

Composição estrutural da planta e bromatológica da silagem de milho semeado com diferentes arranjos populacionais

Diego Soares Machado¹
Lucas Braido Pereira²
José Laerte Nörnberg¹
Dari Celestino Alves Filho¹
Ivan Luiz Brondani¹
Jailson José Nicolini Frasson¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria, RS

² Instituto Federal Farroupilha, Campus Alegrete

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da combinação de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de semeadura, sobre a composição física da planta e qualidade da silagem de milho. Os tratamentos consistiram em três densidades de semeadura: 49.500; 66.000 e 82.500 plantas ha⁻¹, e três espaçamentos entre linhas: 0,5; 0,7 e 0,9 m. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 3. Não houve interação significativa entre espaçamento e densidade para todas as variáveis estudadas (P>0,05). Milho semeado com espaçamento de 0,9 m resultou em maior participação de folhas senescentes na massa ensilada (P<0,05), sem haver diferenças nos demais componentes da planta. O pH final da silagem foi semelhante entre os tratamentos (P>0,05), apresentando valores que demonstram boa fermentação. O espaçamento entre linhas de 0,5 m produziu silagem com maior teor de proteína bruta e menor de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) em relação aos demais espaçamentos (P<0,05). As densidades de semeadura tiveram efeito significativo apenas sobre as frações nitrogenadas da silagem, em que a densidade de 49,5 mil plantas ha⁻¹ apresentou maiores valores de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) e NIDN, em relação às demais (P<0,05). Maiores valores de proteína insolúvel em detergente ácido foram obtidos em silagem de milho semeado com população de 49,5 vs 82,5 mil plantas ha⁻¹ (P<0,05). A redução no espaçamento entre linhas de plantio e o aumento na densidade populacional de plantas são alternativas para melhorar a qualidade bromatológica da silagem de milho, com relação à fração proteica.

Palavras-chave: densidade; fibra detergente neutro; proteína bruta; *Zea mays* L.

Plant structural and bromatologic composition of corn silage sown with different population arrangements

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the combination between of different row spacing and sowing densities, on the physical composition of the plant and quality of corn silage. The treatments consisted of three sowing densities: 49,500; 66,000 and 82,500 plants ha⁻¹, and three row spacing: 0.5; 0.7 and 0.9 m. The experimental design was a randomized block design, with four replications, in a 3 x 3 factorial arrangement. There was no significant interaction between spacing and density for all variables studied (P> 0.05). Sown corn with 0.9 m spacing resulted in higher senescent leaves in the ensiled mass (P<0.05), without differences in the other components of the plant.. The final pH of the silage was similar between treatments (P>0.05), presenting values that showed good fermentation. The 0.5 m between line spacing produced silage with higher crude protein and lower neutral detergent in insoluble nitrogen, in relation to the other spacings (P<0.05). Seeding densities had a significant effect only on the nitrogen fractions of the silage, in which the density of 49,500 plants ha⁻¹ presented higher values of ADIN and NDIN in relation to the others densities (P<0.05). Higher values of acid detergent insoluble protein were obtained in corn silage sown with a population of 49.5 vs 82.5 thousand ha⁻¹ plants (P<0.05). The reduction in spacing between planting lines and increase in population density of plants are alternatives to improve the bromatological quality of corn silage, in relation to the protein fraction.

Key words: crude protein; density; neutral detergent fiber; *Zea mays* L.



INTRODUÇÃO

A adoção da silagem como estratégia alimentar é cada vez mais empregada em sistemas intensivos de produção de carne e leite, uma vez que permite a armazenagem de grandes quantidades de alimento volumoso para o fornecimento aos animais (Klein et al., 2018). Todavia, para Pazziani et al. (2009) existem premissas básicas para a escolha da planta forrageira a ser utilizada para ensilagem, como elevada produção de matéria seca, altas concentrações de energia (alta digestibilidade) e sua capacidade de fermentação. Neste contexto, a planta inteira de milho se sobressai pelas características mencionadas anteriormente.

No entanto para obtenção de uma silagem de milho, com boa qualidade, alguns fatores são determinantes, dentre eles Skonieski et al. (2014) destacam a composição morfológica das plantas. Enquanto a maior participação de grãos na massa ensilada pode incrementar o valor energético, a maior participação de folhas verdes pode elevar o teor de proteína da silagem (Pazziani et al., 2009), sendo características desejáveis em plantas com o propósito de ensilagem.

Outro aspecto bastante relevante quanto à utilização de silagens em dietas de ruminantes é o conhecimento da composição químico-bromatológica, pois esta informação permite planejar a utilização correta de alimentos concentrados, visando atender os requerimentos nutricionais dos animais. Assim, a determinação das características que interferem na qualidade de uma silagem, como os constituintes da parede celular são de suma importância (Ferreira et al., 2013).

Muitos fatores podem alterar a produção e a qualidade da silagem, dentre eles estão à radiação fotossinteticamente ativa e a disponibilidade de água e nutrientes para a planta, sendo estes sensivelmente influenciados pelo arranjo populacional de plantas (Calonego et al., 2011). O estudo do arranjo de plantas é de extrema importância, principalmente pelo surgimento de novos híbridos (Skonieski et al., 2014).

Em condições brasileiras, vários estudos, com novos híbridos de milho têm demonstrado incremento significativo na produção de grãos com a redução no espaçamento entre linhas de plantio e o adensamento de plantas na linha (Modolo et al., 2010; Fumagalli et al., 2017; Pereira et al., 2017). Porém, a literatura ainda é escassa e inconclusiva acerca do efeito da alteração no arranjo de plantas, voltado à qualidade da silagem de milho (Baghdadi et al., 2012; Skonieski et al., 2014). Logo, há a hipótese de que além de incrementar a produção de grãos, a redução do espaçamento entre linhas e/ou adensamento de plantas pode melhorar a qualidade da silagem.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da combinação entre diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantio, sobre a composição física da planta e os parâmetros bromatológicos da silagem de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido nas dependências do Laboratório de Bovinocultura de Corte, pertencente ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria – RS, na safra agrícola 2011/2012. Área localizada na Depressão Central do Rio grande do Sul – Brasil, com altitude média de 95m, latitude 29° 43' Sul e Longitude 53° 42' Oeste. O clima da região é Cfa (subtropical úmido), conforme classificação de Köppen.

O solo da área experimental é classificado na unidade de mapeamento São Pedro como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (Streck et al., 2008). Previamente a instalação do experimento foi realizada uma análise química do solo da área experimental, a qual apresentou as seguintes características químicas: pH água, 5,0; P, 20,1 mg/dm³; K, 60,8 mg/dm³; MO,

2,5%; Al, 0,52 Cmol_c/dm³; Ca, 5,5 Cmol_c/dm³; Mg, 2,7 Cmol_c/dm³; CTC efetiva, 8,9 Cmol_c/dm³; saturação de bases, 57%.

Os tratamentos estudados resultaram da combinação de três densidades de semeadura (49.500; 66.000 e 82.500 plantas ha⁻¹) e três espaçamentos entre linhas (0,5; 0,7 e 0,9 m entre linhas), resultando em nove arranjos populacionais de plantas. A área experimental utilizada foi de 1.234,8 m², sendo dividida em quatro blocos, com cada bloco subdividido em 9 parcelas, as quais eram compostas por 7 linhas com 7 metros de comprimento. A área da parcela variou conforme o tratamento, pois a área de cada parcela foi influenciada pelo espaçamento entre linhas utilizado. As áreas de cada parcela corresponderam à: 44,1m² (6,3m x 7m); 34,3 m² (4,9m x 7m) e (3,5m x 7m), respectivamente nos espaçamentos de 0,9; 0,7 e 0,5 m.

O preparo do solo foi convencional, com duas gradagens, utilizando-se primeiramente uma grade aradora e posteriormente grade niveladora, em uma área com cobertura vegetal de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) previamente dessecada com herbicida (Roundap[®], sal de isopropilamina de N-(phosphonomethyl) glycine – glifosato, São Paulo, Brasil). O experimento foi implantado nos dias 12 e 13 de novembro de 2011, utilizando o híbrido de milho (*Zea mays* L.) AS 1551 PRO de ciclo superprecoce. A adubação de base foi realizada conforme a análise de solo e recomendação para a cultura do milho voltada à produção de silagem, com produtividade esperada de 18 ton MS ha⁻¹, em que se utilizou o equivalente a 800 kg ha⁻¹ de fertilizante 5-20-20 (N- P₂O₅- K₂O). Foram utilizadas duas sementes por cova e, quando as plantas estavam com três folhas expandidas, efetuou-se o desbaste, deixando apenas uma planta por cova e condicionando cada parcela a sua população de plantas (equivalente a 49.500; 66.000 e 82.500 plantas ha⁻¹). Esse manejo deu-se 17 dias após a semeadura.

A adubação nitrogenada foi realizada na proporção de 90 Kg nitrogênio ha⁻¹, na forma de ureia, dividida em duas aplicações, sendo a primeira quando a planta apresentava três folhas expandidas (11/12/2011), e a segunda quando a planta apresentava oito folhas expandidas (24/12/2011). Esta adubação foi distribuída em superfície na linha de plantio. O controle de plantas espontâneas foi realizado 21 dias após o plantio, por meio da prática de capina.

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios para precipitação, temperatura e insolação observadas durante os meses de condução do ensaio e as médias da série histórica para o município de Santa Maria – RS, Brasil. Por consequência de um período de estiagem entre novembro e janeiro foram utilizadas irrigações estratégicas com auxílio de um trator e um tanque distribuidor de líquidos, previamente limpo, com capacidade de 4000 litros de água.

A colheita das plantas de milho para ensilagem ocorreu nos dias 10 e 11 de março de 2012, quando o grão apresentava-se no estágio farináceo (R5), coletando-se as três linhas centrais de cada parcela, respeitando-se as bordaduras de 0,5 m. Destas plantas coletadas, oito de cada parcela foram escolhidas aleatoriamente e separadas, quanto aos seus componentes estruturais: colmo, folhas verdes (lâmina foliar + bainha), folhas senescentes (acima de 50% da folha senescida), grãos e outros (sabugo, bráctea e inflorescência). Após a separação física destes componentes, estes foram pesados e levados à estufa de ar forçado a 55°C até atingir peso constante, para determinação do teor de matéria parcialmente seca. O restante do material coletado foi picado com auxílio de uma ensiladeira Nogueira Pecus 9004 II, com tamanho de partículas de 3 a 6 mm. Após intensa mistura do material picado, foi realizado à ensilagem em minissilos de PVC, com diâmetro de 10 cm e altura de 40 cm, adaptados com válvula tipo “Bunsen”, lacrados com fita adesiva e densidade de compactação de 600 kg/m³.

Tabela 1. Valores médios observados de precipitação, temperatura e insolação durante o período experimental e série histórica (1982 – 2012) para o município de Santa Maria – RS, Brasil.

Série histórica	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
Precipitação (mm)	132,2	133,5	145,1	130,2	151,7
Temperatura (°C)	21,4	22,7	24,6	24,0	22,2
Insolação (horas)	223,3	244,7	225,2	196,5	199,6
Período experimental (2011– 2012)	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
¹ Precipitação acumulada (mm)	68,1	96,4	86,8	135,4	151,1
Temperatura (°C)	22,3	24,4	25,5	26,1	22,8
Insolação (horas)	250,8	263,3	291,6	199,2	262,6

Fonte: Dados da Estação Meteorológica do Departamento de Fitotecnia da UFSM, Santa Maria – RS.

¹Foram somadas à precipitação normais e irrigações artificiais suplementares, a irrigação contribuiu com volume de 26,5; 85,0 e 18,76 mm, nos meses de novembro, dezembro e janeiro, respectivamente.

Após 60 dias de fermentação, os minissilos foram abertos para a avaliação da composição química-bromatológica da silagem, realizada no Núcleo Integrado de Desenvolvimento de Análises Laboratoriais (NIDAL), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O conteúdo superior e inferior de cada minissilo foi descartado. As amostras de silagem foram prensadas, a partir de uma prensa hidráulica para extração do suco, no qual foi determinado o pH, por intermédio de potenciômetro de hidrogênio digital.

Amostras de 500 g de silagem, após serem pré-secadas em estufa de ar forçado a 55°C até atingir peso constante, foram moídas em moinho do tipo Willey com crivo de 1 mm. Nestas amostras foram determinados os teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB), segundo (AOAC, 2005) e extrato etéreo (EE) em um extrator Soxhlet com éter de petróleo.

Posteriormente foi analisada a participação dos seguintes componentes da parede celular: fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), de acordo com metodologia de Van Soest et al. (1991) e hemicelulose, celulose, lignina em detergente ácido e sílica de acordo com Hall (2000). Os teores de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi estimada pela equação proposta por Undersander et al. (1993), onde: NDT (%) = 87,84 – (0,7 x %FDA). Os valores de carboidratos não fibrosos (CNF) foram determinados de acordo com equação sugerida pelo NRC (2001): CNF (%) = 100 – (PB + FDN + MM + EE). As determinações de nitrogênio total (NT), nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) e nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN), foram realizados segundo metodologia descrita por Licitra et al. (1996). Os valores de proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) foram calculados multiplicando-se os valores de NIDN e NIDA por 6,25.

O Delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, num esquema fatorial 3 x 3 (3 espaçamentos e 3 densidades). Os dados coletados para cada variável foram testados quanto à normalidade dos resíduos pela estatística W de Shapiro-Wilk e posteriormente levados à análise de variância pelo teste F, através do procedimento GLM. Quando os valores de F foram significativos (P<0,05) as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey com nível de 5% de probabilidade. As variáveis dependentes foram submetidas à análise de correlação de Pearson através do procedimento CORR. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do pacote estatístico SAS (*Statistical Analysis System*, versão 3.5, SAS University Edition). O modelo matemático utilizado na análise de variância foi o seguinte:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + E_j + D_k + (E * D)_{jk} + \epsilon_{ijkl}$$

em que:

Y_{ijkl} = característica avaliada na parcela l , do bloco i , no espaçamento j , e densidade k ; μ = constante inerente às

observações Y_{ijkl} ; B_i = efeito do bloco i , sendo $i = 1; 2; 3$ e 4 ; E_j = efeito do espaçamento j , sendo $j = 0,5; 0,7$ e $0,9$ m; D_k = efeito da densidade de semeadura k , sendo $k = 49.500; 66.000$ e 82.500 plantas ha^{-1} ; $(E * D)_{jk}$ = efeito da interação entre o espaçamento j e a densidade k ; ϵ_{ijkl} = efeito aleatório associado à observação Y_{ijkl} .

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Não foi verificada interação significativa entre espaçamento e densidade para nenhuma das variáveis estudadas ($P > 0,05$), permitindo a apresentação em separado destes efeitos.

Na composição estrutural das plantas o espaçamento entre linhas de plantio influenciou apenas a participação de folhas senescentes ($P < 0,05$), com maior participação de folhas secas no espaçamento de 0,9 m, em relação aos outros dois que foram similares entre si (Tabela 2). O aumento da participação de folhas senescentes, com o distanciamento entre linhas de plantio é consequência de uma menor interceptação da radiação solar. Pois, de acordo, com Kuns et al. (2007) a redução do espaçamento entre linhas proporciona melhor distribuição das plantas na área e ocupação de espaços entre as plantas pelas folhas, aumentando a eficiência de interceptação da radiação solar.

Por este resultado pode-se recomendar a redução de espaçamento entre linhas, como uma forma de retardo na senescência das folhas, também chamado “stay-green”, ou capacidade de permanecer verde. Isto porque em plantas, voltadas à produção de silagem da planta inteira muitas vezes a colheita pode ser retardada por diversos fatores, como condições climáticas e uma maior senescência de folhas pode comprometer o processo de compactação e consequentemente a fermentação.

As densidades de semeadura estudadas não influenciaram a composição física das plantas (Tabela 2). A inexistência de diferença na composição estrutural das plantas, exceto as folhas senescentes, em função do fator espaçamento, podem ter contribuição do ano agrícola desfavorável (Tabela 1). Todavia, os resultados do presente estudo estão em acordo com Skonieski et al. (2014) que avaliaram diferentes espaçamentos (0,4; 0,6 e 0,8 m) e verificaram similaridade na participação dos componentes estruturais de plantas de milho, voltadas à ensilagem.

Os valores de pH (Tabela 3) não apresentaram diferença significativa ($P > 0,05$) em função dos espaçamentos entre linhas e densidades de semeadura avaliadas.

O valor médio de pH verificado na silagem foi de 3,62 com coeficiente de variação igual a 1,23%. Estes valores sugerem que as silagens obtidas neste estudo passaram por adequado processo fermentativo, tendo o índice de pH como indicador de fermentação desejável, que de acordo com Bonfá et al. (2015) deve apresentar pH igual ou menor que 3,8.

Na Tabela 3 encontram-se ainda os valores médios da composição química das silagens. Os teores de matéria seca, matéria orgânica, matéria mineral e nutrientes digestíveis

Tabela 2. Composição física da planta do híbrido de milho AS 1551 PRO, semeado com diferentes arranjos populacionais.

Componentes	Espaçamento (m)			P valor	CV (%)
	0,5	0,7	0,9		
Colmo, g kg ⁻¹ MS	316,60	300,20	311,50	0,7758	17,64
Folhas verdes, g kg ⁻¹ MS	133,70	132,50	129,50	0,8643	14,67
Folhas senescentes, g kg ⁻¹ MS	14,60b	13,15b	25,95a	0,0072	51,87
Grãos, g kg ⁻¹ MS	318,40	345,00	329,90	0,3544	13,37
¹ Outros, g kg ⁻¹ MS	216,70	209,15	203,15	0,2966	14,76
	Densidade (plantas ha ⁻¹)				
	49.500	66.000	82.500		
Colmo, g kg ⁻¹ MS	306,13	325,50	296,85	0,4351	17,64
Folhas verdes, g kg ⁻¹ MS	126,60	133,10	135,91	0,4920	14,67
Folhas senescentes, g kg ⁻¹ MS	17,65	17,72	18,30	0,9840	51,87
Grãos, g kg ⁻¹ MS	334,52	315,30	343,50	0,2944	13,37
¹ Outros, g kg ⁻¹ MS	215,10	208,38	205,44	0,2776	14,76

MS = Matéria seca; P valor = Probabilidade; CV = Coeficiente de variação; ¹Somatório de bráctea, sabugo e inflorescência.

Médias seguidas na mesma linha com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, com $\alpha=0,05$.

Tabela 3. Índice de pH e composição química centesimal da silagem do híbrido de milho AS 1551 PRO, semeado com diferentes arranjos populacionais.

Parâmetros	Espaçamento (m)			P valor	CV (%)
	0,5	0,7	0,9		
Índice de pH	3,62	3,62	3,62	0,8743	1,23
Matéria seca, g kg ⁻¹ MV	335,70	335,80	342,20	0,6130	5,42
Matéria orgânica, g kg ⁻¹ MS	963,50	961,80	964,30	0,2004	0,35
Matéria mineral, g kg ⁻¹ MS	36,50	38,20	35,70	0,2004	9,22
Extrato etéreo, g kg ⁻¹ MS	29,40	29,50	28,50	0,2240	5,00
Proteína bruta, g kg ⁻¹ MS	71,90a	68,00b	67,00b	0,0290	6,44
Nutrientes digestíveis totais, g kg ⁻¹ MS	680,60	685,20	685,10	0,6204	1,90
	Densidade (plantas ha ⁻¹)				
	49.500	66.000	82.500		
Índice de pH	3,63	3,63	3,63	0,4168	1,23
Matéria seca, g kg ⁻¹ MV	343,80	327,10	342,90	0,0623	5,42
Matéria orgânica, g kg ⁻¹ MS	963,40	962,00	964,30	0,2946	0,35
Matéria mineral, g kg ⁻¹ MS	36,60	38,00	35,70	0,2946	9,22
Extrato etéreo, g kg ⁻¹ MS	29,90	28,60	29,00	0,0972	5,00
Proteína bruta, g kg ⁻¹ MS	67,70	71,20	68,10	0,1262	6,44
Nutrientes digestíveis totais, g kg ⁻¹ MS	687,90	684,40	678,50	0,2229	1,90

MV = Matéria verde; MS = Matéria seca; P valor = Probabilidade; CV = Coeficiente de variação.

Médias seguidas na mesma linha com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, com $\alpha=0,05$.

totais foram similares entre todos os tratamentos estudados ($P>0,05$). O teor de matéria seca do material a ser ensilado é de suma importância para o bom funcionamento dos processos que ocorrem desde a ensilagem do material *in natura* até o resultado do produto final (silagem). Neste estudo a matéria seca da silagem não variou em função dos fatores de estudo avaliados, ficando com valor médio de 337,90 g MS kg⁻¹ de matéria natural. Os teores de matéria orgânica e matéria mineral seguiram mesmo comportamento e também foram semelhantes entre os tratamentos avaliados.

Os valores de matéria seca obtido indicam que o material ensilado foi colhido no ponto ideal, quando se considera o teor de MS como critério, que deve ficar entre 30 e 35 g MS kg⁻¹ de matéria natural. No estudo de Oliveira et al. (2013) avaliando dois híbridos colhidos em dois estádios de maturação, os autores verificaram que a silagem de milho produzido a partir de plantas colhidas com teor de MS inferior ao preconizado apresentaram perdas significativamente maiores que plantas colhidas com MS adequada ao bom processo fermentativo (256,00 vs 326,00 g MS kg⁻¹ de matéria natural). Por outro lado, pode-se salienta também que valores altos de MS são prejudiciais à fermentação, por dificultar a compactação do material ensilado.

Os teores de extrato etéreo foram similares quanto aos arranjos populacionais de plantas avaliados ($P>0,05$). Os teores de proteína bruta da silagem de milho apresentaram diferença significativa quando analisadas em relação aos

espaçamentos entre linhas ($P<0,05$) (Tabela 3). A redução no espaçamento entre linhas para 0,5 m resultou em maior proporção de proteína bruta, quando comparado com os demais espaçamentos (0,7 e 0,9m).

O percentual de folhas verdes (expresso em g kg⁻¹ de matéria seca), não apresentou diferença estatística, apenas numérica, entretanto o percentual de folhas senescentes foi menor no espaçamento de 0,5 m vs 0,9 m, havendo correlação negativa entre estas duas variáveis ($r = -0,39$; $P = 0,0297$). Logo a redução do espaçamento entre linhas aumenta o valor de proteína da silagem, por reduzir a participação de folhas secas na massa ensilada, mesmo que a participação destas seja pequena, em relação aos outros componentes. Como neste estudo, o diâmetro de colmo foi similar (Pereira et al., 2017), não se pode atribuir as diferenças na proteína à uma maior concentração de nitrogênio na planta, que poderia ocorrer em consequência de colmos mais finos. Os resultados obtidos corroboram com Pazziani et al. (2009) que relatam a participação de folhas verdes na planta pode ser um importante indicador, na predição de maiores teores de proteína, pela correlação negativa entre o índice de matéria seca e o teor proteico da silagem. No presente estudo estas duas variáveis correlacionaram-se negativamente ($r = -0,51$; $P = 0,0017$), corroborando esta afirmação.

Outro fator que justifica o aumento de proteína bruta, com redução de espaçamento é o aumento da eficiência de utilização do nitrogênio, resultando em maior absorção e

geralmente com reflexo em maior nível de nitrogênio na planta (Barbieri et al., 2008).

Os valores energéticos da silagem (NDT) não variaram de acordo com o arranjo populacional de plantas, apresentando valor médio de 686,60 g kg⁻¹ MS. Conforme especificado o NDT foi calculado em função da FDA (Tabela 4), que também foi similar entre os arranjos populacionais de plantas, justificando a similaridade na fração energética da silagem. Além disso, a semelhança na maioria dos componentes estruturais da planta também contribuiu para a resposta obtida para o NDT, uma vez que, diferenças na participação de grãos tende a alterar também o valor de NDT.

O conhecimento de todas as frações dos alimentos a serem utilizados para ruminantes é muito importante na formulação de dietas. No caso de silagens pode-se citar os valores da fração energética como o de principal interesse, uma vez que, a silagem de milho pode ser classificada como um volumoso energético. Embora, sem diferenças na composição química das silagens, o incremento na densidade de sementeira resultou em aumento significativo na produção de silagem neste estudo (Pereira et al., 2017). Portanto, pela compilação destes resultados recomendamos o adensamento de plantas, como estratégia para aumentar a produtividade da massa ensilada colhida, sem modificações na composição química.

As frações relacionadas aos componentes da parede celular da silagem de milho (Tabela 4) não variaram conforme os espaçamentos entre linhas e densidades de sementeira (P>0,05). Segundo Pereira et al. (2017) as estruturas da parede celular devem ser consideradas por afetar a digestibilidade da planta e relacionam-se com a sustentação das plantas. Os resultados obtidos para fibras em detergente neutro e ácido estão em acordo com a similaridade no diâmetro de colmo observado neste estudo por Pereira et al. (2017). Havia, no entanto a hipótese que o adensamento de plantas pudesse interferir na composição da fibra nas silagens, pois de acordo com Boonsma et al. (2009) maiores densidades de sementeira levam a uma competição intraespecífica que muitas vezes esta associada a declínios na biomassa das plantas. Com isso haveria uma menor produção de grãos por planta e consequentemente aumento das outras frações, com elevação na fração fibrosa.

Diferentemente do observado no presente trabalho Skonieski et al. (2014) obtiveram valores maiores de fibra em detergente neutro com redução no espaçamento, porém com valores médios de 524,00 g kg⁻¹ MS, resultado próximo aos

obtidos neste estudo. Em função da densidade populacional de plantas os resultados do presente trabalho corroboram com Ferreira et al. (2014), que avaliaram populações de 60; 70; 80 e 90 mil plantas ha⁻¹ e obtiveram silagens com composição de fibra detergente neutro semelhante, assim como, as demais características bromatológicas. Os autores atribuíram este resultado a abundante precipitação ocorrida na fase de crescimento das plantas, resultando em efetividade na mineralização da matéria orgânica e absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Em condições não limitantes (fertilidade e disponibilidade hídrica) pode-se aumentar a densidade de plantio, visando incremento na produtividade sem alterar a qualidade da silagem, porém são necessários estudos avaliando efeito de densidade em condições de limitação hídrica (Ferreira et al., 2014). Neste sentido, o presente trabalho vem a suprir esta lacuna, pois houve restrição hídrica ao longo do experimento, nos três primeiros meses da lavoura (Tabela 1), todavia, não obtivemos alterações nos níveis de fibra em detergente neutro e ácido.

Em estudo meta-analítico, com dados de vacas em lactação e bovinos de corte em crescimento e terminação, Detman et al. (2014) verificaram que em dietas à base de forragens tropicais, o consumo voluntário reduz linearmente, com a elevação da fibra detergente neutro. Portanto, justifica-se a importância do conhecimento dos teores de fibra em detergente neutro das forragens.

A similaridade nos valores de fibra em detergente ácido refletem valores energéticos e digestibilidade da silagem semelhantes, independentemente do espaçamento entre linhas de plantio e do adensamento de plantas na linha. Cabe ressaltar, no entanto, que os valores médios para FDA encontrados no presente estudo estão em acordo com os relatados por Ferreira et al. (2014) e Skonieski et al. (2014) que encontraram valores médios de 278,70 e 276,00 g kg⁻¹ MS, respectivamente, enquanto Baghdadi et al. (2012) estudando populações de plantas superiores as do presente observaram aumento linear nos valores de fibra detergente ácido da silagem de milho, com o aumento da população de plantas. Os autores atribuíram esta diferença ao fato de que o adensamento de plantas proporcionou redução nas relações folha:colmo e espiga:planta inteira, influenciando negativamente sobre a fração fibrosa. Segundo Oliveira et al. (2010), os teores de fibra em detergente ácido estão correlacionados com a digestibilidade do material ensilado,

Tabela 4. Componentes da parede celular e carboidratos não fibrosos da silagem do híbrido de milho AS 1551 PRO, semeado com diferentes arranjos populacionais.

Parâmetros	Espaçamento (m)			P valor	CV (%)
	0,5	0,7	0,9		
Fibra detergente neutro, g kg ⁻¹ MS	505,90	506,70	497,70	0,5061	3,86
Fibra detergente ácido, g kg ⁻¹ MS	282,50	275,90	276,10	0,5833	6,67
Celulose, g kg ⁻¹ MS	224,40	221,20	222,70	0,9033	7,51
Hemicelulose, g kg ⁻¹ MS	223,30	230,80	221,60	0,6013	10,34
Lignina detergente ácido, g kg ⁻¹ MS	33,60	30,90	32,90	0,2338	12,94
Sílica, g kg ⁻¹ MS	24,40	23,70	20,40	0,0774	19,83
Carboidratos não fibrosos, g kg ⁻¹ MS	356,10	357,40	370,90	0,1927	5,89
	Densidade (plantas ha ⁻¹)				
	49.500	66.000	82.500		
Fibra detergente neutro, g kg ⁻¹ MS	500,70	500,50	509,10	0,3993	3,86
Fibra detergente ácido, g kg ⁻¹ MS	272,70	285,80	277,00	0,1860	6,67
Celulose, g kg ⁻¹ MS	216,50	230,10	222,80	0,1453	7,51
Hemicelulose, g kg ⁻¹ MS	228,80	214,90	232,10	0,1794	10,34
Lignina detergente ácido, g kg ⁻¹ MS	33,10	33,00	31,40	0,4612	12,94
Sílica, g kg ⁻¹ MS	23,00	22,60	22,80	0,9774	19,83
Carboidratos não fibrosos, g kg ⁻¹ MS	364,80	361,70	357,90	0,7355	5,89

MS = Matéria seca; P valor = Probabilidade; CV = Coeficiente de variação.

Médias seguidas na mesma linha com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, com $\alpha=0,05$.

pois é ela que contém a maior proporção de lignina, que é a fração da fibra totalmente indigestível.

Os valores obtidos para celulose e hemicelulose, que compreendem as principais frações da fibra em detergente neutro foram similares entre os arranjos populacionais de plantas estudados (Tabela 4). Observou-se que os componentes totalmente indigestíveis, lignina em detergente ácido e sílica foram igualmente similares entre os fatores estudados ($P>0,05$). Os resultados do presente estudo corroboram com Almeida et al. (2003) que avaliaram duas cultivares de milho semeadas em densidades de 50, 60, 70 e 80 mil plantas ha^{-1} e não verificaram influência das densidades populacionais de plantas sobre a participação de celulose e hemicelulose na parede celular.

As semelhanças observadas na composição da fibra das silagens (Tabela 4) é um resultado bastante importante do ponto de vista técnico-prático, por possibilitar a consideração de outras características desejáveis da silagem de milho (i.e. produtividade, facilidade de operacionalização de colheita, teor proteico) ao adotar determinado arranjo populacional de plantas.

A concentração de carboidratos não fibrosos (Tabela 4) não foi influenciada nem pelo espaçamento entre linhas e nem pelo adensamento das plantas ($P>0,05$). Para os diferentes espaçamentos avaliados os resultados obtidos corroboram com Skonieski et al. (2014), os quais também não observaram efeito do espaçamento entre linhas de plantio sobre a composição de carboidratos não fibrosos. Estes carboidratos representam a fração da silagem de melhor digestibilidade e com maior valor energético. Os carboidratos não fibrosos apresentaram correlação negativa com: somatório de bráctea, sabugo e inflorescência ($r = -0,32$; $P = 0,0408$); proteína bruta ($r = -0,49$; $P = 0,0020$); fibra detergente neutro ($r = -0,96$; $P<0,0001$) e fibra detergente ácido ($r = -0,32$; $P = 0,0475$). Já a associação positiva foi verificada entre carboidratos não fibrosos e nutrientes digestíveis totais ($r = 0,46$; $P = 0,0372$).

Pode-se observar que a redução no espaçamento entre as linhas de plantio para 0,5 m quando comparado ao espaçamento de 0,9 m proporcionou incremento no nitrogênio total presente na matéria seca da silagem (Tabela 5), resultado correspondente à resposta obtida para proteína bruta (Tabela 3). Além de aumentar a concentração de nitrogênio na planta, a redução no espaçamento entre linhas para 0,5 m proporcionou diminuição nos valores de nitrogênio insolúvel em detergente neutro ($P<0,05$), dentro dessa participação de nitrogênio. Portanto o espaçamento de 0,5 m além de produzir uma silagem com maior aporte proteico, a solubilidade do nitrogênio associado à fibra em detergente neutro foi também superior aos outros

espaçamentos. Contudo quando o nitrogênio insolúvel em detergente neutro foi convertido à proteína insolúvel em detergente neutro os diferentes espaçamentos apresentaram valores similares ($P>0,05$). Poucos são os estudos avaliando o efeito do arranjo de plantas sobre a qualidade da proteína da silagem. Porém, Skonieski et al. (2014) ao avaliarem o fracionamento de proteínas na silagem, os autores obtiveram similaridade nas frações B₃ (NIDN – NIDA) e C (NIDA) em diferentes espaçamentos, resultados semelhantes ao do presente trabalho.

As densidades de semeadura influenciaram a participação de nitrogênio insolúvel em detergente neutro e em detergente ácido, em que ambos, apresentaram valores mais elevados na menor população de plantas (Tabela 5), com coeficiente de correlação entre estas variáveis de 0,67 ($P<0,0001$). Na literatura, Almeida et al. (2003) ao estudarem densidades de plantio de milho de 50, 60, 70 e 80 mil plantas ha^{-1} não observaram alteração nos valores de NIDA e NIDN, expressos em relação ao NT, obtendo valores acima de 200 $g\ kg^{-1}$ NT, para ambos. Logo a solubilidade da fração nitrogenada das silagens obtidas no presente trabalho é superior à obtida por Almeida et al. (2003).

Para Roth e Undersander (1995) valores de NIDA inferiores a 120 $g\ kg^{-1}$ NT indicam uma silagem de padrão desejável em relação à digestibilidade das frações nitrogenadas. Portanto os valores obtidos no presente trabalho atendem a este padrão, com maior ênfase a silagem obtida de lavouras com 66 ou 82,5 mil plantas ha^{-1} . Com isso, pode-se recomendar o adensamento de plantas como forma de melhorar a digestibilidade da fração proteica de silagens de milho e consequentemente aumentar o aproveitamento deste alimento por parte dos animais.

A proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) foi influenciada pelas densidades de semeadura ($P<0,05$). Na densidade de 49,5 mil plantas ha^{-1} a silagem de milho apresentou nível de PIDA superior, em relação a maior densidade (82,5 mil plantas ha^{-1}). Os valores obtidos para PIDA são diretamente relacionados à NIDA, cuja correlação entre estas variáveis foi de 0,88 ($P<0,0001$). Dentre os componentes estruturais da planta apenas o percentual de folhas verdes apresentou correlação significativa com a PIDA ($r = -0,39$; $P = 0,0117$). Com isso, plantas com maior capacidade de manter as folhas verdes, além de ter potencial para um maior teor proteico na silagem, esta proteína possui maior digestibilidade. Para os nutricionistas o potencial de degradação da proteína, em nível de rúmen e intestino é mais importante que o próprio teor de proteína bruta. A PIDN pode ser degradada mais lentamente que a proteína presente no conteúdo celular, já a PIDA é pouco degradada e, dependendo de suas ligações com a lignina, indisponível para o animal (Bonfá et al., 2015).

Tabela 5. Frações nitrogenadas da silagem do híbrido de milho AS 1551 PRO, semeado com diferentes arranjos populacionais.

Parâmetros	Espaçamento (m)			P valor	CV (%)
	0,5	0,7	0,9		
Nitrogênio Total, $g\ kg^{-1}$ MS	11,50a	10,90ab	10,70b	0,0294	6,51
¹ NIDN, $g\ kg^{-1}$ NT	145,87b	156,70a	157,33a	0,0334	7,42
² NIDA, $g\ kg^{-1}$ NT	98,52	106,50	101,64	0,1805	11,13
³ PIDN, $g\ kg^{-1}$ MS	10,52	10,62	10,55	0,8643	6,65
⁴ PIDA, $g\ kg^{-1}$ MS	7,12	7,21	6,89	0,4743	11,98
	Densidade (plantas ha^{-1})				
	49.500	66.000	82.500		
Nitrogênio Total, $g\ kg^{-1}$ MS	10,80	11,30	10,90	0,1362	6,51
¹ NIDN, $g\ kg^{-1}$ NT	160,72a	146,95b	151,08b	0,0074	7,42
² NIDA, $g\ kg^{-1}$ NT	111,56a	96,49b	97,62b	0,0025	11,13
³ PIDN, $g\ kg^{-1}$ MS	10,86	10,44	10,28	0,1260	6,65
⁴ PIDA, $g\ kg^{-1}$ MS	7,50a	6,90ab	6,60b	0,0456	11,98

MS = Matéria seca; NT = nitrogênio total; P valor = Probabilidade; CV = Coeficiente de variação. ¹Nitrogênio insolúvel em detergente neutro; ²Nitrogênio insolúvel em detergente ácido; ³Proteína insolúvel em detergente neutro; ⁴Proteína insolúvel em detergente neutro.

Médias seguidas na mesma linha com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, com $\alpha=0,05$.

CONCLUSÕES

A redução no espaçamento entre linhas de semeadura para 0,5 m reduz a participação de folhas senescentes na massa ensilada, incrementa o teor de proteína bruta e o potencial de degradabilidade da fração proteica da silagem.

O adensamento de plantas pode ser uma alternativa para a produção de silagens com maior valor nutricional.

LITERATURA CITADA

- Almeida, J. C. C.; Reis, R. A.; Rodrigues, L. R. A. et al. Avaliação das silagens de cultivares de milho (*Zea mays* L.) e de sorgo (*Sorghum vulgare*, Pers.) cultivados em quatro densidades de semeadura. *Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida*, v.23, n.1, p.47-57, 2003.
- AOAC – Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis (18th ed.) Gaithersburg, Maryland, USA, 2005.
- Baghdadi, A.; Halim, R. A.; Majidian, M. et al. Plant density and tillage effects on forage corn quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.10, n.2, p.366-370, 2012.
- Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E.; Rozas, H. R. S. et al. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal*, v.100, p.1094-1100, 2008. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0057>
- Bonfá, C. S.; Castro, G. H. F.; Villela, S. D. J. et al. Silagem de capim-elefante adicionada de casca de maracujá. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.67, n.3, p.801-808, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-7982>
- Boonsma, C. R.; Santini, J. B.; Tollenaar, M. et al. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agronomy Journal*, v.101, p.1426-1452, 2009. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0082>
- Calonego, J. C.; Poleto, L. C.; Domingues, F. N. et al. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. *Revista Agrarian*, v.4, n.12, p.84-90, 2011.
- Detmann, E.; Gionbelli, M. P.; Huhtanen, P. A meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattle fed tropical forage-based diets. *Journal of Animal Science*, v.92, p.4632-4641. 2014. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7717>
- Ferreira, G. D. G.; Jobim, C. C.; Oliveira, R. L. et al. Nutritional value of ten earless corn hybrids used for silage. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, v.26, p.255-262, 2013.
- Ferreira, G.; Alfonso, M.; Depino, S. et al. Effect of planting density on nutritional quality of green-chopped corn for silage. *Journal of Dairy Science*, v.97, p.5918-5921, 2014. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8094>
- Fumagalli, M.; Machado, R. A. F.; Fiorini, I. V. A. et al. Desempenho produtivo do milho híbrido simples em função de espaçamentos entre fileiras e populações de plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.16, n.3, p.426-439, 2017. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n3p426-439>
- Hall, M. B. Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis. Institute of Food and Agricultural Sciences; University of Florida, 2000.
- Klein, J. L.; Viana, A. F. P.; Martini, P. M. et al. Desempenho produtivo de híbridos de milho para a produção de silagem da planta inteira. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.17, n.1, p.101-110, 2018. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n1p101-110>
- Kuns, J. H.; Bergonci, J. I.; Bergamaschi, H. et al. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001100001>
- 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. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)
- Modolo, A. J.; Carnieletto, R.; Kolling, E. M. et al. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, n.3, p.435-441, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000300016>
- NRC – National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington, D.C, 2001.
- Oliveira, L. B.; Pires, A. J. B.; Carvalho, G. G. P. et al. Perdas e valor nutritivo de silagens de milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.1, p.61-67, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100008>
- Oliveira, M. R.; Neumann, M.; Ueno, R. K. et al. Avaliação das perdas na ensilagem de milho em diferentes estádios de maturação. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.12, n.3, p.319-325, 2013. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p319-325>
- Paziani, S. F.; Duarte, A. P.; Nussio, L. G. et al. Características agronômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.3, p.411-417, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000300002>
- Pereira, L. B.; Machado, D. S.; Alves Filho, D. C. et al. Características agronômicas da planta e produtividade da silagem e grãos de milho submetido a diferentes arranjos populacionais. *Magistra, Cruz das Almas*, v.29, n.1, p.18-27, 2017.
- Roth, G.; Undersander, D. Silage additives. In: CORN silage production management and feeding. Madison: American Society of Agronomy, p. 27-9. 1995.
- Skoniesk, F. R.; Nörnberg, J. L.; Kessler, J. D. et al. Corn plant arrangement and its effect on silage quality. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.43, n.3, p.114-119, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000300002>
- Streck, E. V.; Kampf, N.; Dalmolin, R. S. D. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.
- Undersander, D.; Mertens, D. R.; Thiex, N. Forage analyses procedures. Omaha: National Forage Testing Association, p.130-131, 1993.
- van Soest, P. J.; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, v.74, p.3583-3597, 1991. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)