. 2009. Sodium benzoate, potassium sorbate and sodium nitrite as silage additives. *J. Sci. Food Agric.* 89, 2659–2667. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3771>.
- König, W., König, E., Weiss, K., Tuomivirta, T.T., Fritze, H., Elo, K., Vanhatalo, A., Jaakkola, S. 2018. Impact of hexamine addition to a nitrite-based additive on fermentation quality, Clostridia and *Saccharomyces cerevisiae* in a white lupin-wheat silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 1492–1500. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9322>.
- Kung Jr., L., Stokes M.R., Lin C.J. 2003. Silage additives. *Silage Science and Technology*. D. R. Buxton, 305–360.

- Loures, D.R.S., Garcia, R., Pereira, O.G., Cecon, P.R., Souza, A.L. 2003. Características do efluente e composição químico-bramatológica da silagem de capim-elefante sob diferentes níveis de compactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32, 1851–1858.
- Majou, D., Christieans, S. 2018. Mechanisms of the bactericidal effects of nitrate and nitrite in cured meats. *Meat Science*, 145, 273–284. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.013>.
- Mari, L.J. 2003. Intervalo entre cortes em capim-marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst ex. A. Rich.) Stapf cv. Marandu): produção valor nutritivo e perdas associadas à fermentação da silagem. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- McDonald, P. 1981. The biochemistry of silage. (Ed) John Wiley & Sons. New York, United States. 207.
- McDonald, P.J., Henderson, A.R., Heron, S.J.E. 1991. The biochemistry of silage. 2.ed. Mallow: Chalcombe Publications, 340.
- Mott, G.O. 1970. Evaluación de la producción de forrajes, in: Huges, H.D., Heath, M.E., Metcalfe, D.S. (Eds.). Forrajes: la ciencia de la agricultura basada en la producción de pastos. México: Continental, 131–141.
- Nadeau, E., Auerbach, H. 2014. Effects of particle size and chemical additives on fermentation and aerobic stability of grass-clover silage, in: Proc. 5th Nordic Feed Sci. Conf., Uppsala, Sweden. Report 290, Department of Animal Nutrition and Management, Swedish University of Agricultural Sciences, 19–24.
- Nadeau, E.M.G., Buxton, D.R., Russell, J.R., Allison, M.J., Young, J.W. 2000a. Enzyme, bacterial inoculant, and formic acid effects on silage composition of orchardgrass

and alfalfa. *J. Dairy Sci.* 83, 1487–1502. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75021-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75021-1).

Nadeau, E.M.G., Russell J.R., Buxton, D.R. 2000b. Intake, digestibility, and composition of orchardgrass and alfalfa silages treated with cellulase, inoculant, and formic acid fed to lambs. *J. Anim. Sci.* 78, 2980–2989. <https://doi.org/10.2527/2000.78112980x>.

Nussio, L.G., Paziani, S.F., Nussio, C.M.B. 2002. Ensilagem de capins tropicais. *Anais.. Recife: [s.n.]*.

Pinto, A.C.J., Millen, D.D. 2016. Situação atual da engorda de bovinos em confinamento e modelos nutricionais em uso, in: Sebastião de Campos Valadares Filho et al. (Org.). *Simpósio de Produção de Gado de Corte (X Simcorte)*. 1ed. Viçosa/MG: UFV, 1, 103–120.

Próspero, A.O. 1972. Variação estacional da composição químico-bromatológica, do teor de macronutrientes minerais e da digestibilidade “in vitro” do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) variedade Napier. *Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”*, 29, 81–93.

Reis, R.A., Coan, R.M. 2001. Produção e utilização de silagens de gramíneas, in: *Simpósio Goiano sobre Manejo e Nutrição de Bovinos*, 3., Goiânia. *Anais. Goiânia: CBNA*. 91–120.

Reis, R.A., Rodrigues, L.R.A. 1993. Valor nutritivo de plantas forrageiras. Jaboticabal: Funep, 29.

Restani, P., Restelli, A.R., Galli, C.L. 1992. Formaldehyde and hexamethylenetetramine as food additives: chemical interactions and toxicology. *Food Addit. Contam.* 597–605. <https://doi.org/10.1080/02652039209374113>.

- Silveira, A.C., Faria, V.P., Tosi, H. 1973. Efeito da maturidade sobre o valor nutritivo do capim Napier. *O solo*, 65, 35–41.
- Spoelstra, S. F. 1985. Nitrate in silage. *Grass and forage science*, 40, 1–11.
- Steen, R. W. J. 1990. Recent advances in the use of silage additives for dairy cattle. In: Occasional Symposium British Grassland Society, United Kingdom.
- Tomaz, P.K., Araujo, L.C., Sanches, L.A., Santos-Araujo, S.N., Lima, T.O., Lino, A.A., Ferreira, E.M. 2018. Effect of sward height on the fermentability coefficient and chemical composition of Guinea grass silage. *Grass Forage Sci.* 73, 588–598. <https://doi.org/10.1111/gfs.12349>.
- Vasconcelos, W.A.D., Santos, E.M., Zanine, A.D.M., Pinto, T.F., Lima, W.C., Edvan, R.L., Pereira, O.G. 2009. Valor nutritivo de silagens de capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) colhido em função de idades de rebrotação. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 10, 874–884.
- Vilela, D. 1997. Utilização do capim-elefante na forma de forragem conservada. In: Carvalho M.M., Alvim, M.J., Xavier, D.F. et al. (Eds.) *Capim-elefante: produção e utilização*. Brasília: EMBRAPA-SPI. 113–160.
- Weissbach, F., Zwierz, P.M., Reuter, B., Köller, S., Weissbach, H. 1989. Control of the silage fermentation by chemical preserving agents. *Chimica oggi*, 7, 57–60.
- Wilkinson, J. M. 1983. Silages made from tropical and temperate crops. 2. Techniques for improving the nutritive value of silage. *World Animal Review*.
- Wilkinson, J. M. 1998. Additives for ensiled temperate forage crops, in: *Simpósio sobre aditivos na produção de ruminantes e não-ruminantes*. Wechsler, F.S. (Ed.) *Anais dos Simpósios, XXXV Reunião da SBZ*, 53–72.

Woolford, M.K. 1975. Microbiological Screening of Food Preservatives, Cold Sterilants and Specific Antimicrobial Agents as Potential Silage Additives. *J. Sci. Fd Agric.* 26, 229–237.

Woolford, M.K. 1984. *The silage fermentation*. New York: Marcel Dekker. 350.

Zago, C.P., Gomide, J.A. 1982. Valor nutritivo do capim-colonião, submetido a diferentes intervalos de corte, com e sem adubação de reposição. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 11, 512–528.

II. Efeito de maturidade e dose de nitrito de sódio e hexamina na conservação da silagem de capim-Mombaça

(Manuscrito formatado de acordo com as normas da revista *Animal Feed Science and Technology*)

RESUMO

O objetivo deste estudo é verificar se a dose de aditivo contendo nitrito de sódio e hexamina interage com a maturidade do capim-Mombaça para alterar a conservação e o valor nutricional da silagem. Um campo de capim-Mombaça (3 ha) dividido em quatro blocos, cada bloco com duas parcelas, foi roçado para padronização. Após cinco semanas, uma parcela de cada bloco foi roçada novamente para estabelecer o gradiente de maturidade. Dez semanas após o corte de padronização, os capins com 5 e 10 semanas de rebrota foram colhidos manualmente para o experimento (aprox. 30 kg/parcela). O capim de cada parcela foi picado e dividido em 3 montes, totalizando 24 montes, como resultado da combinação de quatro blocos, duas maturidades e três tratamentos com aditivos. Os tratamentos foram os seguintes: controle (sem aditivo), dose baixa de nitrito de sódio (0,5 g/kg) + hexamina (0,325 g/kg) (NHB) e dose alta de nitrito de sódio (1 g/kg) + hexamina (0,65 g/kg) (NHA). Após 90 dias de armazenamento os silos foram abertos e as silagens amostradas para determinação de perdas fermentativas, contagens de microrganismos, produtos de fermentação, estabilidade aeróbia e valor nutricional. Os dados foram analisados pelo procedimento MIXED do SAS, considerando um delineamento em blocos ao acaso. Embora a interação entre maturidade e dose de aditivo tenha sido observada para diversas variáveis, o aditivo aplicado em dose adequada (NHA) foi capaz de reduzir o desenvolvimento de clostrídios, resultando em menores concentrações de amônia, ácido butírico, menores contagens de esporos de clostrídios e menores perdas de matéria seca durante a fermentação, em ambas as maturidades. Colher o capim mais maduro não possibilitou reduzir a dose de aditivo pela metade, enquanto diminuiu bruscamente o valor nutritivo das silagens.

Palavras-chave: aditivo químico, capim tropical, clostrídio, fermentação, *Megathyrus maximus*.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a intensificação de sistemas de recria de bovinos de corte tem levado à renovação do interesse pela ensilagem de gramíneas tropicais. Além disso, em rebanhos leiteiros, silagem de gramíneas tropicais pode ser utilizada como fonte de fibra fisicamente efetiva em dietas de vacas em lactação, e como fonte de forragem com baixo teor de amido para novilhas em crescimento e vacas secas. Entretanto, as gramíneas tropicais apresentam baixo teor de matéria seca, alto poder tampão e baixo teor de carboidratos solúveis, aumentando o risco de desenvolvimento de microrganismos indesejáveis durante a fermentação (Tomaz et al., 2018).

Frequentemente, capins tropicais colhidos mais maduros apresentam melhores parâmetros de ensilabilidade, tais como maiores teores de MS e carboidratos solúveis (Wilkinson, 1983). Entretanto, o avanço da maturidade diminui consistentemente o valor nutritivo de capins tropicais, devido ao aumento no teor de fibra e na sua redução na digestibilidade (Reis e Rodrigues, 1993; Wilson et al., 1986; Daniel et al., 2016). Logo, ensilar capins tropicais com maior valor nutritivo (e alta umidade) requer estratégias que assegurem fermentação adequada, especialmente capazes de restringir o desenvolvimento de clostrídios (McDonald et al., 1991). Na literatura, há diversos estudos sobre a utilização de aditivos em silagens de capins tropicais, porém os resultados relacionados com melhorias do processo de fermentação e do valor nutricional são controversos (Ávila et al., 2009).

Recentemente, foi demonstrado que um aditivo contendo nitrito de sódio (NIT) e hexamina (HEX) foi eficiente em inibir o desenvolvimento de clostrídios, reduzir perdas e melhorar o valor nutricional da silagem de capim-Mombaça (Gomes et al., 2021). Então, o objetivo deste trabalho é verificar se a dose de aditivo NIT+HEX interage com a maturidade para alterar a conservação e o valor nutricional da silagem de capim-

Mombaça. A hipótese é que a dose de aditivo possa ser diminuída para o capim colhido com 10 semanas de rebrota, mas não para o capim colhido com 5 semanas de rebrota.

MATERIAL E MÉTODOS

Ensilagem e tratamentos

O capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) foi colhido na Fazenda Estância Independente (Mandaguari, PR, Brasil) em março de 2020. A capineira estava no quarto ano de corte e o histórico de adubação anual foi 200 kg/ha de ureia e dejetos líquido de confinamento de bovinos de corte (30 a 40 m³/ha). Em dezembro de 2019, um campo de 3 ha foi roçado para padronização da área e dividido em quatro blocos, cada bloco com duas parcelas. Cinco semanas após, uma parcela de cada bloco foi roçada novamente para estabelecer o gradiente de maturidade. Dez semanas após o corte de padronização, os capins com 5 e 10 semanas de rebrota foram colhidos manualmente (aprox. 30 kg/parcela) para o experimento (março/2020). Na colheita, a altura média do dossel da capineira com 10 semanas de rebrote era de 98 ± 6 cm, enquanto a altura do dossel da capineira com 5 semanas era de 65 ± 5 cm. Os capins foram cortados a 15 cm do solo.

Após a colheita manual, o capim foi picado em forrageira estacionária (tamanho teórico de corte = 10 mm). O capim picado oriundo de cada parcela foi dividido em 3 montes (6 kg/monte), totalizando 24 montes, como resultado da combinação de duas maturidades, três tratamentos com aditivos e quatro blocos. Os tratamentos com aditivos foram os seguintes: controle (sem aditivo), dose baixa de nitrito de sódio (0,5 g/kg) + hexamina (0,325 g/kg) (NHB) e dose alta de nitrito de sódio (1 g/kg) + hexamina (0,65 g/kg) (NHA).

Os aditivos foram aplicados com auxílio de borrifadores, e o material foi homogeneizado. Todas as diluições foram feitas com o mesmo volume de água (10 mL/kg). O tratamento controle também recebeu a mesma quantidade de água destilada (10 mL/kg). Em seguida, cerca de 4,3 kg do material foi alocado e compactado com prensa manual em baldes plásticos com capacidade de 7,2 L (silos experimentais) para obter densidade de 600 kg MN/m³ e, posteriormente vedados com tampa e fita adesiva. Após a vedação, os silos experimentais foram pesados e armazenados por 90 dias, em um galpão no setor de bovinocultura de leite, em temperatura ambiente.

No momento da ensilagem foram coletadas e armazenadas amostras do material fresco para preparação de extrato aquoso a fim de determinar o pH e as contagens de microrganismos (fungos filamentosos e leveduras, bactérias ácido lácticas, e clostrídios). Também foram coletadas amostras para determinação da composição química e da digestibilidade *in vitro*.

Após 90 dias de armazenamento, os silos foram pesados novamente para calcular as perdas fermentativas. A perda de gás foi determinada com a seguinte fórmula: Perda de gás (kg) = (peso balde + forragem (kg)) – (peso balde + silagem (kg)). A partir disso, foi calculada a porcentagem da perda de gás, onde Perda de gás (%) = (Perda de gás (kg) / MS forragem (kg)) x 100. Do mesmo modo, foi calculada a perda de MS, onde a Perda de MS (kg) = MS forragem (kg) – MS silagem (kg) e a também a perda da MS, onde Perda de MS (%) = (perda da MS (kg) / MS forragem (kg)) x 100.

Após a abertura dos silos foram retiradas amostras de silagem para determinação de pH, contagens de microrganismos (fungos filamentosos e leveduras, bactérias ácido lácticas, e clostrídios) e produtos de fermentação em extrato aquoso, e para análise da composição química e da digestibilidade *in vitro*. O material remanescente foi utilizado para a determinação da estabilidade aeróbia.

Ensaio de estabilidade aeróbia

Para determinação da estabilidade aeróbia, foi alocado em baldes plásticos com capacidade de 11 L (4,3 kg de matéria fresca) com um data logger (Tag Temp – USB; Novus, Miami, EUA; Impac iMini - USB) no centro da massa de forragem programado para registrar a temperatura a cada 15 min. Posteriormente, os baldes foram cobertos com papel alumínio perfurado, para reduzir desidratação e evitar entrada de sujeira. A estabilidade aeróbia teve duração de 10 dias em sala com temperatura controlada ($25 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$). A quebra da estabilidade aeróbia com base na temperatura foi definida pelo tempo (dias) até a temperatura da silagem atingir 2°C acima da temperatura ambiente. Durante o período de exposição aeróbia o pH das silagens foi medido diariamente, onde para essa mensuração foi coletada uma amostra de diferentes pontos do balde, para a obtenção do extrato aquoso. A quebra da estabilidade aeróbia com base no pH foi definida pelo tempo (dias) até a pH da silagem aumentar 0,5 unidade.

Análises químicas

As amostras do capim fresco e da silagem destinadas às análises de composição química foram desidratadas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas e moídas em moinho de faca tipo Willey (Marconi MA340, Piracicaba, Brasil) com crivos de 1 mm. Os teores de MS, cinzas e extrato etéreo (EE) foram determinados de acordo com a AOAC (1990). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinados em extrator de fibra utilizando saquinhos filtrantes (F57, Ankom). Para análise de FDN foi utilizada solução de detergente neutro descrita por Mertens (2002), incluindo amilase termoestável e sulfito de sódio. O teor de FDA foi determinado sequencialmente utilizando a solução de detergente ácido descrita por Van Soest (1973). O teor de lignina foi determinado de acordo com a metodologia descrita por

Van Soest (1973). A concentração de FDN indigestível (FDNi) foi obtida por incubação ruminal *in situ* por 288 h (Huhtanen et al., 1994). A determinação do nitrogênio (N) total foi realizada de acordo com o método da AOAC (1990) e o teor de PB foi obtido multiplicando o teor de N por 6,25. O teor de MO foi calculada como 1000 - cinzas. A concentração de carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculada como 1000 - PB - FDN - EE - cinzas (NRC, 2001).

A degradabilidade ruminal da proteína da forragem fresca e das silagens foi estimada com base no fracionamento de N (método CNCPS). As amostras secas e moídas com crivos a 1 mm foram utilizadas para determinar os teores de proteína solúvel, nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) e nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) usando os métodos descritos por Licitra et al. (1996). O fracionamento do N foi calculado usando o CNCPS v.6.5 (frações A1, A2, B1, B2 e C) (Van Amburgh et al., 2015). A partir do fracionamento de nitrogênio, as proporções de proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR) foram calculadas para bovinos em crescimento, utilizando cinética de primeira ordem [$kd / (kd + kp)$] (Van Amburgh et al., 2015). As taxas fracionais de passagem (líquido, concentrado e forragem) foram estimadas considerando consumo de MS de 6,2 kg/d, dieta com 70% de forragem e peso em jejum de 265 kg (Tylutki et al., 2008).

Amostras de forragem fresca e silagem também foram analisadas para concentração de carboidratos solúveis com o método de fenol-sulfúrico (Hall et al., 1999) e capacidade tampão (CT) de acordo com a metodologia de Weissbach (1967). A digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) foi determinada usando incubadora Daisy II (Ankom Technology, Macedon, EUA), de acordo com a metodologia de Goering e Van Soest (1970).

O coeficiente de fermentabilidade (CF) e o conteúdo mínimo de MS (MS_{min}) necessários para obter silagem livre de ácido butírico foram calculados da seguinte forma: $CF = MS (g / 100 g) + 8 \times CS / CT$ (Weissbach et al., 1974); $MS_{minWeissbach} (g / kg) = 450 - 80 \times CS / CT$ (Weissbach et al., 1974); e $MS_{minKaiser} (g / kg) = 620 - 71 \times CS / CT$ (Kaiser et al., 2002).

A determinação do teor de nitrato foi realizada de acordo com a metodologia de Neto e Barreto (2011), através da reação do ácido salicílico com nitrato. Amostras de capim fresco desidratadas em estufa e moídas a 1 mm (0,25 g), junto a 10 mL de água destilada foram levadas ao banho-maria a 45°C com agitação por 2 h, e posteriormente filtradas em papel filtro qualitativo. O filtrado foi centrifugado por 15 min a 10.000 × g. Em seguida, 0,2 mL de sobrenadante e 0,5 mL da solução de ácido salicílico foram homogeneizados e ficaram em repouso por 20 min. Após este tempo, foi pipetado 10 mL de NaOH 4 M no tubo com a amostra reagida, seguindo de homogeneização em vórtex por 10 s. Em seguida, a amostra foi pipetada em microplaca para a leitura de absorbância (modelo Janway 6305, Marconi®, Piracicaba, Brasil), com comprimento de ondas de $\lambda = 410$ nm.

Amostras de forragem e silagem também foram utilizadas para obtenção de extrato aquoso. Foi utilizado 25 g de amostra (forragem fresca ou silagem) em 225 g de água destilada, e essa mistura foi homogeneizada por 1 min em liquidificador e filtrada em funil com gaze. Com o extrato aquoso da forragem fresca foi determinado o pH (Tec5, Tecnal®, Piracicaba, Brasil) e as contagens microbianas (fungos filamentosos e leveduras, bactérias ácido lácticas, e clostrídios). Uma porção do extrato aquoso não diluído foi centrifugado a 10.000 × g por 15 min e o sobrenadante usado para análises dos produtos da fermentação. As concentrações de ácido láctico (Pryce, 1969) e amônia (Chaney e Marback, 1962) foram determinadas por colorimetria (Janway 6305,

Marconi®, Piracicaba, Brasil), com comprimentos de onda de $\lambda = 630$ nm e $\lambda = 565$ nm, respectivamente. As concentrações de ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois e ésteres foram determinados em cromatógrafo gasoso (Nexis GC-2030, Shimadzu, Kyoto, Japão) com autoinjeter (AOC-20i Plus, Shimadzu, Kyoto, Japão), usando coluna capilar Stabilwax, Restek, Bellefonte, PA; 60 m, 0,25 mm \varnothing , 0,25 μ m de polietilenoglicol crossbond carbowax. Os compostos foram identificados com base em seu tempo de retenção e quantificados com padrões externos. O teor de MS da silagem foi corrigido para a perda de voláteis durante a secagem em estufa (Weissbach e Strubelt, 2008). A concentração total de ácidos graxos voláteis não dissociados (AGVnd) foi calculada somando as concentrações das formas não dissociadas dos ácidos acético, propiônico, i-butírico, n-butírico, i-valérico e n-valérico. A proporção da forma não dissociada de cada AGV foi calculada como $1 / (1 + 10^{(pH - pka)})$ (equação de Henderson-Hasselbalch).

Contagens de microrganismos

Uma alíquota do extrato aquoso foi diluída em série (10^{-1} a 10^{-6}) e utilizada para enumeração de fungos filamentosos, leveduras, bactérias lácticas e clostrídios. Para contagem dos microrganismos foram utilizados meios de cultura seletivos, em placa de Petri. Para fungos filamentosos e leveduras foi utilizado o meio MEA (Malt Extract Agar – M137, Himedia, Mumbai, India), para as bactérias ácido lácticas MRS (Lactobacilli MRS Agar – 7543A, Acumedia, Lansing, Michigan, USA) e para clostrídeos RCA (Reinforced Clostridial Agar – M154, Himedia, Mumbai, India – suplementado com vermelho neutro e Cicloserina). Para a contagem de BAL as placas foram incubadas aerobicamente a 35-37°C por 48 h. Para leveduras e fungos filamentosos as placas foram incubadas a 30°C. As leveduras foram contadas após 48 h e os fungos após 72 h. Para contagem de clostrídios, as placas foram incubadas em jarras anaeróbias mantidas em

incubadora a 37°C por 5 d. As unidades formadoras de colônias foram expressas em log UFC/g.

Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando o procedimento MIXED do SAS (versão 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA), considerando delineamento em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2 × 3 (2 maturidades × 3 níveis de aditivos), com quatro repetições por tratamento. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS

Características do capim-Mombaça

As características da composição química e contagem microbiana do capim-Mombaça colhido com 5 ou 10 semanas de maturidade são mostradas na Tabela 1. Os teores de MS e cinzas foram maiores ($P < 0,01$) para o capim de 10 semanas de maturidade do que para o de 5 semanas. O capim colhido com 10 semanas também apresentou maiores teores de EE, FDN, FDNi, FDA e LIG ($P < 0,01$) comparativamente ao capim colhido com 5 semanas. A razão FDNi/FDN foi maior ($P < 0,01$) e a razão FDNi/LIG foi ligeiramente maior ($P = 0,05$) para o capim de 10 semanas. O teor de CNF foi similar entre as maturidades, mas a DIVMS foi maior ($P < 0,01$) para o capim de 5 semanas comparativamente ao capim com 10 semanas de maturidade.

O teor de PB foi maior para o capim com 5 semanas ($P < 0,01$). A fração A2 (proteína não amoniacal) foi similar entre as maturidades, mas a fração B1 (proteína verdadeira indigerível) foi menor ($P < 0,01$) enquanto as frações B2 (proteína insolúvel

potencialmente digestível) ($P = 0,02$) e C (proteína indigestível) ($P < 0,01$) foram maiores para o capim com 10 semanas. A proporção de PDR foi maior no capim colhido com 5 semanas de maturidade ($P < 0,01$).

O pH do capim fresco com 5 semanas foi superior ($P < 0,01$) àquele do capim com 10 semanas. A CT foi similar entre as maturidades, mas o teor de CS e o CF foram ligeiramente maiores no capim de 10 semanas, comparativamente ao capim com 5 semanas de maturidade ($P < 0,01$). O teor mínimo de MS predito para assegurar boa fermentação (MSmin, segundo Weissbach ou Kaiser) não diferiu entre as maturidades ($P > 0,05$). O teor de nitrato foi maior ($P < 0,01$) para o capim colhido com 5 semanas de rebrote. As contagens de BAL, leveduras e fungos filamentosos não diferiram entre as maturidades ($P > 0,05$), mas o capim colhido com 5 semanas apresentou maior contagem de clostrídios do que no capim de 10 semanas ($P < 0,01$).

Fermentação e estabilidade aeróbia das silagens

O perfil fermentativo das silagens está apresentado na Tabela 2. Não houve interação entre maturidade e dose de aditivo para as contagens de microrganismos. Em geral, a contagem de BAL foi maior para as silagens tratadas com NHB e NHA comparativamente às silagens não tratadas ($P < 0,01$). Somente o tratamento NHA foi capaz de reduzir a contagem de clostrídios ($P < 0,01$). A contagem de fungos foi similar entre tratamentos ($P \geq 0,14$) e apenas o tratamento NHA apresentou contagens de leveduras acima do limite de detecção, com valor ligeiramente superior para o tratamento NHA para o capim colhido com 5 semanas comparativamente ao capim colhido com 10 semanas ($P < 0,01$).

Houve interação entre maturidade e dose de aditivo para pH ($P < 0,01$) e a maioria dos produtos de fermentação. Dentro de cada maturidade, o pH das silagens diminuiu com o aumento da dose de aditivo, mas a silagem controle com 5 semanas apresentou pH mais alto que a silagem controle com 10 semanas. A concentração de $\text{NH}_3\text{-N}_{\text{corr}}$ foi notadamente diminuída pela aplicação de NHA, enquanto a aplicação de NHB resultou em concentrações intermediárias de $\text{NH}_3\text{-N}_{\text{corr}}$. No tratamento CON, o capim colhido com 10 semanas apresentou menores concentrações de $\text{NH}_3\text{-N}_{\text{corr}}$ do que o capim colhido com 5 semanas.

Houve interação entre maturidade e dose de aditivo sobre as concentrações de ácido láctico, ácido acético, ácido n-butírico, etanol, ácido propiônico, 2,3-butanediol, isopropanol, ácido isobutírico, ácido n-valérico, 2-butanol, ácido isovalérico e 1,2-propanodiol ($P \leq 0,02$). A concentração dos ácidos, exceto o láctico foi diminuída pela aplicação de aditivo (NHB e NHA), mas para as silagens não tratadas, o capim colhido com 5 semanas resultou em maior concentração de ácido acético. Em geral, os aditivos reduziram as concentrações de ácido n-butírico, ácido propiônico, 2,3-butanediol, isopropanol, ácido isobutírico, ácido n-valérico, ácido isovalérico e 1,2-propanodiol, mas a resposta à NHB foi significativamente ou numericamente melhor para o capim CON colhido com 10 semanas. A concentração de etanol foi mais alta para a silagem controle com 5 semanas. A concentração de 2-butanol foi diminuída pela aplicação de NHA nas duas maturidades, assim como pela dose NHB na silagem colhida com 5 semanas, porém os tratamentos CON e NHB não diferiram na silagem de 10 semanas.

O acetato de etila apresentou significância para semanas e tratamentos ($P < 0,01$), e dentro da mesma maturidade, NHB e NHA não apresentaram diferença entre si. As concentrações de 1-propanol e acetato de propila foram semelhantes entre os tratamentos ($P \geq 0,06$). O lactato de etila apresentou interação entre maturidade e dose de aditivos (P

< 0,02), e dentro da maturidade de 5 semanas, não houve diferença significativa, mas quando comparado com a maturidade de 10 semanas, o tratamento CON apresentou valores superiores ao tratamento NHB. Houve interação entre maturidade e aditivo para a perda de MS, que foi reduzida com o aumento da dose dentro de cada maturidade. A silagem controle colhida com 5 semanas apresentou maior perda de MS do que a silagem controle com 10 semanas.

A razão $AGV_{nd}/(CS + AL)$ foi diminuída com a aplicação de aditivo, mas para a dose NHB a razão $AGV_{nd}/(CS + AL)$ foi ligeiramente maior para a maturidade 5 semanas ($P < 0,01$ para interação entre maturidade e aditivo). A aplicação do tratamento NHA diminuiu o tempo para quebra de estabilidade aeróbia e aumentou o acúmulo de temperatura (TAC10d) durante a exposição aeróbia, de modo que a silagem colhida com 10 semanas e tratada com NHA apresentou estabilidade aeróbia mais curta ($P < 0,01$ para interação entre maturidade e aditivo). As silagens tratadas com aditivo apresentaram incremento de pH durante a exposição aeróbia, mas o tratamento NHA antecipou o incremento de pH comparativamente ao tratamento NHB ($P < 0,01$ para interação entre maturidade, aditivo e dia de exposição ao ar; Figura 1).

Composição química e digestibilidade das silagens

A composição química das silagens de capim-Mombaça, colhidas com 5 ou 10 semanas de maturidade são apresentadas na Tabela 3. O teor de MS foi maior para as silagens de capim com 10 semanas do que com 5 semanas ($P < 0,01$), mas dentro de maturidade, o teor de matéria seca aumentou com a dose de aditivo ($P < 0,01$). O teor de cinzas foi maior para a silagem com 10 semanas, e apresentou o maior valor de cinzas comparativamente às silagens tratadas. Para o teor de EE, houve interação maturidade e aditivo ($P < 0,01$), e na maturidade 5, o tratamento CON obteve o maior valor, e os

tratamentos NHB e NHA não apresentaram diferença entre si, enquanto na maturidade 10, os três tratamentos não diferiram entre si. O teor de FDN foi maior para as silagens com 10 semanas em comparação às silagens com 5 semanas ($P < 0,01$), mas não foi alterado pelas doses de aditivo. Os valores de FDNi e FDNi/FDN apresentaram interação significativa ($P < 0,01$), e na maturidade 5, o tratamento CON e NHB não apresentaram diferença entre si, e o tratamento NHA, apresentou o menor valor, enquanto na maturidade 10, todos os tratamentos diferiram entre si, sendo o CON com maior valor e NHA com menor valor. E, quando comparadas as maturidades em si, todos os tratamentos diferiram. O teor de FDA apresentou interação significativa ($P < 0,01$), e na maturidade 5, o tratamento CON e NHB diferiram entre si, e CON apresentou o maior valor, mas NHB não diferiu de NHA, e na maturidade 10 o tratamento CON e NHB foram semelhantes e não diferiram, assim como NHB e NHA também foram semelhantes.

Já a LIG apresentou significância para semanas ($P < 0,01$), e as quantidades de LIG da maturidade 5, não diferiram entre si, e o mesmo ocorreu para a maturidade de 10 semanas, porém, quando comparada uma maturidade com a outra, a maturidade de 10 semanas apresentou os maiores valores de LIG. A razão de FDNi/LIG apresentou significância apenas para tratamentos ($P < 0,01$), e os tratamentos CON e NHB de ambas as maturidades apresentaram resultados semelhantes dentro de sua maturidade, sendo os maiores valores, enquanto o tratamento NHA de ambas as maturidades também, apresentaram os menores valores.

O teor de PB foi alterado pela maturidade e pela aplicação de aditivo ($P < 0,01$), mas não houve interação entre eles ($P > 0,05$). Dentro da maturidade de 5 semanas, o tratamento NHA foi o que apresentou o maior valor de PB, e o CON o que apresentou o menor valor, o mesmo ocorreu para a maturidade de 10 semanas, porém os tratamentos CON e NHB não diferiram entre si. No fracionamento de N, a fração A1 apresentou

significância para semanas e tratamentos ($P < 0,01$), mas não houve interação entre eles. Em ambas as maturidades, o tratamento CON apresentou os maiores valores quando comparado aos demais tratamentos, e o tratamento NHA foi o tratamento que apresentou o menor valor. Na fração A2 só houve significância para tratamentos ($P < 0,01$), e para ambas as maturidades, os tratamentos NHB e NHA não diferiram estatisticamente, apresentando maiores valores do que o CON. A fração B1 foi similar entre tratamentos ($P \geq 0,06$). Para a fração B2 houve interação entre maturidade e tratamento ($P < 0,05$), e NHA na maturidade de 10 semanas apresentou o maior valor, porém não houve diferença estatística entre os demais tratamentos de ambas as maturidades. Para a fração C também houve interação significativa ($P < 0,01$), e na maturidade de 5 semanas, o tratamento CON e NHB foram semelhantes, assim como NHB e NHA também foram semelhantes, e NHA apresentou o maior valor, enquanto na maturidade de 10 semanas não houve diferença entre CON e NHB, mas houve diferença de NHA, que foi o maior valor. Houve interação entre maturidade e aditivo para as proporções de PDR e PNDR ($P < 0,01$), e dentro das mesmas maturidades, o tratamento CON apresentou maior valor de PDR, seguido do NHB, e posteriormente NHA. A aplicação de aditivo aumentou a proporção de PNDR.

O teor de CNF foi semelhante entre tratamentos ($P > 0,05$), mas o teor de CS foi afetado pela interação de maturidade e aditivo ($P < 0,01$). O tratamento NHA na maturidade de 10 semanas apresentou o maior valor de CS, seguido pelo NHA da maturidade de 5 semanas. A DIVMS e a recuperação de MS digestível foram afetadas pela interação entre maturidade e aditivo ($P \leq 0,05$). Os tratamentos NHB e NHA da maturidade de 5 semanas, apresentaram os maiores valores de DIVMS, seguido pelo CON da mesma maturidade, enquanto os tratamentos da maturidade de 10 semanas, apresentaram os menores valores. O tratamento NHA da maturidade de 5 semanas,

apresentou a maior recuperação de MS digestível, seguido do NHB da mesma maturidade e NHA da maturidade de 10 semanas, que apresentaram resultados semelhantes.

DISCUSSÃO

Características do capim-Mombaça

No presente estudo, os teores de MS e de FDN foram maiores para o capim de 10 semanas de maturidade do que para o de 5 semanas, assim como descrito em inúmeros trabalhos em que os teores de MS e fibra aumentam com a maturidade do capim (Vasconcelos et al., 2009; Stabile et al., 2010). À medida que as plantas amadurecem, ocorre intensificação do alongamento do caule e diminuição progressiva da proporção de folhas. Levando a redução no conteúdo celular e valor nutricional da planta com a maturidade (Zanine et al., 2010). Os teores de lignina aumentaram de 51,6 para 83,6 g/kg MS entre a menor e maior idade de maturidade. Este aumento se dá, pois, a lignina é uma fração fibrosa que aumenta com o avanço da maturidade fisiológica da planta, promovendo maior sustentação (Jung e Allen, 1995). O teor de lignina, assim como os de FDN e FDA, está relacionado com a redução de digestibilidade da fibra. Com o avanço de maturidade da planta, a lignina sintetizada associa-se à parede celular, restringindo o ataque dos microrganismos do rúmen, diminuindo, assim, a digestibilidade da fibra (Norton, 1982). No presente trabalho, é notório o aumento de 60% da razão FDNi/FDN entre 5 e 10 semanas de rebrota. A razão FDNi/LIG encontrada para o capim-Mombaça neste estudo foi próximo de 5:1, que é tão alta quanto a razão FDNi/LIG tipicamente encontrada em cana-de-açúcar (~ 4,6; Daniel et al., 2017).

O teor de PB diminuiu de 128 g/kg (5 semanas) para 71,9 g/kg (10 semanas), à medida que a maturidade aumentou. A redução dos teores de PB com a idade de rebrote das plantas é bem documentada na literatura. Segundo Mesquita e Neres (2008), isso ocorre em razão do rápido desenvolvimento dessas plantas, que, a partir de determinado estado fisiológico, deixam de acumular nutrientes altamente nutritivos, ou seja, conteúdo celular, para acumular componentes de menor digestibilidade, representados pela FDN e FDA em detrimento da PB. A redução nos teores de proteína bruta com o avanço da maturidade das plantas, provavelmente, deve-se ao efeito de diluição na matéria seca produzida (Gomide, 1976).

Apesar do aumento de componentes fibrosos, o capim colhido com 10 semanas apresentou teor de carboidratos solúveis ligeiramente superior ao capim com 5 semanas. Outros trabalhos também têm reportado manutenção ou aumento no teor de carboidratos solúveis com o avanço da maturidade (Wilkinson, 1983; Tomaz et al., 2018), provavelmente pela maior proporção de colmo, em que os carboidratos solúveis são armazenados (White, 1973; Bernal, 1974). Considerando que a CT não foi alterada ao longo da maturidade, os maiores teores de MS e carboidratos solúveis culminaram em aumento do CF de 26,4 para 31,5. Como previsto nos modelos de antecipação do padrão de fermentação (Weissbach et al., 1974; Kaiser et al., 2002), este incremento do CF não foi suficiente para prevenir a ocorrência de fermentação butírica, como será discutido abaixo. Os teores de nitrato (<4,4 g/kg MS; Kaiser et al., 2002) e de BAL (<5 log ufc/g MN; Weissbach e Honig, 1996), nos capins colhidos com 5 e 10 semanas podem ser considerados baixos e, juntamente com o baixo CF (>45) (Weissbach et al., 1974), devem ter contribuído para o desenvolvimento de clostrídios nas silagens controle.

Fermentação e estabilidade aeróbia das silagens

Em geral, a contagem de BAL foi maior para as silagens tratadas com NHB e NHA comparativamente às silagens não tratadas. Provavelmente, o aditivo contendo nitrito e hexamina foi capaz de inibir microrganismos indesejáveis, tais como enterobactérias e clostrídios (exceto NHB), e conseqüentemente, reduzir a competição por substrato, favorecendo a população de BAL epífitas. Maiores concentrações de ácido láctico e menores valores de pH também foram observados nas silagens tratadas, indicando que houve maior produção de ácido láctico e/ou menor degradação de ácido láctico (Pahlow et al., 2003). O aumento da maturidade contribuiu para obtenção de silagens com maior teor de ácido láctico. Entretanto, somente o tratamento NHA foi capaz de reduzir a contagem de clostrídios em ambas as maturidades. Weissbach et al. (1989) e Reuter e Weissbach (1991) mostraram em o total de 143 ensaios realizados entre 1984 e 1989, que a combinação de nitrito de sódio (900 g/t) e hexamina (600 g/t) foi tão eficaz quanto 4 L/t de ácido fórmico (85%) na redução da carga de esporos de clostrídios e na restrição da atividade metabólica de clostrídios durante a fermentação, indicado por menores teores de ácido butírico e outros produtos de fermentação indicativos da atividade de clostrídios (e.g. isobutírico, isovalérico e valérico).

Kaiser et al. (2002) demonstraram que em forragens com baixo teor de nitrato deve haver fermentação butírica mesmo com queda de pH no início da fermentação, demonstrando que a atividade dos clostrídios não pode ser suprimida somente por abaixamento de pH.

Comportamento semelhante foi observado para o teor de $\text{NH}_3\text{-N}$. De acordo com Muck (1996), menores valores de N-NH_3 indicam inibição de microrganismos proteolíticos. Os valores de N-NH_3 também reduziram com o avanço da idade de rebrote, provavelmente pela diminuição da atividade de clostrídios e pela menor disponibilidade

de frações nitrogenadas mais facilmente degradáveis no silo. Reduções dos valores de pH e $\text{NH}_3\text{-N}$ em silagens de capim-braquiária também foram relatadas por Santos et al. (2011).

Além de altas concentrações de ácidos butírico e valérico, as silagens não tratadas mostraram características adicionais que são associadas no crescimento de clostrídios em silagem de gramíneas tropicais e temperadas, bem como de alfafa, por exemplo. g. baixas concentrações de ácido lático e teor relativamente alto de ácido acético (mais eficiente para controle de fungos filamentosos e leveduras, o que melhora a estabilidade aeróbia), bem como proporção elevada de N-NH_3 (Namihira et al., 2010; Auerbach et al., 2016; Tomaz et al., 2018). As silagens não tratadas apresentaram concentrações de ácido butírico (10,6 e 6,95 g/kg MS, para 5 e 10 semanas, respectivamente) mais elevadas do que o limite máximo considerado para classificar silagens bem ou mal fermentadas (3 g/kg MS; Kaiser et al., 2002). A adição dos aditivos químicos reduziu as perdas de nutrientes durante a fermentação, em ambas as maturidades. A inibição de microrganismos indesejáveis, tais como enterobactérias e clostrídios, favoreceu o desenvolvimento de fermentação láctica mais eficiente, reduzindo a perda de nutrientes, principalmente na forma de CO_2 (McDonald et al., 1991).

A contagem de leveduras na abertura do silo foi baixa, o que era esperado, considerando a presença de concentração relativamente alta de AGV, que contém atividade antifúngica (Moon, 1983). Apenas o tratamento NHA apresentou contagens de leveduras acima do limite de detecção, com valor ligeiramente superior para o tratamento NHA para o capim colhido com 5 semanas comparativamente ao capim colhido com 10 semanas. No mesmo sentido, as contagens de fungos foram relativamente baixas e similar entre tratamentos. Como consequência, todas as silagens apresentaram estabilidade aeróbia relativamente longa (> 4,7 dias). Entretanto, o tempo para quebra de estabilidade

aeróbia foi diminuído pela utilização do aditivo químico, como consequência da menor razão $AGV_{nd}/(CS+AL)$, ou seja, menor presença de compostos antifúngicos por unidade de substrato utilizado pelos microrganismos deterioradores. Na prática, silagens de capins bem conservadas devem ser manejadas utilizando ferramentas que visem a prevenção da deterioração aeróbia. Um exemplo disso foi visto com o tratamento NHA, onde a dose do aditivo NHA, foi capaz de melhorar a conservação da silagem quando comparada aos demais tratamentos, mas não eficaz em prolongar a estabilidade aeróbia.

Composição química e digestibilidade das silagens

As alterações em composição química e de digestibilidade das silagens foram alinhadas às alterações do perfil de fermentação. Dentro de cada maturidade, o maior teor de MS observado nas silagens tratadas com inoculante se deve a menor perda de MS durante a fermentação (McDonald et al., 1991). Por inibição da proteólise, a aplicação de aditivo aumentou linearmente o teor de PB e a proporção de PNDR, em ambas as maturidades. Resultados similares foram reportados por Gomes et al. (2021) em silagem de capim-Mombaça tratada com nitrito de sódio (1 g/kg) e hexamina (0,65 g/kg).

A aplicação de aditivo também resultou em silagens com maior teor de carboidratos solúveis e menores teores de frações fibrosas, especialmente a maior dose de aditivo (NHA). Assim, como reportado em Gomes et al. (2001), tais alterações resultaram em aumento na DIVMS. É notório que a DIVMS foi inferior nas silagens colhidas com 10 semanas, comparativamente às silagens colhidas com 5 semanas, de modo que a maturidade teve efeito mais marcante do que o aditivo químico na DIVMS.

CONCLUSÃO

Independentemente da maturidade, o aditivo à base de nitrito de sódio e hexamina, aplicado em dose adequada (NHA), foi capaz de reduzir o desenvolvimento de clostrídios, resultando em menores concentrações de amônia, ácido butírico, menores contagens de esporos de clostrídios e menores perdas de matéria seca durante a fermentação. Colher o capim mais maduro não possibilitou reduzir a dose de aditivo pela metade, enquanto diminuiu bruscamente o valor nutritivo das silagens.

REFERÊNCIAS

- Association of Official Analytical Chemists - AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Arlington, VA, USA.
- Auerbach, H., Nadeau, E., Weiss, K., Theobald, P. 2016. Effects of different sodium nitrite-containing additives on dry matter losses, fermentation pattern and biogenic amine formation in lucerne and cocksfoot silage, in: Rajčáková, L. (Ed.), Proceedings of the 17th International Conference Silage Conservation, Horny Smokovec, Slovakia, 117–118.
- Ávila, C.L.D.S., Pinto, J.C., Figueiredo, H.C.P., Morais, A.R.D., Pereira, O.G., Schwan, R.F. 2009. Estabilidade aeróbia de silagens de capim-mombaça tratadas com *Lactobacillus buchneri*. Revista Brasileira de Zootecnia, 38, 779–787.
- Bernal J. 1974. Evaluation of carbohydrate reserves, yield and quality in three tropical grasses. Iowa State University. (PhD thesis), 178.
- Chaney, A.L., Marbach E.P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clin. Chem. 8, 130–132. <https://doi.org/10.1093/clinchem/8.2.130>.
- Daniel, J.L.P., Jacovaci, F.A., Junges, D., Santos, Santos, M., Lima, J.R., Anjos, I.A., Landell, M.G.A, Huhtanen, P., Nussio, L.G. 2017. Fibre digestibility and its relationships with chemical and morphological traits in thirty-two sugarcane varieties. Grass Forage Sci. 72, 545–555. <https://doi.org/10.1111/gfs.12254>.
- Daniel, J.L.P., Queiroz, O.C.M., Arriola, K.G., Staples, C.R., Romero, J.J., Shin, J.H., Paschoaloto, J.R., Nussio, L.G., Adesogan, A.T. 2016. Effects of maturity at ensiling of bermudagrass and fibrolytic enzyme application on the performance

- of early-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99, 9716–9723.
<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2016-11238>.
- Goering, H.K., Van Soest, P.J. 1970. Foragefiber analysis. Agricultural Handbook No. 379, Agricultural Research Service, Washington, D.C. 1–20.
- Gomes, A.L.M., Auerbach, H.U., Lazzari, G., Moraes, A., Nussio, L.G., Jobim, C.C., Daniel, J.L.P. 2021. Sodium nitrite-based additives improve the conservation and the nutritive value of guinea grass silage. *Animal Feed Science and Technology*, 279, 115033. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115033>.
- Gomide, J.A. 1976. Composição mineral de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais, in: Simpósio Latino-Americano sobre Pesquisa em Nutrição Mineral de Ruminantes em Pastagens, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: EPAMIG, 20–33.
- Hall, M.B., Hoover, W.H., Jennings, J.P., Miller Webster, T.K. 1999. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. *J. Sci. Food Agric.* 79, 2079–2086.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)10970010\(199912\)79:15<2079::AIDJSFA502>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)10970010(199912)79:15<2079::AIDJSFA502>3.0.CO;2-Z).
- Huhtanen P., Kaustell K., Jaakkola S. 1994. The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48, 211–227. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90173-2](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90173-2).
- Jung, H.G., Allen, M.S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of animal science*, 73, 2774-2790.
<https://doi.org/10.2527/1995.7392774x>.

- Kaiser, E., Weiss, K., Polip, I. 2002. A new concept for the estimation of the ensiling potential of forages, in: Gechie, L.M., Thomas, C. (Eds.), Proceedings of the XIII International Silage Conference, Auchincruive, Scotland, 344–358.
- Licitra, G., Hernandez T.M., Van Soest, P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 57, 347–358. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3).
- McDonald, P.J., Henderson, A.R., Heron, S.J.E. 1991. The biochemistry of silage. 2.ed. Mallow: Chalcombe Publications, 340.
- Mertens, D.R. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study *Journal of AOAC international*, 85, 1217–1240. <https://doi.org/10.1093/jaoac/85.6.1217>.
- Mesquita, E.E., Neres, M.A. 2008. Mophogenesis and chemical composition of “*Panicum maximum*” cultivars in function of nitrogen. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 9, 201–209.
- Moon, N.J. 1983. Inhibition of the growth of acid tolerant yeasts by acetate, lactate and propionate and their synergistic mixtures. *The Journal of Applied Bacteriology*, Oxford, 55, 454–460. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1983.tb01685.x>.
- Muck, R. 1996. Inoculant of silage and its effects on silage quality, in: Proc. Informational Conf. Dairy Forage Ind. US Dairy Forage Research, Madison, WI, 43–52.
- Namihira, T., Shinzato, N., Akamine, H., Maekawa, H., Matsui, T. 2010. Influence of nitrogen fertilization on tropical-grass silage assessed by ensiling process monitoring using chemical and microbial community analyses. *J. Appl. Microbiol.* 108, 1954–1965. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04591.x>.

- Neto, E. B., Barreto, L.P. 2011. Análises químicas e bioquímicas em plantas. CEP, 52171, 900.
- Norton, B.W. 1982. Differences in plant species in forage quality, in: International Symposium on Nutritional Limits to Animal Production From Pasture, Sta. Lucia. Proceedings... Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1982, 89–110.
- NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th rev. ed., Natl. Acad. Press, Washington, DC. USA.
- Pahlow, G., Muck, R.E., Driehuis, F. 2003. Microbiology of ensiling. In: Silage Science and Technology. Madison. Proceedings... Madison: ASCSSA-SSSA, Agronomy, 42, 31–93.
- Pryce, J. D. 1969. A modification of Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. *Analyst*. 94, 1151–1152. <https://doi.org/10.1039/an9699401151>.
- Reis, R.A, Rodrigues, L.R.A. 1993. Valor nutritivo de plantas forrageiras. Jaboticabal: Funep, 26.
- Reuter, B., Weissbach, F. 1991. Results of testing chemical preservatives. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 123, 338–341.
- Santos, E.M., Pereira, O.G., Garcia, R., Ferreira, C.L.L.F., Oliveira, J.S., Silva, T.C., Rosa, L.O. 2011. Microbial populations, fermentative profile and chemical composition of signalgrass silages at different regrowth ages. *Rev. Bras. Zootec.* 40, 747–755.

- Stabile, S.D.S., Salazar, D.R., Jank, L., Rennó, F.P., Silva, L.F.P. 2010. Características de produção e qualidade nutricional de genótipos de capim-colonião colhidos em três estádios de maturidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 1418–1428.
- Tomaz, P.K., Araujo, L.C., Sanches, L.A., Santos-Araujo, S.N., Lima, T.O., Lino, A.A., Ferreira, E.M. 2018. Effect of sward height on the fermentability coefficient and chemical composition of Guinea grass silage. *Grass Forage Sci.* 73, 588–598. <https://doi.org/10.1111/gfs.12349>.
- Tylutki, T.P., Fox, D.G., Durbal, V.M., Tedeschi, L.O., Russell, J.B., Van Amburgh, M.E., Overton, T.R., Chase, L.E., Pell, A.N. 2008. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: a model for precision feeding of dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143, 174–202. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.010>.
- Van Amburgh, M.E., Collao-Saenz, E.A., Higgs, R.J., Ross, D.A., Recktenwald, E.B., Raffrenato, E., Chase, L.E., Overton, T.R., Mills, J.K., Foskolos, A. 2015. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: updates to the model and evaluation of version 6.5. *J. Dairy Sci.* 98, 6361–6380. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9378>.
- Van Soest, P. J. 1973. Collaborative study of acid-detergent fiber and lignin. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 56, 781–784. <https://doi.org/10.1093/jaoac/56.4.781>.
- Vasconcelos, W.A., Santos, E.M., Zanine, A.D.M., Pinto, T.F., Lima, W.C., Edvan, R.L., Pereira, O.G. 2009. Valor nutritivo de silagens de capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) colhido em função de idades de rebrotação. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 10, 874–884.
- Weissbach, F. 1967. The determination of buffering capacity of forage plants for the assessment of their ensilability. *Acad. Agricult. Sci.* 92, 211–220.

- Weissbach, F., Honig, H. 1996. Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfütter aus extensivem Anbau [predicting and controlling the course of fermentation of extensively grown grasses]. *Landbauforschung Völkensrode* 46, 10–17.
- Weissbach, F., Schmidt L., Hein E., 1974. Method of anticipation of the run of fermentation in silage making based on the chemical composition of the green fodder. In Sectional Papers International Grassland Congress. Proc. XII International Grassland Congress, Moscow, RU. 3, 663–673.
- Weissbach, F., Strubelt, C. 2008. Correcting the dry matter content of grass silages as a substrate for biogas production. *Landtechnik* 63, 210–211.
- Weissbach, F., Zwierz, P.M., Reuter, B., Köller, S., Weissbach, H., Baronius, B. 1989. Control of the silage fermentation by chemical preserving agents. *Chimicaoggi* 7, 57–60.
- White, L.M. 1973. Carbohydrate Reserves of Grasses: A Review. *Journal of Range Management*, 26, 13–18.
- Wilkinson, J. M. 1983. Silages made from tropical and temperate crops. 2. Techniques for improving the nutritive value of silage. *World Animal Review*.
- Wilson, J.R., Jones, R.N., Minson, O.J. 1986. Influence of temperature on the digestibility and growth of *Macroptilium atropurpureum* and *Panicum maximum* var. *Trichoglume* in subtropical Australian. *Tropical Grasslands*, 20, 145–155.
- Zanine, A.D.M., Santos, E.M., Dórea, J.R.R., Dantas, P.A.D.S., Silva, T.C.D., Pereira, O.G. 2010. Evaluation of elephant grass silage with the addition of cassava scrapings. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 2611–2616.

Tabelas

Tabela 1. Composição química e contagem microbiana do capim-Mombaça fresco colhido com 5 ou 10 semanas de maturidade (n = 4)

Item	5 sem	10 sem	EPM	P-valor
Matéria seca, g/kg MV	232	281	1.1	<0.01
Cinzas, g/kg MS	81.8	86.9	1.02	0.01
EE, g/kg MS	8.40	16.3	1.53	0.01
FDN, g/kg MS	678	724	3.0	<0.01
FDNi, g/kg MS	249	423	3.2	<0.01
FDNi /FDN	0.367	0.584	0.0046	<0.01
FDA, g/kg MS	368	418	2.6	<0.01
LIG, g/kg MS	51.6	83.6	0.77	<0.01
FDNi/LIG	4.83	5.06	0.068	0.05
PB, g/kg MS	128	71.9	0.51	<0.01
Fracionamento de N, % N				
A1	0	0	-	-
A2	287	288	8.3	0.97
B1	272	202	12.2	<0.01
B2	373	402	7.0	0.02
C	68.2	108	1.0	<0.01
PDR, g/kg PB	673	635	1.8	<0.01
PNDR, g/kg PB	327	365	1.8	<0.01
CNF, g/kg MS	105	101	3.7	0.39
Carboidratos solúveis, g/kg MS	17.5	19.0	0.3	0.01
DIVMS	0.655	0.519	0.002	<0.01
pH	6.10	5.96	0.017	<0.01
Capacidade tampão, g/kg MS	43.1	44.0	1.02	0.56
CS/CT	0.405	0.430	0.0121	0.19
Coefficiente de fermentabilidade	26.4	31.5	0.12	<0.01
MS _{min} Weissbach, g/kg MV	417	415	0.9	0.14
MS _{min} Kaiser, g/kg MV	591	589	0.8	0.14
Nitrato, g/kg MS	2.53	1.69	0.045	<0.01
BAL, ufc/g FM	4.46	4.60	0.214	0.66
Clostrídios, ufc/g MV	3.36	2.46	0.162	<0.01
Fungos filamentosos, ufc /g MV	3.70	3.98	0.108	0.10
Leveduras, ufc/g MV	1.60	1.68	0.569	0.92

Tabela 2. Perfil de fermentativo da silagem de capim-Mombaça com 5 ou 10 semanas de maturidade (n = 4)

Item	5 sem			10 sem			EPM	P-valor ¹		
	CON	NHB	NHA	CON	NHB	NHA		S	T	S×T
BAL, ufc/g MV	7.87 ^{bc}	8.35 ^a	8.11 ^{ab}	7.56 ^c	8.15 ^{ab}	8.19 ^{ab}	0.086	0.05	<0.01	0.07
Clostrídios, ufc/g MV	5.55 ^a	5.09 ^a	3.5 ^b	5.2 ^a	4.93 ^a	3.22 ^b	0.153	0.04	<0.01	0.81
Leveduras, ufc/g MV	<1 ^b	<1 ^b	2.75 ^a	<1 ^b	<1 ^b	1.37 ^{ab}	0.475	0.23	<0.01	0.26
Fungos filamentosos, ufc/g MV	3.35	3.22	3.85	3.36	3.31	3.66	0.251	0.88	0.14	0.85
pH	5.55 ^a	4.94 ^c	4.74 ^d	5.28 ^b	4.87 ^c	4.68 ^d	0.027	<0.01	<0.01	<0.01
NH ₃ -N _{corr} , g/kg N	403 ^a	144 ^c	48.3 ^e	363 ^b	101 ^d	19.1 ^f	8.7	<0.01	<0.01	0.72
Ácido láctico, g/kg MS	0.07 ^e	4.93 ^d	27.2 ^b	0.12 ^e	20.2 ^c	33.5 ^a	0.966	<0.01	<0.01	<0.01
Ácido acético, g/kg MS	14.4 ^a	8.71 ^b	5.74 ^b	8.11 ^b	6.60 ^b	7.15 ^b	0.743	<0.01	<0.01	<0.01
Ácido n-butírico, g/kg MS	10.6 ^a	4.64 ^c	1.94 ^{de}	6.95 ^b	3.57 ^{cd}	1.19 ^e	0.395	<0.01	<0.01	<0.01
Etanol, g/kg MS	4.45 ^a	0.865 ^b	0.765 ^b	1.96 ^b	1.66 ^b	1.51 ^b	0.372	0.29	<0.01	<0.01
Ácido propiônico, g/kg MS	3.87 ^a	1.24 ^c	0.858 ^{cd}	2.28 ^b	1.10 ^c	0.355 ^d	0.186	<0.01	<0.01	<0.01
2,3-Butanediol, g/kg MS	3.76 ^a	1.17 ^c	0.803 ^c	2.02 ^b	1.06 ^c	0.312 ^c	0.194	<0.01	<0.01	<0.01
Isopropanol, mg/kg MS	2060 ^a	12.5 ^b	14.3 ^b	106 ^b	13.3 ^b	11.0 ^b	169.62	<0.01	<0.01	<0.01
Ácido isobutírico, mg/kg MS	1528 ^a	484 ^c	321 ^{cd}	953 ^b	389 ^{cd}	95.3 ^d	84.362	<0.01	<0.01	0.02
Ácido n-valérico, mg/kg MS	983 ^a	352 ^c	199 ^{cd}	574 ^b	244 ^{cd}	91.2 ^d	49.42	<0.01	<0.01	<0.01
2-Butanol, mg/kg MS	856 ^a	65.3 ^b	1.75 ^b	1028 ^a	1093 ^a	92.3 ^b	105.32	<0.01	<0.01	<0.01
Ácido isovalérico, mg/kg MS	677 ^a	237 ^{bc}	112 ^{cd}	317 ^b	149 ^{cd}	24.8 ^d	38.06	<0.01	<0.01	<0.01
1,2-Propanodiol, mg/kg MS	247 ^b	16.8 ^b	12.5 ^b	983 ^a	13.5 ^b	6.50 ^b	81.71	<0.01	<0.01	<0.01
Acetato de etila, mg/kg MS	41.8 ^{ab}	6.00 ^c	2.75 ^c	50.0 ^a	31.3 ^{ab}	24.3 ^{bc}	5.465	<0.01	<0.01	0.24
1-Propanol, mg/kg MS	11.0	7.25	5.75	6.00	4.00	5.75	1.682	0.06	0.14	0.31
Acetato de propila, mg/kg MS	4.00	2.75	1.75	2.20	2.00	1.50	0.785	0.15	0.17	0.57
Lactato de etila, mg/kg MS	2.20 ^b	1.75 ^b	1.75 ^b	5.20 ^a	1.50 ^b	4.00 ^{ab}	0.571	<0.01	<0.01	0.02
Perda de MS, g/kg MS	95.2 ^a	46.7 ^c	20.6 ^d	66.5 ^b	31.7 ^{cd}	13.6 ^d	4.49	<0.01	<0.01	0.05
AGVnd/(CS+AL) ²	1.37 ^a	0.785 ^b	0.155 ^c	1.35 ^a	0.235 ^c	0.128 ^c	0.086	0.01	<0.01	<0.01
Estabilidade aeróbia pH, d	10.0 ^a	9.00 ^a	6.25 ^b	10.0 ^a	9.75 ^a	7.00 ^b	0.295	0.05	<0.01	0.34
Estabilidade aeróbia Temp., d	10.0 ^a	9.39 ^a	4.68 ^c	10.0 ^a	10.0 ^a	6.49 ^b	0.319	<0.01	<0.01	0.03
TAC5d, °C	0.00	0.00	5.14	0.00	0.00	0.19	1.419	0.17	0.14	0.18

TAC10d, °C	1.33 ^c	3.32 ^c	33.0 ^a	1.37 ^c	0.07 ^c	21.3 ^b	1.910	<0.01	<0.01	0.02
------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------	-------	-------	------

¹ S: semana; T: tratamento.

² AGVnd/(CS+AL): Razão de ácidos graxos voláteis não dissociados e substrato utilizável (carboidratos solúveis e ácido láctico).

Figura

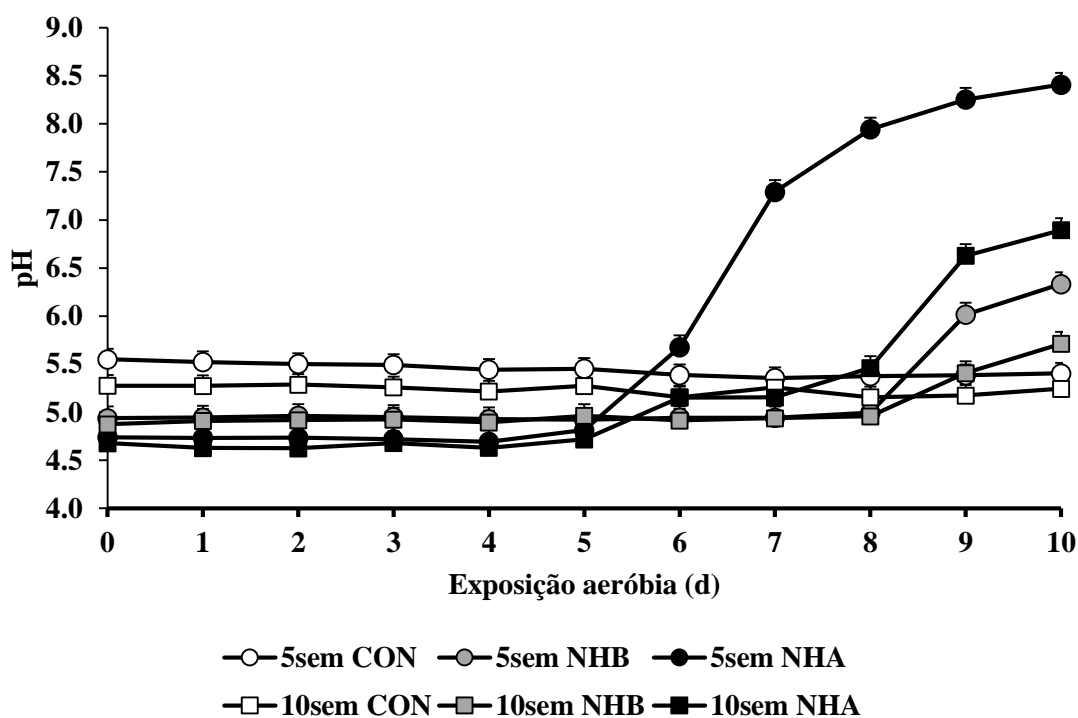


Fig. 1. pH das silagens de capim-Mombaça durante exposição aeróbia por 10 dias. **5sem CON:** silagem de capim colhido com 5 semanas de rebrota, sem aditivo (controle); **5sem NHB:** silagem de capim colhido com 5 semanas de rebrota, tratada com nitrito de sódio a 0,5 g/kg + hexamina a 0,3 g/kg; **5sem NHA:** silagem de capim colhido com 5 semanas de rebrota, tratada com nitrito de sódio a 1 g/kg e hexamina a 0,6 g/kg; **10sem CON:** silagem de capim colhido com 10 semanas de rebrota, sem aditivo (controle); **10sem NHB:** silagem de capim colhido com 10 semanas de rebrota, tratada com nitrito de sódio a 0,5 g/kg + hexamina a 0,3 g/kg; **10sem NHA:** silagem de capim colhido com 10 semanas de rebrota, tratada com nitrito de sódio a 1 g/kg + hexamina a 0,6 g/kg. As barras indicam o erro padrão da média. $P < 0,01$ para interação entre maturidade, aditivo e dia de exposição ao ar.

Tabela 3. Composição química da silagem de capim-Mombaça com 5 ou 10 semanas de rebrota (n = 4)

Item	5 sem			10 sem			EPM	P-valor ¹		
	CON	NHB	NHA	CON	NHB	NHA		S	T	S×T
Matéria seca, g/kg MV	215 ^f	228 ^e	233 ^d	267 ^c	282 ^b	290 ^a	1.1	<0.01	<0.01	0.12
Cinzas, g/kg MS	93.7 ^{ab}	91.0 ^b	90.5 ^b	99.0 ^a	93.3 ^{ab}	92.4 ^b	1.54	0.02	0.01	0.45
EE, g/kg MS	28.2 ^a	19.9 ^b	20.3 ^b	17.8 ^{bc}	17.7 ^{bc}	14.1 ^c	1.17	<0.01	<0.01	0.01
FDN, g/kg MS	649 ^b	647 ^b	643 ^b	718 ^a	717 ^a	705 ^a	3.3	<0.01	0.02	0.43
FDNi, g/kg MS	220 ^d	216 ^d	190 ^e	370 ^a	340 ^b	319 ^c	2.1	<0.01	<0.01	<0.01
FDNi/FDN	0.339 ^d	0.334 ^d	0.297 ^e	0.516 ^a	0.474 ^b	0.452 ^c	0.003	<0.01	<0.01	<0.01
FDA, g/kg MS	398 ^c	364 ^d	359 ^d	432 ^a	423 ^{ab}	415 ^b	3.6	<0.01	<0.01	<0.01
LIG, g/kg MS	56.1 ^b	53.4 ^b	52.8 ^b	86.9 ^a	84.8 ^a	84.5 ^a	1.36	<0.01	0.09	0.95
FDNi/LIG	3.94 ^{abc}	4.06 ^{ab}	3.62 ^c	4.26 ^a	4.01 ^{ab}	3.78 ^{bc}	0.089	0.06	<0.01	0.15
PB, g/kg MS	127 ^c	133 ^b	139 ^a	68.2 ^e	70.3 ^e	78.5 ^d	0.99	<0.01	<0.01	0.18
Fracionamento de N, g/kg N										
A1	403 ^a	179 ^c	114 ^d	363 ^b	153 ^c	113 ^d	8.6	<0.01	<0.01	0.11
A2	121 ^b	268 ^a	312 ^a	100 ^b	263 ^a	269 ^a	12.3	0.03	<0.01	0.32
B1	211	235	228	230	243	203	9.8	0.95	0.06	0.09
B2	214 ^d	258 ^c	282 ^b	226 ^d	256 ^c	309 ^a	4.6	<0.01	<0.01	0.02
C	51.2 ^d	59.5 ^{cd}	64.3 ^c	80.6 ^b	84.2 ^b	107 ^a	2.45	<0.01	<0.01	<0.01
PDR, g/kg PB	783 ^a	733 ^c	714 ^d	750 ^b	710 ^d	673 ^e	2.6	<0.01	<0.01	0.01
PNDR, g/kg PB	217 ^e	267 ^c	286 ^b	250 ^d	290 ^b	327 ^a	2.6	<0.01	<0.01	0.01
CNF, g/kg MS	102	109	107	97.7	102	110	4.1	0.39	0.13	0.40
Carboidratos solúveis, g/kg MS	3.51 ^{bc}	3.39 ^{bc}	3.95 ^b	3.49 ^{bc}	3.25 ^c	5.32 ^a	0.13	<0.01	<0.01	<0.01
DIVMS	0.601 ^b	0.647 ^a	0.659 ^a	0.460 ^d	0.480 ^{cd}	0.494 ^c	0.005	<0.01	<0.01	0.02
Recuperação de MS digestível, g/kg	827 ^d	941 ^b	985 ^a	824 ^d	895 ^c	937 ^b	9.6	<0.01	<0.01	0.05

¹ S: semana; T: tratamento.