



Chemical composition and fermentative characteristics of corn hybrids silages grown in Eastern Amazon

Composição química e características fermentativas de silagens de híbridos de milho cultivados na Amazônia Oriental

Larissa Lourenço de Oliveira¹; Rosana Ingrid Ribeiro dos Santos¹; Nauara Moura Lage Filho²; Thiago Carvalho da Silva¹; Aníbal Coutinho do Rêgo³; Felipe Nogueira Domingues⁴

Abstract: Northeastern Pará is characterized by pluviometric regimes above 2,000 mm, and high nocturnal temperatures. These factors may influence the phenological stages of the corn plant and consequently the quality of the silage. The objective of this study was to determine the chemical composition, fermentative characteristics, and counts of molds and yeasts of four corn hybrids silages grown in northeastern Pará. Four corn hybrids of an early cycle were used: K9105, 2B688, RB9006, K9960. The cultivation was carried out in a no-tillage system, in the municipality of Igarapé-Açu (PA), in an area of two hectares divided into four plots (one for each hybrid), with four useful areas per plot, to collect forage to be ensiled. The ensiling was done in PVC silos with capacity for 2.5 kg of forage in a density of 600 kg of MN m⁻³. The data were analyzed in a completely randomized design with four replicates (useful areas) per treatment (hybrids). The silos were stored for 90 days. The pH varied between 3.44 and 3.71 for the silages of the studied hybrids, being within the limits desirable for quality silage. The hybrid silage K9960 presented lower dry matter content than K9105 and 2B688 but like RB9006. It is concluded that all the hybrids studied can be used in the production of silages. It is recommended that the dry matter content of the hybrids be monitored before harvest due to differences in senescence.

Key words: Forage conservation. Aerobic stability. Yeasts. Molds.

Resumo: O Nordeste paraense é caracterizado por regimes pluviométricos superiores a 2.000 mm e por temperaturas noturnas elevadas. Tais fatores podem influenciar os estádios fenológicos da planta de milho e, por consequência, a qualidade da silagem. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de híbridos de milho na composição química e, características fermentativas das silagens produzidas. Foram utilizados quatro híbridos de milho de ciclo precoce (K9105, 2B688, RB9006, K9960). Os cultivos foram realizados em plantio direto, em dois hectares divididos em quatro parcelas (uma para cada híbrido). A ensilagem foi feita em silos PVC com capacidade para 2,5 kg de forragem em densidade de 600 kg de MN m⁻³. As amostras foram analisadas em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições obtidas aleatoriamente de cada tratamento (híbridos). A silagem foi armazenada por um período de 90 dias. O pH variou entre 3,44 e 3,71 para as silagens dos híbridos estudados, estando nos limites desejáveis para silagem de qualidade. A silagem do híbrido K9960 apresentou menor teor de matéria seca em relação aos K9105 e 2B688, porém semelhante ao RB9006. Os híbridos estudados podem ser utilizados na produção de silagens, mas há variação de ciclo entre eles. Para os híbridos K9960 e RB9006 requerem colheitas mais cedo para maximizar a matéria seca.

Palavras-chave: Conservação de forragem. Estabilidade aeróbia. Leveduras. Mofos.

*Corresponding author

¹Federal Rural University of Amazon (UFRA), Institute of Health and Animal Production, Tancredo Neves Avenue, 2501, Terra Firme, 66077 -830, Belém-PA, Brazil. E-mails: lourencolarissa50@gmail.com, rosanaingridribeiro@gmail.com, thiago.silva@ufra.edu.br

²Federal University of Roraima (UFRR), Animal Science Department, BR-174 Km 12, Monte Cristo, 69301-970, Boa Vista-RR, Brazil. E-mail: nauara.filho@ufr.br

³Federal University of Ceará (UFC), Animal Science Department, Mister Hull Avenue, s/n, Pici, 60355-636, Fortaleza-CE, Brazil. E-mail: anibalcr@ufc.br

⁴Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM), Institute of Agricultural Sciences, Universitária Avenue, 1000, Universitários, 38610-000, Unaí-MG, Brazil. E-mail: felipe.domingues@ufvjm.edu.br

INTRODUCTION

The Northeastern Pará mesoregion is characterized by seasonal rainfall distribution, with a hot and humid monsoon tropical climate, where the hottest month has temperatures above 22°C (ALVARES *et al.*, 2013). These climatic conditions can affect the development of forage crops, especially corn, which depends on adequate temperature and precipitation for the occurrence of specific phenological events.

When daily average temperatures exceed 26°C, the grain-filling process may accelerate (BORÉM *et al.*, 2017). Consequently, the producer may miss the optimal harvest time for silage due to the anticipation of certain events, such as flowering and grain filling. The silage process requires planning and organization due to the use of machinery for forage harvesting, which many producers do not own and need to rent or borrow from other farms.

In Brazilian dairy farms, corn is the most commonly used forage crop for silage production (BERNARDES; RÊGO, 2014). Therefore, attention should be given to the hybrids available on the market and their performance in silage production under specific climatic conditions. Few studies have evaluated hybrid performance in regions with high precipitation (>2000 mm) and temperatures above 26 °C, such as the northeastern Pará mesoregion. Corn cultivation requires an optimal precipitation range of 400-600 mm, and conditions above or below this range may negatively affect the crop (BORÉM *et al.*, 2017). Most studies on hybrids focus only on forage yield (NEUMANN *et al.*, 2021a; SARIJALOO *et al.*, 2021), while few assess both silage fermentation characteristics and chemical composition (MENDONÇA *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2021; NEUMANN *et al.*, 2021b).

A key indicator for evaluating silage quality control during production is its complete chemical composition. However, in Brazil, this information is not always fully obtained, as the required analyses are complex and resource-intensive (ZARDIN *et al.*, 2017). The market offers various hybrids for silage production, but the lack of information on the silages produced from these hybrids under different climatic conditions makes it difficult for technicians and producers to make informed decisions on the best material to cultivate based on the region's edaphoclimatic characteristics.

INTRODUÇÃO

A mesorregião Nordeste paraense é caracterizada por distribuição sazonal de chuvas, com clima tropical de monção quente e úmido, com temperaturas do mês mais quente acima de 22 °C (ALVARES *et al.*, 2013). Essas condições climáticas podem interferir no desenvolvimento de forrageiras, principalmente da planta de milho, que é dependente de temperatura e precipitação adequadas, para ocorrência de determinados eventos fenológicos da planta.

Em ocasião que ocorra temperaturas médias diárias acima de 26 °C, o processo de enchimento de grãos pode ser acelerado (BORÉM *et al.*, 2017). Consequentemente, o produtor pode perder o ponto de colheita da forrageira para ensilagem, por conta da antecipação de determinados eventos, como florescimento, e o enchimento dos grãos. As etapas da ensilagem exigem planejamento e organização devido ao uso de maquinários para colheita da forragem, implementos que o produtor muitas vezes não possui e necessita alugar ou pegar emprestado de outra propriedade.

Em fazendas leiteiras do Brasil, o milho é a forrageira mais utilizada para produção de silagem (BERNARDES; RÊGO, 2014). Assim, deve-se ter atenção com os híbridos disponíveis no mercado e o desempenho destes na produção de silagens de acordo com as características climáticas. Existem poucos trabalhos sobre o desempenho de híbridos em regiões com elevada precipitação (> 2000 mm) e temperatura (> 26 °C), como a mesorregião nordeste paraense. A cultura do milho exige faixa ideal de precipitação de 400-600 mm, situações acima dessa faixa ou abaixo podem prejudicar a cultura (BORÉM *et al.*, 2017). A maioria dos trabalhos com híbridos avalia somente a forragem (NEUMANN *et al.*, 2021; SARIJALOO *et al.*, 2021), poucos avaliam as características fermentativas da silagem aliada à composição química (MENDONÇA *et al.* 2020; LIU *et al.*, 2021; NEUMANN *et al.*, 2024).

Para avaliar o controle de qualidade da silagem durante o seu processo de produção, um bom indicador é a composição química completa. No entanto, no Brasil, essa informação nem sempre é alcançada de forma completa, uma vez que são análises complexas que demandam mais recursos (ZARDIN *et al.*, 2017). No mercado, existem vários híbridos destinados à produção de silagem, no entanto, a falta de informações sobre as silagens produzidas a partir desses híbridos em diferentes condições climáticas dificulta a tomada de decisão do técnico e do produtor acerca do melhor material a ser cultivado em sua localidade de acordo com as características edafoclimáticas da região.

It was hypothesized that corn hybrids in the study region exhibit differences in chemical composition and fermentation characteristics, with varying dry matter content at harvest for silage, thereby influencing fermentation process parameters. Thus, this study aimed to determine the fermentation quality and chemical composition of commercial corn hybrids cultivated in northeastern Pará.

MATERIAL AND METHODS

The planting of the hybrids was carried out in the experimental field of the Igarapé-Açu School Farm (FEIGA), in Igarapé-Açu, Pará, located at 01°07'44" S latitude, 47°37'12" W longitude, with an average altitude of 33 m. The planting period took place between March and June 2018. According to the Köppen classification, the region's climate is classified as Am (ALVARES *et al.*, 2013). Based on data from the meteorological station of Embrapa Amazônia Oriental in Igarapé-Açu, total precipitation during the crop cycle was 1,082 mm.

The experiment was conducted in a completely randomized design, with treatments consisting of four early-cycle corn hybrids: K9105 VIP3 (single hybrid), 2B688 (double hybrid), RB9006 PRO 3 (single hybrid), and K9960 VIP3 (single hybrid), with four replicates.

In March, the four corn hybrids were planted in plots of 40 × 50 m, with a row and plant spacing of 0.75 × 0.20 m, totaling a sowing density of 66,666 plants ha⁻¹. The initial fertilization included 300 kg ha⁻¹ of NPK 08-40-08, while topdressing fertilization consisted of 400 kg ha⁻¹ of urea and 200 kg ha⁻¹ of potassium chloride, following the recommendations of Borém *et al.* (2017).

After 100 days of sowing (when 1/3 to 2/3 of the kernel milk line was filled), four representative areas (3 × 5 m) were selected at the center of each plot, and all plants within these areas were harvested. The plants were manually harvested at 20 cm from the ground using a cutting blade. After harvest, the plants were identified according to the useful areas of the plot and treatments (hybrids), weighed, and chopped into 1–2 cm pieces using a tractor-mounted forage harvester (JF C120, JF Máquinas).

Levantou-se a hipótese que os híbridos de milho na região de estudo apresentam composição química e características fermentativas diferentes entre si, apresentando teor de matéria seca diferente no momento da colheita para ensilagem, influenciando os parâmetros do processo fermentativo. Assim, objetivou-se determinar a qualidade fermentativa e a composição química de híbridos de milho comercial cultivados no nordeste paraense.

MATERIAL E MÉTODOS

O plantio dos híbridos foi conduzido no campo experimental da Fazenda Escola de Igarapé-Açu (FEIGA), em Igarapé-Açu, Pará, localizada a 01°07'44" de latitude Sul, 47° 37'12" de longitude Oeste, com altitude média de 33 m. O período do plantio ocorreu entre os meses de março e junho de 2018. Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am (ALVARES *et al.*, 2013). De acordo com os dados obtidos da estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental de Igarapé-Açu, durante o período de condução da lavoura, a precipitação total foi de 1.082 mm.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizados, com tratamentos constituídos por quatro híbridos de milho de ciclo precoce: K9105 VIP3 (híbrido simples), 2B688 (híbrido duplo), RB9006 PRO 3 (híbrido simples) e K9960 VIP3 (híbrido simples), com quatro repetições.

No mês de março, foi realizado o plantio dos quatro híbridos de milho em parcelas de 40 × 50 m, com espaçamento entre linhas e entre plantas de 0,75 x 0,20 m, totalizando a densidade total de semeadura de 66.666 plantas ha⁻¹. Na adubação inicial foram usados 300 kg ha⁻¹ de NPK 08-40-08 e, na adubação de cobertura, foram usados 400 kg ha⁻¹ de ureia e 200 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, seguindo recomendação de Borém *et al.* (2017).

Após as plantas completarem 100 dias da semeadura (entre 1/3 e 2/3 da linha do leite do grão preenchidas), foram determinadas quatro áreas úteis no centro de cada parcela (3 × 5 m), onde foram coletadas todas as plantas de cada híbrido. A colheita das plantas foi feita de forma manual a 20 cm do solo com auxílio de lâmina cortante. Após a colheita, as plantas identificadas de acordo com as áreas úteis da parcela e tratamentos (híbridos) foram pesadas e trituradas (1 – 2 cm) em colhedora tracionada por trator modelo (JF C120, JF máquinas).

The material was homogenized, and a sample of the chopped material was collected to determine the chemical composition of the plants before ensiling (Table 1). The remaining material was packed into experimental PVC silos measuring 10 cm in diameter and 45 cm in height, until reaching approximately 2.1 kg of fresh matter per silo, corresponding to a density of 600 kg MN m⁻³. After 91 days of ensiling, the silos were opened.

O material triturado foi homogeneizado, retirando-se uma amostra para determinação da composição química das plantas antes da ensilagem (Tabela 1). O restante do material foi compactado em silos experimentais de PVC medindo 10 cm de diâmetro e 45 cm de altura, até atingir aproximadamente 2,1 kg de matéria natural por silo, o que corresponde a uma densidade de 600 kg MN m⁻³. Após 91 dias da ensilagem, os silos foram abertos.

Table 1 - Chemical composition of corn hybrids cultivated in northeastern Pará before ensiling

Tabela 1 - Composição química de híbridos de milho cultivados no nordeste do Pará antes da ensilagem

%	Corn hybrids			
	K9105	2B688	RB9006	K9960
DM	45,07	37,66	37,14	35,15
OM	97,8	96,76	98,28	97,42
EE	2,2	3,24	2,44	2,58
CP	5,89	6,1	7,62	9,56
NDF	49,49	51,89	50,58	46,89

DM: Dry Matter; OM: Organic Matter; EE: Ether Extract; CP: Crude Protein; NDF: Neutral Detergent Fiber.

MS: Matéria seca; MO: Matéria orgânica; EE: Extrato etéreo; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro.

After opening the experimental silos, 1.5 kg of silage was collected and placed in 5 L plastic buckets in a temperature-controlled room (26 °C) to assess the aerobic stability of the silages over seven consecutive days. The room and silage temperatures were recorded every four hours (09:00 a.m., 1:00 p.m., 5:00 p.m., 9:00 p.m., 01:00 a.m., and 05:00 a.m.) using a digital probe thermometer (MV-363 Minipa®) inserted into the silage mass and placed in the environment for temperature measurement. Aerobic stability was measured as the number of hours until the silage temperature reached 2 °C above ambient temperature. During the aerobic stability assessment, several factors were measured, including the time required for the silage temperature to rise 2 °C above ambient temperature (Est) (CHERNEY & CHERNEY, 2003), the time taken for the silage mass to reach maximum temperature (HmáxT), the maximum temperature (Tmáx), and the difference between the silage and the ambient temperatures (Amplitude - Amp).

Após abertura dos silos experimentais, foram coletados 1,5 kg de silagem e colocados em baldes plásticos de 5 L em sala com temperatura controlada (26 °C), para avaliação da estabilidade aeróbia das silagens, durante sete dias ininterruptos. A temperatura da sala e da silagem foi registrada a cada 4 horas (09:00; 13:00; 17:00; 21:00; 01:00 e 05:00 horas) por meio de termômetro digital tipo espeto (MV-363 Minipa®) inserido no interior da massa e colocado no ambiente para aferição da temperatura. A estabilidade aeróbia foi medida como o número de horas até a temperatura da silagem atingir 2 °C acima da temperatura ambiente. Durante a avaliação da estabilidade aeróbia, foram determinados alguns fatores: Tempo em que a temperatura da silagem levou para elevar 2 °C acima da temperatura ambiente (Est) (CHERNEY; CHERNEY, 2003), Tempo que a massa de silagem levou para atingir temperatura máxima (HmáxT), Temperatura máxima (Tmáx), Diferença entre a temperatura da silagem e do ambiente (Amplitude - Amp).

The pH was determined at silo opening (pH) and after seven days of aerobic exposure (pH-7d). To determine pH, 25 g of fresh silage were placed in a beaker with 100 mL of distilled water (Bolsen *et al.*, 1992). The samples were then homogenized with a glass rod, and after 30 minutes, the pH was measured using a Tekna T-1000 electrode.

For ammoniacal nitrogen (N-NH₃) determination, 4 mL of aqueous extract (supernatant from the mixture of corn silage with 0.2N sulfuric acid) and 20 mL of distilled water were added to a digestion tube. Then, 10 mL of 2N potassium hydroxide solution was added, and the sample was distilled until approximately 100 mL was recovered, following the 941.04 method (AOAC, 1990). Subsequently, titration was performed with 0.005N hydrochloric acid.

To quantify yeast and mold, 25 g of silage was collected at silo opening. An aqueous extract (1:10) with peptone water (1 g L⁻¹) was homogenized for 4 minutes in a sterile bag. Yeast and mold counts were determined by serial dilutions (up to five times) plated on Potato Dextrose Agar (Fluka, Sigma Aldrich Química Brasil LTDA) using the surface plating technique. The plates were incubated at 26 °C for 72 hours before colonies were counted based on morphological characteristics. Corn silage samples were thawed, pre-dried in a forced-air oven at 55 °C, and then ground in a Willey-type knife mill with a 1 mm sieve.

The contents of dry matter (DM) (Official Method-934.01), mineral matter (MM) and organic matter (OM) (Official Method 923.03), and crude protein (CP) (Official Method 978.04) were determined according to the official methods of AOAC (1990). Neutral detergent fiber (NDF) analyses were performed using an autoclave, following the INCT-CA F-001/1 method (DETMANN *et al.*, 2021). NDF content was determined using a gravimetric method with thermostable alpha-amylase (method 2002.04; AOAC, 1990). NDF values were corrected for ash content (MERTENS, 2002) and protein (LICITRA *et al.*, 1996). The non-fibrous carbohydrate (NFC) content was calculated according to Detmann and Valadares Filho (2010). Mold and yeast count data were log₁₀-transformed for presentation and statistical analysis.

O pH foi determinado na abertura dos silos experimentais (pH) e após sete dias de exposição aeróbia da silagem (pH-7d). Para determinação do pH, 25 gramas de silagem fresca foram colocadas em um béquer com 100 mL de água destilada (Bolsen *et al.*, 1992). Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas com bastão de vidro. Após a homogeneização, aguardaram-se 30 minutos para leitura do pH com auxílio de eletrodo Tekna modelo T-1000.

Para determinação do nitrogênio amoniacal (N-NH₃), em um tubo de digestão, foram adicionados 4 mL de extrato aquoso (sobrenadante composto da mistura silagem de milho com adição de ácido sulfúrico 0,2N) e 20 mL de água destilada. Foram adicionadas 10 mL de solução de hidróxido de potássio (2N), e procedeu-se a destilação até recuperar cerca de 100 mL segundo método 941.04 (AOAC, 1990). Após isso, realizou-se titulação com ácido clorídrico (0,005N).

Foram coletados 25 g de silagem na abertura dos silos para a quantificação de leveduras e mofos. Utilizou-se extrato aquoso (1:10) com água peptonada (1g L⁻¹ de água), homogeneizado durante 4 minutos em saco estéril. O número de leveduras e mofos foram determinados vertendo-se diluições seriadas de 5 vezes do meio Potato dextrose ágar (Fluka, Sigma Aldrich Química Brasil LTDA) pela técnica de plaqueamento em superfície. As placas foram incubadas a temperatura de 26 °C por 72 horas antes das colônias serem contabilizadas com base nas características morfológicas. As amostras de silagem de milho foram descongeladas e submetidas à pré-secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C e posteriormente moídas em moinho de faca tipo Willey, com peneira com crivo de um mm de diâmetro.

Os conteúdos de matéria seca (MS) (Método Oficial-934.01), matéria mineral (MM e MO) (Método Oficial 923.03) e proteína bruta (PB) (Método Oficial 978.04) foram realizados segundo métodos oficiais da AOAC (1990). As análises da fibra em detergente neutro (FDN) foram realizadas em autoclave de acordo com o método INCT-CA F-001/1 (DETMANN *et al.*, 2021). O teor de FDN foi determinado por método gravimétrico, utilizando alfa-amilase termoestável (método 2002.04; AOAC, 1990). Os valores de FDN foram corrigidos para cinzas (MERTENS, 2002) e proteínas (LICITRA *et al.*, 1996). O conteúdo de carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculado segundo Detmann e Valadares filho (2010). Os dados de contagem de mofos e leveduras foram transformados para log₁₀ para apresentação e análise estatística.

Data were analyzed using the PROC MIXED procedure of SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC), with assumptions of normal distribution and variance homogeneity tested using the Cramer-Von Mises and Bartlett tests, respectively. If assumptions were met, data were subjected to analysis of variance, followed by Tukey's test ($p \leq 0.05$) for hybrid comparison.

Os dados foram analisados usando o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC), sendo testadas as pressuposições de normalidade de distribuição e homogeneidade de variância pelos testes de Cramer Von Mises e Bartlett, respectivamente. Atendidos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância, seguida do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação dos híbridos.

RESULTS

There was no effect of the hybrid type on the variables: stability, hours to reach maximum temperature, maximum temperature, amplitude, pH-7d, mold and yeast count, as well as ammoniacal nitrogen ($p > 0.05$) (Table 2). However, the hybrid type had a significant effect on the pH of the silages measured at silo opening ($p \leq 0.05$) (Table 2).

RESULTADOS

Não houve efeito do tipo de híbrido sobre as variáveis: estabilidade, horas para atingir a temperatura máxima, temperatura máxima, amplitude, pH-7d, contagem de mofo e leveduras e nitrogênio amoniacal ($p > 0,05$) (Tabela 2). Houve efeito do tipo de híbrido no pH das silagens mensurado na abertura dos silos ($p \leq 0,05$) (Tabela 2).

Table 2 - Aerobic stability, fermentation characteristics and mold and yeast counts of silages from corn hybrids grown in Northeastern of Pará

Tabela 2 - Estabilidade aeróbia, características fermentativas e contagem de mofo e leveduras de silagens de híbridos de milho cultivados no Nordeste do Pará

Variables	Corn hybrids				P-value	CV (%)	SEM
	K9105	2B688	RB9006	K9960			
Est (h)	81,7	59,0	90,0	80,0	0,45	27,3	4,98
HmáxT (h)	142,0	124,0	113,0	126,0	0,73	16,5	4,51
Tmáx (°C)	31,32	31,37	34,77	33,27	0,19	7,40	0,63
Amp (°C)	5,33	5,38	8,78	7,28	0,19	36,5	0,62
pH	3,71a	3,57ab	3,49b	3,44b	0,01	2,00	0,04
pH-7d	4,96	5,91	4,08	6,79	0,13	28,1	0,44
N-NH ₃ (%TN)	8,44	9,88	10,56	8,75	0,38	19,7	0,37
Mold (cfu g ⁻¹)	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	0,29	37,8	0,09
Yeast. (cfu g ⁻¹)	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	0,17	112,5	0,09

Est: Time in hours until the silage temperature rises 2 °C above ambient temperature; HmáxT: Time in hours required to reach maximum temperature; Tmax: Maximum temperature; Amp: Difference between maximum and ambient temperature; pH: pH measured at silo opening; pH-7d: pH measured after 7 days of silage exposure to air; Lev: Yeasts; SEM: Standard error of the mean; * Means followed by different lowercase letters in the rows differ between treatments according to Tukey's test ($p \leq 0.05$).

Est: Tempo em horas até a temperatura da silagem subir 2 °C acima da temperatura ambiente; HmáxT: Tempo em horas necessário para alcançar a temperatura máxima; Tmax: Temperatura máxima; Amp: Diferença entre a temperatura máxima e a ambiente; pH: pH mensurado na abertura dos silos; pH-7d: pH mensurado após 7 dias de exposição das silagens ao ar; Lev: Leveduras; SEM: Erro padrão da média; *Médias seguidas por letras minúsculas nas linhas diferem entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

There was no effect of the hybrid type on the contents of organic matter, ether extract, neutral detergent fiber corrected for ash and protein, as well as non-fibrous carbohydrates ($p>0.05$) (Table 3). The hybrid type influenced the dry matter ($p\leq0.05$) and crude protein ($p\leq0.05$) contents of the silages in this study (Table 3). The K9105 hybrid had a higher dry matter content than the RB9006 and K9960 hybrids, being similar to the 2B688 hybrid. The 2B688 hybrid was similar to RB9006. On the other hand, the RB9006 hybrid was similar to K9960.

Não houve efeito do tipo de híbrido sobre os teores de matéria orgânica, extrato etéreo, fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína e carboidratos não fibrosos ($p>0,05$) (Tabela 3). O tipo de híbrido influenciou nos teores de matéria seca ($p\leq0,05$) e proteína bruta ($p\leq0,05$) das silagens do estudo (Tabela 3). O híbrido K9105 apresentou teor de matéria seca superior aos híbridos RB9006 e K9960, sendo semelhante ao híbrido 2B688. O híbrido 2B688 foi semelhante ao RB9006. Por outro lado, o híbrido RB9006 foi semelhante ao K9960.

Table 3 - Chemical Composition of Corn Hybrid Silages Cultivated in Northeastern Pará

Tabela 3 - Composição química de silagens de híbridos de milho cultivados no Nordeste do Pará

Variables	Corn hybrids				P-value	CV (%)	SEM
	K9105	2B688	RB9006	K9960			
DM	46,52a	43,94ab	38,44bc	35,74c	0,02	14,2	1,86
OM	98,17	97,89	97,92	97,8	0,68	0,40	0,06
EE	2,17	2,07	1,64	1,55	0,08	17,3	0,12
CP	5,51b	6,85a	7,23a	7,56a	0,01	5,10	0,34
NDFap	34,54	32,08	36,69	35,65	0,23	8,80	0,75
NFC	55,96	56,89	52,44	52,95	0,19	5,80	0,83

DM: Dry matter; OM: Organic matter; EE: Ether extract; CP: Crude protein; NDF: Neutral detergent fiber; NDFap: Neutral detergent fiber corrected for ash and protein; NFC: Non-fibrous carbohydrates; N-NH3: Ammoniacal nitrogen as a percentage of total nitrogen; SEM: Standard error of the mean; *Means followed by lowercase letters in the rows differ between treatments according to Tukey's test ($p\leq0.05$).

MS: Matéria seca; MO: Matéria orgânica; EE: Extrato etéreo; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDNcp: Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteínas; CNF: Carboidratos não fibrosos; N-NH3: Nitrogênio amoniacal em porcentagem do nitrogênio total; SEM: Erro padrão da média; *Médias seguidas por letras minúsculas nas linhas diferem entre os tratamentos pelo teste Tukey ($p\leq0,05$).

DISCUSSION

The pH value at the opening of the experimental silos was higher for the K9105 hybrid compared to the RB9006 and K9960 hybrids. The 2B688 hybrid was similar to all others. Corn silages with dry matter content between 30% and 40% tend to maintain a pH between 3.7 and 4.0 (KUNG *et al.*, 2018; NEUMANN *et al.*, 2024). It was observed that the silage of all hybrids, at the opening of the mini-silos, had pH values below 3.7, which is considered a satisfactory result.

DISCUSSÃO

O valor de pH na abertura dos silos experimentais foi mais elevado para o híbrido K9105 em relação aos híbridos RB9006 e K9960. O híbrido 2B688 foi semelhante a todos os demais. Silagens de milho com teor de matéria seca entre 30 a 40% tendem a manter o pH entre 3,7 a 4,0 (KUNG *et al.*, 2018; NEUMANN *et al.*, 2024). Observa-se que as silagens de todos os híbridos na abertura dos mini-silos apresentaram valores de pH abaixo de 3,7, sendo um resultado satisfatório.

The satisfactory results can be confirmed by the data on molds and yeasts, which remained below 2.0 log CFU g⁻¹, indicating that anaerobiosis inside the silo and the fermentation process were effective in inhibiting the growth of these microorganisms. Yeasts are usually the first microorganisms to initiate the aerobic deterioration of silages (SILVA *et al.*, 2015; BERNARDES *et al.*, 2018). They consume the acids produced during the fermentation process, generating CO₂, ethanol, and ATP, which causes the silage temperature to rise, leading to a loss of aerobic stability (MENDONÇA *et al.*, 2020).

The ammoniacal nitrogen (N-NH₃) levels in the silages remained below 10% of the total nitrogen, except for the RB9006 hybrid, indicating that secondary fermentations, caused by spoilage microorganisms such as clostridia, were not predominant. High concentrations of N-NH₃ and soluble nitrogen are typically found in silages with high moisture content (KUNG *et al.*, 2018), which contrasts with the silages in this study, as they exhibited high dry matter content.

The conditions for clostridial fermentation to occur are low dry matter content, high buffering capacity, and consequently inadequate acidification (ÁVILA; CARVALHO, 2020; HUFFMAN *et al.*, 2023). In a study using additives to inhibit the growth of clostridia in silages, König *et al.* (2017) demonstrated a decrease in ammoniacal nitrogen and butyric acid values, which are products formed during fermentation by clostridia. Since the pH of the silages at the opening of the experimental silos in this study ranged up to 3.71, and the dry matter content of the silage at harvest was above 35% (Table 1), it can be inferred that there were no significant secondary fermentations that could impair the fermentation process of the silages of the maize hybrids.

All hybrids in the silage process showed dry matter values above 35% (Table 1). According to Borreani *et al.* (2003), greater economic benefits are achieved when the forage is harvested between 32% and 35% dry matter. In regions where night temperatures exceed 24 °C, the maize plant cycle is shortened due to the increased thermal sum (BORÉM *et al.*, 2017). It should be considered that the region where the hybrids were cultivated in this study has a high average temperature, which may have contributed to this acceleration of the plant's phenological cycle. Thus, the hybrid K9960, which had dry matter content closest to the ideal at silage harvest (Table 1) and after silo opening (Table 2), showed greater resistance to plant senescence.

Os resultados satisfatórios podem ser confirmados pelos dados de mofos e leveduras que ficaram abaixo de 2,0 log ufc g⁻¹, indicando que a anaerobiose no interior do silo e o processo fermentativo foram eficientes em inibir o crescimento desses microrganismos. As leveduras são geralmente os primeiros microrganismos a iniciarem a deterioração aeróbia das silagens (SILVA *et al.*, 2015; Bernardes *et al.*, 2018). Elas utilizam os ácidos produzidos durante o processo fermentativo, produzindo CO₂, etanol e ATP, o que faz a temperatura das silagens aumentar, perdendo a estabilidade em aerobiose (MENDONÇA *et al.*, 2020).

Os teores de nitrogênio amoniacal das silagens permaneceram abaixo de 10% do N total, exceto para o híbrido RB9006, o que indica que as silagens não tiveram predominância de fermentações secundárias, realizadas por microrganismos deterioradores, como os clostrídios. Elevadas concentrações de N-NH₃ e N solúvel na massa são encontradas em silagens com elevada umidade (KUNG *et al.*, 2018), diferente das silagens do estudo, que apresentaram elevados teores de matéria seca.

As condições para que fermentações realizadas por clostrídios ocorram são que a massa tenha baixo teor de matéria seca, elevada capacidade tampão e por consequência não seja adequadamente acidificada (ÁVILA; CARVALHO, 2020; HUFFMAN *et al.*, 2023). Em estudo com uso de aditivos para inibir o crescimento de clostrídios em silagens, König *et al.* (2017) demonstraram decréscimo nos valores de nitrogênio amoniacal e ácido butírico, produtos que são formados a partir da fermentação pelos clostrídios. Como o pH das silagens na abertura dos silos experimentais do estudo variou até 3,71, sendo o teor de matéria seca da silagem na colheita acima de 35% (Tabela 1), infere-se que não houve fermentações secundárias de grande magnitude, vindo a prejudicar o processo fermentativo das silagens dos híbridos de milho.

Todos os híbridos na ensilagem (Tabela 1) apresentaram valores de matéria seca acima de 35%. Segundo Borreani *et al.* (2003), maiores benefícios econômicos são alcançados quando a forragem é colhida entre 32 e 35% de matéria seca. Em regiões em que as temperaturas noturnas prevalecem acima de 24 °C ocorre redução no ciclo da planta de milho, devido à ampliação da soma térmica (BORÉM *et al.*, 2017). Deve-se considerar que a região de cultivo dos híbridos no presente estudo apresenta média elevada de temperatura, o que pode ter contribuído para essa antecipação do ciclo fenológico da planta. Assim, o híbrido K9960, que apresentou teor de matéria seca mais próximo do ideal na ensilagem (Tabela 1) e após a abertura do silo (Tabela 2), teve maior resistência a senescência da planta.

Plants with greater resistance to senescence maintain a prolonged green area duration, causing the stems and leaves to be the last structures to dry. This allows the photoassimilates to remain available for translocation throughout the entire grain filling phase (SILVA *et al.*, 2008). The maintenance of grain filling in the final stage of plant maturity has been considered key to the success of this delayed senescence (LUCHE *et al.*, 2015), especially in the case of maize.

Regarding the protein levels, the silages of the hybrids studied presented values close to 7%, except for the hybrid K9105, which had a value of 5.51%. According to Zhao *et al.* (2012), silage with good nutritional value presents protein levels above 7%. However, it is important to note that the nutritional value of maize plants is not directly related to protein levels but rather to energy levels, as maize plants are characterized by their high starch content and low protein content (LIU *et al.*, 2021; CHÁVES *et al.*, 2022).

Both hybrids showed good levels of NDFap (neutral detergent fiber corrected for ash and protein) and NFC (non-fibrous carbohydrates), which demonstrates their nutritional quality in terms of nutrient utilization by animals, regardless of the protein content observed in the diet (MENDONÇA *et al.*, 2020).

CONCLUSION

All hybrids were harvested during the same period, causing the earlier hybrids (K9105 and 2B688) to be ensiled with a higher DM content, which resulted in a lower silage pH. Additionally, a lower protein content was found in the K9105 hybrid. Therefore, it is essential to monitor the crop development stage to avoid material loss. However, as observed in the study, the hybrids RB9006 and K9960, which were harvested at the ideal time, exhibited a good fermentation profile and excellent chemical composition.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank KWS Seeds® and Yara® for providing the materials necessary for conducting the experiments. We would also like to thank the reviewers of the LETRARE project from the Federal University of Ceará, whose dedication and commitment were essential for the completion of this work.

Plantas com maior resistência a senescência possuem prolongamento na duração da área verde, fazendo com que os colmos e as folhas sejam as últimas estruturas a secar, possibilitando que os fotoassimilados estejam disponíveis para translocação durante toda a fase de enchimento dos grãos (SILVA *et al.*, 2008). A manutenção no enchimento dos grãos, no último estágio de maturidade da planta, tem sido considerada chave para o sucesso desse atraso na senescência (LUCHE *et al.*, 2015), principalmente no caso do milho.

Quanto aos teores de proteína, as silagens dos híbridos estudados apresentaram valores próximos de 7%, exceto o híbrido K9105, cujo valor obtido foi de 5,51%. Segundo Zhao *et al.* (2012), silagens com bom valor nutritivo apresentam teores de proteína acima de 7%. No entanto, destaca-se que o valor nutritivo da planta de milho não está relacionado diretamente com os teores de proteína, mas sim com os teores de energia, pois as plantas de milho são caracterizadas pelos seus altos teores de amido e baixos teores de proteína (LIU *et al.*, 2021; CHÁVES *et al.*, 2022).

Ambos os híbridos apresentaram bons níveis de FDNcp e CNF, o que demonstra a qualidade nutricional deles no aproveitamento dos nutrientes pelos animais, independente do teor de proteína observado (MENDONÇA *et al.* 2020).

CONCLUSÕES

Todos os híbridos estudados podem ser utilizados para produção de silagem. Porém, é necessário realizar o monitoramento do teor de matéria seca da cultura até o momento da colheita, uma vez que híbridos de milho apresentam maturidades diferentes, fazendo com que ocorra perda do material devido ao fato de ter passado do ponto de colheita. No trabalho foi observado que os híbridos K9105 e 2B688 atingiram ponto para colheita primeiro que os demais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à KWS Seeds® e à Yara® pelo fornecimento dos materiais necessários para a realização dos experimentos. Agradecemos também aos revisores do projeto LETRARE da Universidade Federal do Ceará, cuja dedicação e comprometimento foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- A. O. A. C. Association of Official Analytical Chemists. 15. Ed. Washington, 1990, 771p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ÁVILA, C. L. S.; CARVALHO, B. F. Silage fermentation-updates focusing on the performance of micro-organisms. **Journal of Applied Microbiology**, v. 128, n. 4, p. 966-984, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14450>
- BERNARDES, T. F.; DANIEL, J. L. P.; ADESGAN, A. T.; MCALLISTER, T. A.; DROUIN, P.; NUSSIO, L. G.; HUHTANEN, P.; TREMBLAY, G. F.; BÉLANGER, G.; CAI, Y. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of Dairy Science**, v. 101, p. 4001-4019, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>
- BERNARDES, T. F.; REGO, A. C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 1852-1861, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7181>
- BOLSEN, K. K.; LIN, C.; BRENT, B. E. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. **Journal of Dairy Science**, v. 75, p. 3066-083, 1992. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78070-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78070-9)
- BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2. ed. Viçosa/UFV, 2017. 382p.
- BORREANI, G.; TABACCO, E.; SCHMIDT, R. J.; HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 2952-3959, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- CHÁVEZ, I. G.; ROMERO, E. M.; ORTEGA, O. C.; ESPARZA, J. Z.; AVALOS, J.; JIMÉNEZ, M. G. Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. **Ciencia Y Tecnología Agropecuaria**, v. 23, n. 3, p. e2547, 2022. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2547
- CHERNEY, J. H.; CHERNEY, D. J. R. Assessing Silage Quality. In: MUCK, R.E.; HARRISON, J.H.; BUXTON, D.R. *Silage Science and Technology*. Madison, WI, 2003. p. 141-198.
- DETMANN, E. L. F.; SILVA, G. C.; ROCHA, M. N. N.; PALMA, J. P. P.; RODRIGUES, J. P. **Métodos para análise de alimentos- INCT - Ciência Animal**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2021. 214p.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, p. 980-984, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000400030>
- HUFFMAN, J.; DROUIN, P.; DUNIÈRE, L. LAPOINTE, G. Fermentation and Microbial Community of Maize Silage Inoculated with *Lentilactobacillus buchneri* NCIMB 40788 and Contaminated with *Bacillus* and *Clostridium* Spore Formers. **Fermentation**, v. 9, n. 9, p. 837, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation9090837>
- KÖNIG, W.; LAMMINEN, M.; WEISS, K.; TUOMIVIRTA, T. T.; MUÑOZ, S. S.; FRITZE, H.; ELO, K.; PUHAKKA, L.; VANHATALO, A.; JAAKKOLA, S. The effect of additives on the quality of white lupin-wheat silage assessed by fermentation pattern and qPCR quantification of clostridia. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 4, p. 757-771, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12276>
- KUNG JR., L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHMIDT, R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of dairy Science**, v. 101, p. 4020-4033, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 57, p. 347-358, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)

LIU, Y.; WANG, G.; WU, H.; MENG, Q.; KHAN, M. Z.; ZHOU, Z. Effect of Hybrid Type on Fermentation and Nutritional Parameters of Whole Plant Corn Silage. **Animals**, v. 11, n. 6, p. 1587, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11061587>

LUCHE, H. S.; SILVA, J. A. G.; MAIA, L. C.; DE OLIVEIRA, A. C. Stay-green: a potentiality in plant breeding. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1755-1760, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140662>

MENDONÇA, R. C. A.; CARDOSO, M. V. S. B.; PANTOJA, S. O.; SOUZA, M. S.; DOMINGUES, F. N.; FATURI, C.; SILVA, T. C.; RÊGO, A. C. Effects of cutting height and bacterial inoculant on corn silage aerobic stability and nutrient digestibility by sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 48, p. e20190231, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz4920190231>

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, p. 1217-1240, 2002.

NEUMANN, M.; BALDISSERA, E.; HORST, E. H.; CRISTO, F. B.; GOMES, R. R.; GIACOMET, J. A. A.; IENKE, L. A.; ROSA, E. S. B.; FERREIRA, B. P. A comparison of the dry matter yield and nutritional value of different corn hybrids for silage production. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 76, n. 6, p. e13212, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-13212>

NEUMANN, M.; HORST, E. H.; CRISTO, F. B.; SOUZA, A. M.; PLODOVISKI, D. C.; COSTA, L. Evaluation of corn hybrids for silage grown in different locations. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 5, p. 1171-1179, 2021b. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-4162-12373>

SARIJALOO, F. B.; PORTA, M.; TASLIMI, B.; PARDALOS, P. M. Yield performance estimation of corn hybrids using machine learning algorithms. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 5, p. 82-89, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2021.05.001>

SILVA, J. A. G.; CARVALHO, F. I. F.; HARTWIG, I.; DE OLIVEIRA, A. C.; BERTAN, I.; CAETANO, V. R.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; RIBEIRO, G.; BUSATO, C. C. Caráter stay-green e produtividade de grãos em trigo. **Bragantia**, v. 67, p. 161-167, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100020>

SILVA, T. C.; SMITH, M. L.; BARNARD, A. M.; KUNG JR, L. The effect of a chemical additive on the fermentation and aerobic stability of high-moisture corn. **Journal of Dairy Science**, v. 98, p. 8904-8912, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9640>

ZARDIN, P. B.; VELHO, J. P.; JOBIM, C. C.; ALESSIO, D. R. M.; HAYGERT-VELHO, I. M. P.; CONCEIÇÃO, G. M.; ALMEIDA, P. S. G. Chemical composition of corn silage produced by scientific studies in Brazil – A meta-analysis. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, p. 503-512, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n1p503>

ZHAO, M.; FENG, Y.; SHI, Y.; SHEN, H.; HU, H.; LUO, Y.; XU, L.; KANG, J.; XING, A.; WANG, S.; FANG, J. Yield and quality properties of silage maize and their influencing factors in China. **Science China Life Sciences**, v. 65, p. 1655-1666, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11427-020-2023-3>