











Níveis crescentes de fubá de milho melhoram parâmetros químico-bromatológicos e fermentativos da silagem de maniçoba

Increasing levels of cornmeal improve chemical and fermentation parameters of maniçoba silage

Pedro Henrique Ferreira da Silva*¹ , Romildo da Silva Neves¹ , Geovergue Rodrigues de Medeiros¹ , José Henrique Souza Costa¹ , Neila Lidiany Ribeiro² , Chrislanne Barreira de Macêdo Carvalho¹ , Iara Tamires Rodrigues Cavalcante¹ , Severino Guilherme Caetano Gonçalves dos Santos¹ 

¹ Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Campina Grande, Paraíba, Brasil

² PNP/FAPEQS, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, Brasil

*autor correspondente: pedro.silva@insa.gov.br

Resumo: A ensilagem da maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) é importante para preservar os nutrientes dessa planta forrageira. Todavia, o teor de umidade da planta pode gerar fermentações indesejáveis. Objetivou-se avaliar efeito de níveis de fubá de milho (0, 10, 20 e 30%) sobre a composição bromatológica e parâmetros fermentativos da silagem de maniçoba, além de identificar as variáveis mais afetada pelo aditivo. As concentrações de matéria seca (MS), carboidratos não-fibrosos (CNF), nutrientes digestíveis totais (NDT) e ácido propiônico aumentaram em função dos níveis de fubá de milho ($P < 0,05$). Os teores de proteína bruta (PB), lignina e ácido butírico, além do pH, foram reduzidos pelo aditivo ($P < 0,05$). Dois grupos foram formados na análise de componentes principais. O grupo I foi formado por variáveis afetadas positivamente pela inclusão do fubá de milho: MS, hemicelulose, CNF e NDT. O grupo II foi formado por variáveis que tiveram seus valores reduzidos pela inclusão do aditivo: PB, lignina, matéria mineral e ácido butírico. A silagem de maniçoba, com ou sem fubá de milho, apresenta bom perfil fermentativo e composição bromatológica adequada para a alimentação de ruminantes. Os teores de MS e NDT são as variáveis da composição químico-bromatológica mais influenciadas pela inclusão do fubá de milho, enquanto pH e ácido butírico são as variáveis do perfil fermentativo mais afetadas pelo aditivo absorvente. Sugere-se a inclusão de níveis moderados de fubá na silagem de maniçoba para obter melhor perfil de fermentação e a maior concentração de nutrientes digestíveis, sem descaracterizar o alimento como volumoso.

Palavras-chave: Ácidos orgânicos; Componentes principais; Composição bromatológica; Ensilagem de euforbiáceas; *Manihot pseudoglaziovii*

Abstract: Ensiling maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) is essential to preserve the nutrients of this forage plant. However, the plant moisture content may generate undesirable fermentations. The objective

Recebido: 11 de abril, 2023. Aceito: 7 de novembro, 2023. Publicado: 15 de janeiro, 2024.

of this study was to evaluate the effects of different cornmeal inclusion levels (0%, 10%, 20%, and 30%) on the chemical composition and fermentation parameters of maniçoba silage, in addition to identifying the variables most affected by cornmeal. The concentrations of dry matter (DM), non-fiber carbohydrates (NFC), total digestible nutrients (TDN), and propionic acid increased with cornmeal inclusion levels ($P < 0.05$). Crude protein (CP), lignin, and butyric acid contents, as well as pH, were reduced by the additive ($P < 0.05$). Principal component analysis resulted in two main groups. Group I was formed by variables positively affected by cornmeal inclusion, namely DM, hemicellulose, NFC, and TDN. Group II contained variables that were negatively affected by cornmeal, namely CP, lignin, mineral matter, and butyric acid. Regardless of the addition of cornmeal, maniçoba silage displays an adequate chemical composition and a good fermentation profile for ruminant feeding. Dry matter and total digestible nutrients are the chemical variables most influenced by cornmeal inclusion, whereas pH and butyric acid are the fermentative parameters most affected by the moisture-absorbent additive. Including moderate levels of cornmeal in maniçoba silage is recommended to achieve the best fermentation profile and the highest concentration of digestible nutrients without mischaracterizing it as a roughage feed.

Keywords: Chemical composition; Ensilage of *Euphorbiaceae*; *Manihot pseudoglaziovii*; Organic acids; Principal components

1. Introdução

A vegetação da Caatinga tem sido usada como suporte forrageiro para a pecuária por séculos⁽¹⁾. Entretanto, a capacidade de suporte dessas pastagens naturais é irregular ao longo do ano, diminuindo drasticamente nas épocas secas⁽²⁾. Desta forma, produtores rurais do Semiárido Brasileiro geralmente adotam estratégias para conservar forragem visando segurança alimentar e aumento do desempenho dos rebanhos. A ensilagem é uma tecnologia de conservação do valor nutricional da forragem via fermentação anaeróbia, obtida pela remoção de O_2 do ambiente para reduzir pH rapidamente^(3,4).

Milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) são as culturas mais ensiladas por terem características essenciais como elevados teores de carboidratos solúveis e de matéria seca. Essas características permitem bom processo fermentativo e manutenção do valor nutricional após a ensilagem⁽⁵⁾. Comparativamente às culturas tradicionais, plantas forrageiras tropicais tem disso ensiladas devido às menores exigências em fertilidade do solo e tratos culturais. Além disso, essas plantas forrageiras são perenes e exigem menos trabalho para cultivar⁽⁶⁾. A maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) é uma espécie nativa do Semiárido Brasileiro que apresenta essas características. Esta planta pertence à família *Euphorbiaceae* e apresenta raízes tuberosas ricas em amido e água, assim como outras espécies do gênero *Manihot*, o que garante adaptabilidade às condições do clima semiárido⁽⁷⁾. A maniçoba apresenta características desejáveis de plantas forrageiras, como persistência à desfolha quando manejada em bancos forrageiros ou na vegetação da Caatinga, além de excelentes teores de proteína bruta (PB) variando de 140 a 200 g kg^{-1} em sua composição bromatológica⁽⁸⁾.

Ensilar a maniçoba é essencial para garantir oferta de forragem durante o período seco do ano em regiões semiáridas e tornar seu uso seguro na alimentação animal⁽⁹⁾. A maniçoba

é uma planta rica em linamarina e ácido cianídrico (HCN) é liberado quando hidrolisado no rúmen. Concentrações de HCN acima de 2,4 mg por quilograma de peso corporal podem levar os animais à quadros de intoxicação ou mesmo à morte. A ensilagem da maniçoba diminui até 65% da concentração de HCN quando comparada à forragem fresca porque os processos fermentativos reduzem a atividade enzimática da *linamarinase*⁽¹⁰⁾.

Entretanto, o elevado teor de umidade na maniçoba pode aumentar fermentações indesejáveis e prejudicar a redução do pH⁽¹¹⁾. Nas últimas décadas, aditivos absorventes de umidade como fubá de milho, farelo de trigo ou melaços têm sido utilizados com sucesso para ensilar plantas forrageiras⁽³⁾. Aditivos absorventes podem diminuir a umidade da massa ensilada devido ao potencial higroscópico e alto teor de matéria seca. Dessa forma, esses aditivos promovem um ambiente mais adequado para as bactérias produtoras de ácido láctico (BAL), e ao mesmo tempo, inibem fermentações secundárias realizadas por outros tipos de bactérias, fungos e leveduras. Além disso, estudos sobre ensilagem de *total mixed rations* (TMR) foram conduzidos com sucesso, com grandes proporções de concentrados misturados com volumoso⁽¹²⁾.

Com base neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a composição químico-bromatológica, redução de pH, e perfil de ácidos orgânicos da silagem de maniçoba adicionada com níveis de fubá de milho. Adicionalmente, foram identificados as variáveis mais relevantes para caracterizar a silagem através da análise de componentes principais.

2. Material and métodos

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Professor Ignacio Salcedo do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil (07°14'00" S, 35°57'00" O e 491 metros de altitude). O clima da região é As', isto é, quente e úmido com estação chuvosa no outono e inverno⁽¹³⁾. A precipitação média anual é 503 mm, e o solo é classificado como Solonetz^(14,15).

A forragem de maniçoba utilizada para ensilagem foi colhida em área de vegetação nativa da Caatinga pertencente ao INSA. Apenas folhas e caules finos (< 10 mm de diâmetro) foram colhidas e moídas em partículas de 2 a 3 cm com auxílio de máquina forrageira estacionária. O estrato arbóreo da área é manejado sob corte desde 2019, e as plantas já passaram por dois ciclos reprodutivos.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis repetições, enquanto os silos foram feitos com sacos de polietileno próprios para ensilagem. Cada silo experimental tinha 6 litros de capacidade, e 5 kg de massa ensilada foi compactada em cada silo. Portanto, a densidade foi aproximadamente 830 kg/m³ com base na matéria fresca. Os tratamentos foram níveis crescentes de fubá de milho (0, 10, 20, e 30%) misturados na massa ensilada com base na matéria seca. Desta forma, 0,5; 1,0 e 1,5 kg de fubá de milho foram homogeneizados na maniçoba para compor os níveis de aditivos. No momento da colheita do material, uma alíquota de 300 g foi separada e identificada para realização de análises químico-bromatológica da maniçoba antes da ensilagem (Tabela 1).

As concentrações de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE) foram analisadas nos materiais de acordo com a AOAC⁽¹⁶⁾. Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) foram determinados utilizando metodologias propostas por Van Soest et al.⁽¹⁷⁾, enquanto os teores de carboidratos não-fibrosos (CNF) foram analisados conforme Sniffen et al.⁽¹⁸⁾, através da fórmula: $CNF = 1000 - (FDN + PB + MM + EE)$. Essas variáveis foram expressas em gramas por quilograma (g/kg).

Tabela 1 Composição químico-bromatológica da maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) e do fubá de milho antes de ensilar

Variável (g/kg MS)	Maniçoba	Fubá de milho
MS	210	880
MM	77	20
MO	923	980
FDN	406	131
FDA	246	40
PB	185	100
CNF	286	732
EE	46	40

*g/kg com base na matéria seca. MS = matéria seca. MM = matéria mineral. MO = matéria orgânica. FDN = fibra em detergente neutro. FDA = fibra em detergente ácido. PB = proteína bruta. CNF = carboidratos não-fibrosos. EE = extrato etéreo.

Os silos permaneceram vedados por 35 dias, e os valores de pH foram mensuradas de acordo com Bolsen et al.⁽¹⁹⁾ a cada 7 dias em todos os silos. Os silos foram abertos e amostras da massa ensilada (25 g) foram coletadas, e então, os silos foram novamente fechados. Após abertura definitiva, o material foi coletado para determinação das concentrações de MS, MM, MO, FDN, FDA, PB, CNF e EE com auxílio dos métodos citados anteriormente. O teor de lignina (LIG) foi analisado através do método AOAC⁽¹⁶⁾. Somado a isso, a concentração de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi calculada utilizando-se a fórmula: $NDT = [889 - (7,99 \times FDA)]^{(20)}$. As concentrações de hemicelulose (HEM) e celulose (CEL) foram calculadas pela subtração do teor de FDN pelo de FDA, e do teor de FDA pelo de LIG, respectivamente⁽²¹⁾. Essas variáveis foram expressas em gramas por quilograma (g/kg).

Para determinação das concentrações de ácidos orgânicos (ácidos acético, butírico, propiônico e láctico), 25 g de silagem fresca foram pesadas, diluídas em 225 ml de água destilada, e homogeneizadas em liquidificador industrial por 1 minuto. O extrato aquoso resultante foi filtrado em papel filtro, e 100 ml do extrato foi acidificado com H_2SO_4 a 50% e filtrado em papel de filtragem rápida. Logo após, 2 ml deste extrato foi adicionado de 1 ml de solução de ácido metafosfórico 20% e 0.2 ml de solução de ácido carbólico, que por sua vez foi utilizado como padrão interno. As amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 15.00 rpm, e o sobrenadante foi coletado e armazenado em frascos do tipo Eppendorf, e então, congelados até o momento da análise. Os ácidos orgânicos foram detectados por cromatografia líquida de alta performance (HPLC, Ciola and Gregory, Master CG model)⁽²²⁾.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste de normalidade dos resíduos e regressões lineares e quadráticas com auxílio do PROC GLM do SAS® OnDemand for Academics⁽²³⁾. Os dados de pH foram analisados com o PROC MIXED, onde os níveis de fubá de milho e tempos de vedação (intervalos de 7 dias) foram efeitos fixos, mas este último fator foi avaliado como medida repetida no tempo (efeito repetido). As variáveis foram submetidas à análise de correlação de Pearson utilizando-se o PROC CORR, também do SAS® OnDemand for Academics. Todos os resultados foram considerados significativos à 5% de probabilidade do erro ($P < 0,05$).

Na análise de componentes principais, o número de componentes foi selecionado por autovalores utilizando-se o critério de Mardia⁽²⁴⁾. Desta forma, somente os componentes com autovalores superiores a 1,0 foram incluídos na análise, realizada com o *software* Statistica 8.0.

3. Resultados e discussão

A maniçoba antes da ensilagem (Tabela 1) apresentou menores teores de MS e maiores de PB que outros resultados reportados na literatura^(25,26,10). A utilização de folhas e caules finos na ensilagem da maniçoba contribuiu para elevadas concentrações de umidade e proteína. Em relação à composição química da silagem, foram observados efeitos significativos da inclusão de níveis crescentes de fubá de milho em todas as variáveis avaliadas (Tabela 2).

Tabela 2 Composição químico-bromatológica da silagem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) adicionada com níveis crescentes de fubá de milho

Variável (g/kg)	Nível de fubá de milho (% matéria natural)				Equação de regressão	R^2	P-valor		CV (%)
	0	10	20	30			L	Q	
MS	200	258	322	372	$\hat{Y} = 200 + 6,37x$	0,99	<0,001	0,421	1,51
MM	113	86	60	61	$\hat{Y} = 113 - 3,80x + 0,065x^2$	0,91	<0,001	0,002	4,72
MO	886	913	940	939	$\hat{Y} = 886 + 3,80x - 0,065x^2$	0,92	<0,001	0,002	0,75
FDN	433	366	309	258	$\hat{Y} = 433 - 6,99x$	0,99	<0,001	0,093	1,20
FDA	316	237	185	143	$\hat{Y} = 316 - 8,65x$	0,98	<0,001	0,098	3,86
HEM	59	63	71	73	$\hat{Y} = 59 + 0,52x$	0,82	<0,001	0,839	3,99
CEL	278	244	225	212	$\hat{Y} = 278 - 3,90x$	0,92	0,002	0,231	3,33
LIG	181	153	132	122	$\hat{Y} = 181 - 3,27x$	0,99	<0,001	0,100	0,68
PB	176	156	136	128	$\hat{Y} = 176 - 2,50x$	0,96	0,001	0,131	2,65
CNF	187	302	396	446	$\hat{Y} = 187 + 13,64x$	0,99	<0,001	0,213	2,44
EE	67	56	53	51	$\hat{Y} = 67 - 1,21x + 0,029x^2$	0,89	<0,001	<0,001	2,63
NDT	636	700	741	774	$\hat{Y} = 636 + 6,91x - 0,078x^2$	0,98	0,001	0,001	0,95

MS = matéria seca. MM = matéria mineral. MO = matéria orgânica. FDN = fibra em detergente neutro. FDA = fibra em detergente ácido. HEM = hemicelulose. CEL = celulose. LIG = lignina. PB = proteína bruta. CNF = carboidratos não-fibrosos. EE = extrato etéreo. NDT = nutrientes digestíveis totais para bovinos de corte. x = nível de fubá de milho. R^2 = coeficiente de determinação. L e Q indicam efeitos de regressão linear e quadrática, respectivamente, à 5% de probabilidade do erro ($p < 0.05$). CV = coeficiente de variação.

As concentrações de MS, CNF e HEM aumentaram linearmente em função dos níveis de fubá. Concentrados energéticos como fubá de milho são eficientes absorventes de umidade para ensilar plantas forrageiras tropicais⁽³⁾. Teores de MS acima de 250 g/kg contribuem para um bom processo fermentativo durante o período de vedação⁽²⁷⁾. O fubá de milho como aditivo foi crucial para atingir este padrão de umidade já que a maniçoba fresca teve apenas 200 g/kg de MS. Costa *et al.*⁽⁴⁾ encontraram maiores concentrações de MS ao adicionar fubá de milho na massa ensilada de capim-elefante + cunhã, com aumento de 210 para 221 g/kg comparando a silagem sem e com aditivo. Além disso, teores de MS entre 250 e 370 g/kg proporcional mais fermentações desejáveis (e.g., fermentação láctica) do que indesejáveis (e.g., fermentação butírica)⁽²⁸⁾.

Os carboidratos não-fibrosos são não-estruturais, com degradação ruminal que varia de moderada a rápida. Amido e sacarose são os principais CNF descritos em tecidos vegetais⁽¹⁸⁾. Concentrados como o fubá de milho são ricos em CNF devido às elevadas concentrações de amido, enquanto a parte aérea da maniçoba é caracterizada por altos teores de carboidratos estruturais, especialmente celulose e lignina⁽¹⁰⁾. Desta forma, o aumento da proporção de fubá de milho somado à diminuição da maniçoba elevou os teores de CNF e HEM na massa ensilada.

Um efeito quadrático negativo foi observado no teor de MM, com redução até o nível de inclusão de 20% seguido de aumento quando 30% do fubá de milho foi adicionado. O oposto foi observado para os teores de MO, com aumento até 20% e diminuição quando 30% do aditivo foi misturado na massa ensilada. A maniçoba fresca teve maior concentração de MM que o fubá de milho antes da ensilagem (Tabela 1), o que pôde explicar os resultados de MM e MO considerando que a proporção de maniçoba foi reduzida à medida que o fubá de milho foi acrescentado. Concentrados energéticos geralmente são pobres em suas composições minerais mas ricos em MO⁽²⁹⁾.

Os teores de FDN, FDA, CEL, LIG e PB da silagem de maniçoba foram reduzidos linearmente ($P < 0,05$) em função dos níveis de fubá de milho (Tabela 2). Plantas nativas do Semiárido Brasileiro, como a maniçoba, são ricas em frações fibrosas, principalmente celulose e lignina, e ao mesmo tempo apresentam conteúdos notáveis de PB. Porém, uma parte significativa dessa proteína pode estar ligada à taninos ou lignina, o que cria moléculas complexas que diminuem a digestibilidade da matéria seca⁽³⁰⁾. A concentração de NDT na silagem foi elevada pela inclusão dos níveis de fubá de milho, devido à redução da proporção de maniçoba na massa ensilada. Pela mesma razão, os teores de EE foram reduzidos (Tabela 2). Santos *et al.*⁽³¹⁾ observaram elevadas concentrações de lignina (131 g/kg de MS) no feno de maniçoba utilizado para alimentar ovinos da raça Santa Inês. Os autores inferiram que a redução na digestibilidade aparente ocorreu devido à alta porcentagem de maniçoba na dieta.

De acordo com a composição químico-bromatológica obtida, adicionar muito fubá de milho à massa ensilada pode descaracterizar a silagem de maniçoba como alimento volumoso, considerando que o aditivo reduziu linearmente a concentração de FDN. Portanto, o teor de FDN continuaria a reduzir caso níveis exagerados de fubá de milho (e.g., mais que 30%) fossem adicionados.

Silagens feitas com outras plantas forrageiras também foram melhoradas com fubá como aditivo absorvente. Costa et al.⁽³²⁾ adicionaram fubá em silagens compostas por genótipos de capim-elefante (*Cenchrus purpureus* Schum.) e leguminosa ervilha-borboleta (*Clitoria ternatea* L.). Os autores encontraram incrementos nos teores de MS (de 210 para 221 g/kg) e nos demais carboidratos hidrossolúveis (14 para 26 g/kg) quando compararam a silagem com e sem o aditivo absorvente.

Efeitos isolados de nível de fubá de milho (Tabela 3) e tempo de vedação (Figura 1) foram observadas nos valores de pH ($P < 0,05$), mas nenhum efeito de interação foi verificado ($P = 0,231$). O pH foi reduzido sob efeito quadrático da inclusão do aditivo aos 7, 12, 21 e 28 dias de vedação. Aos 35 dias, este decréscimo foi linear em função dos níveis crescentes do fubá. O pH é um parâmetro chave que indica bom processo fermentativo, caracterizado por sua vez por mais fermentação láctica do que acética, propiônica e butírica⁽⁶⁾.

Tabela 3 Potencial hidrogeniônico (pH) em silagem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) adicionada com níveis crescentes de fubá de milho, avaliada em diferentes tempos de vedação (dias)

Tempo de vedação (dias)	Fubá de milho (% matéria natural)				Equação de regressão	R^2	P-valor		CV (%)
	0	10	20	30			L	Q	
7	4,21	4,07	4,03	4,00	$\hat{Y} = 4,20 - 0,0145x + 0,0003x^2$	0,81	<0,001	0,005	1,01
14	4,19	4,05	3,98	3,97	$\hat{Y} = 4,18 - 0,0148x + 0,0003x^2$	0,97	<0,001	<0,001	0,35
21	4,15	4,00	3,97	3,94	$\hat{Y} = 4,14 - 0,0150x + 0,0003x^2$	0,90	<0,001	<0,001	0,66
28	4,07	3,96	3,90	3,89	$\hat{Y} = 4,07 - 0,0133x + 0,0003x^2$	0,89	<0,001	0,002	0,68
35	4,00	3,93	3,86	3,81	$\hat{Y} = 4,00 - 0,0079x$	0,98	<0,001	0,370	0,74

x = nível de fubá de milho. R^2 = coeficiente de regressão. L e Q indicam efeitos de regressão linear e quadrática, respectivamente, à 5% de probabilidade do erro ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variação.

O fubá de milho provavelmente melhorou o coeficiente de fermentação da massa ensilada já que concentrados energéticos geralmente têm menor capacidade tampão do que alimentos volumosos⁽³⁾. Todavia, o pH observados em todas as silagens permaneceram em valores aceitáveis⁽⁶⁾, variando de 3,81 a 4,21. Reduções subsequentes foram observadas nos valores de pH da silagem de maniçoba ($P < 0,05$) durante o período de vedação (Figura 1). Os valores foram 4,08; 4,05; 4,02; 3,96; e 3,90 aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias, respectivamente. O decréscimo de pH ao longo do tempo indica bom processo fermentativo em todas as silagens estudadas⁽²⁸⁾, provavelmente porque a maniçoba é uma planta C4 que apresenta menor capacidade tampão do que outras plantas forrageiras (e.g., leguminosas forrageiras)^(26,32,33).

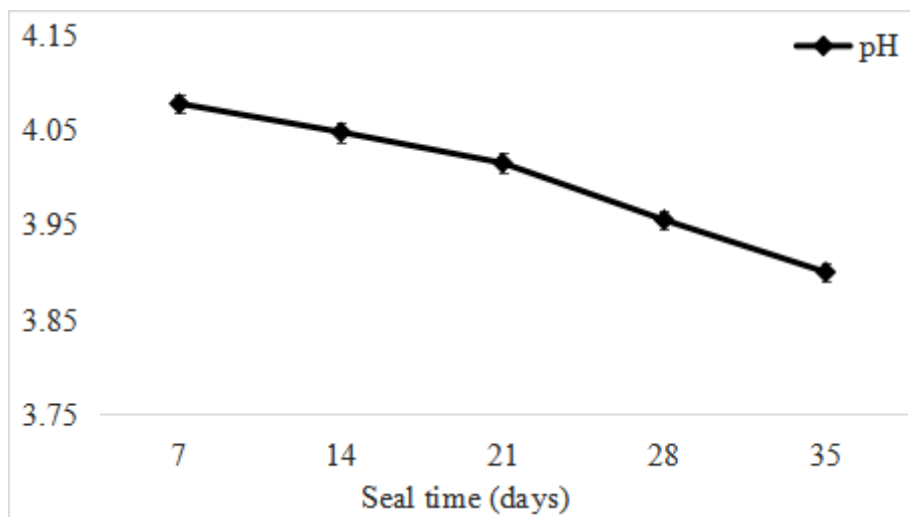


Figura 1 Potencial hidrogeniônico (pH) em silagem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) adicionada ou não com fubá de milho, avaliada semanalmente por 35 dias (medidas repetidas no tempo). Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pela probabilidade de diferença ("pdiff") ajustada para o teste de Tukey ($p < 0,05$). EPM = Erro-padrão da média.

As concentrações de ácido láctico e acético não foram afetadas pelos níveis crescentes de fubá de milho na silagem de maniçoba (Tabela 4). A proporção de ácido láctico foi consideravelmente maior que as demais em todas as silagens testadas, fato que sugeriu ter ocorrido um adequado processo fermentativo, mesmo no tratamento controle⁽⁴⁾. Os teores de ácido propiônico e butírico, bem como a relação acetato-propionato (AA/AP), foram alteradas em função dos níveis de inclusão do aditivo. A concentração de ácido propiônico e a AA/AP aumentaram linearmente quando maiores níveis de fubá foram adicionados. Por outro lado, o ácido butírico foi reduzido sob efeito quadrático.

Essas modificações nos perfis de ácidos orgânicos pela inclusão de níveis crescentes de fubá de milho na massa ensilada se deveram às alterações na relação volumoso-concentrado dentro dos silos. Rações com elevada proporção de concentrados energéticos, como no caso do fubá de milho, favorecem a proliferação de bactérias amilolíticas e a produção de ácidos láctico e propiônico. Por outro lado, alimentos volumosos como a maniçoba levam à uma maior proliferação de bactérias celulolíticas e produção de ácido acético⁽³⁴⁾.

Tabela 4 Concentrações de ácidos orgânicos na silagem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) adicionada com níveis crescentes de fubá de milho

Ácido orgânico (g/kg)	Nível de fubá de milho (% matéria natural)				Equação de regressão	R^2	P-valor		CV (%)
	0	10	20	30			L	Q	
Lático	4.934	4.707	4.612	4.588	$\hat{Y} = 4.710$	0.02	0.497	0.784	19.0
Acético	0.209	0.181	0.172	0.166	$\hat{Y} = 0.182$	0.11	0.406	0.689	21.1

Propiônico	0.068	0.075	0.085	0.090	$\hat{Y} = 0.068 + 0.0009x$	0.38	0.002	0.828	14.8
Butírico	0.479	0.072	0.018	0.000	$\hat{Y} = 0.479 - 0.0440x + 0.0009x^2$	0.96	<0.001	<0.001	27.2
AA/AP	3.07	2.41	2.02	1.84	$\hat{Y} = 3.07 - 0.077x$	0.44	0.001	0.304	24.3

x = nível de fubá de milho. R^2 = coeficiente de regressão. L e Q indicam efeitos de regressão linear e quadrática, respectivamente, à 5% de probabilidade do erro ($p < 0.05$). AA/AP = relação ácido acético-ácido propiônico. CV = coeficiente de variação.

A produção de ácido butírico foi zerada quando 30% do aditivo foi misturado à maniçoba, enquanto um maior conteúdo foi encontrado no tratamento controle (Tabela 4). Provavelmente, a população de bactérias *Clostridium* spp. foi suprimida ao adicionar este nível de fubá de milho na massa ensilada. Este tipo de bactéria é sensível a ambientes com pH abaixo de 4,5, principalmente quando o pH é reduzido bruscamente. Esses resultados são interessante já que *Clostridium* spp. são bactérias potencialmente tóxicas⁽³⁵⁾, logo, o efeito benéfico da inclusão do fubá de milho para reduzir o pH foi bastante evidente (Tabela 3). Backes et al.⁽³⁶⁾ também observaram uma redução linear nos teores de ácido butírico quando adicionaram este aditivo na massa ensilada.

Efeitos significativos foram observados em todas as correlações entre composição bromatológica, pH e ácidos orgânicos. Correlações negativas foram encontradas entre MS, pH e ácido butírico (Tabela 5). Como mencionado anteriormente, reduções de umidade na massa ensilada diminuem os valores de pH e fermentações indesejáveis como a butírica⁽³⁾. Por outro lado, os teores de PB foram associados positivamente com a fermentação butírica, provavelmente porque silagens com elevadas concentrações de proteína favorecem a atividade de *Clostridium* spp., o que leva a produção de butirato. Ao mesmo tempo, essas bactérias contribuem fortemente com a proteólise durante o processo fermentativo⁽³⁷⁾.

Além disso, observou-se uma correlação negativa entre PB e ácido propiônico, fato que sugere que a proteína dietética nas silagens veio muito mais da maniçoba do que do aditivo. Assim, silagens com altas proporções de maniçoba na massa ensilada (por exemplo, silagem controle ou adicionada de 10% de fubá) apresentaram baixos teores de propionato, além de alta relação AA-AP e teores de PB⁽³⁴⁾.

Tabela 5 Coeficientes de correlação linear de Pearson entre variáveis da composição químico-bromatológica, pH e ácidos orgânicos na silagem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) adicionada com níveis crescentes de fubá de milho

	pH	Lático	Acético	Propiônico	Butírico
MS	-0,93	-0,14	-0,32	0,61	-0,86
P-value	<0,001	0,513	0,120	0,002	<0,001
PB	0,89	0,10	0,30	-0,60	0,88
P-value	<0,001	0,637	0,156	0,002	<0,001
FDN	0,93	0,15	0,33	-0,62	0,88
P-value	<0,001	0,468	0,104	0,001	<0,001

FDA	0,94	0,15	0,33	-0,59	0,94
P-value	<0,001	0,470	0,104	0,002	<0,001
CNF	-0,92	-0,15	-0,35	0,62	-0,91
P-value	<0,001	0,482	0,096	0,001	<0,001
HEM	-0,85	-0,18	-0,422	0,57	-0,73
P-value	<0,001	0,400	0,004	0,003	<0,001
CEL	0,90	0,21	0,41	-0,55	0,91
P-value	<0,001	0,324	0,047	0,005	<0,001
LIG	0,93	0,16	0,34	-0,60	0,93
P-value	<0,001	0,464	0,108	0,001	<0,001

MS = matéria seca. FDN = fibra em detergente neutro. FDA = fibra em detergente ácido. HEM = hemicelulose. CEL = celulose. LIG = lignina. PB = proteína bruta. CNF = carboidratos não-fibrosos. pH = potencial hidrogeniônico. Lático, acético, propiônico e butírico são ácidos orgânicos.

Os teores de FDN, FDA, CEL e LIG apresentaram elevado grau de associação com pH e ácido butírico (Tabela 5). As frações fibrosas foram maiores em proporção quando baixos níveis de fubá de milho foram misturados à massa ensilada. Portanto, silagens com pouco ou nenhuma aditivo tiveram mais fibra e umidade em suas composições, ficando mais susceptíveis à fermentações secundárias (e.g., fermentação butírica) e com reduções de pH menos proeminentes^(6,35). Além disso, foram observadas correlações negativas entre FDN, FDA e CEL e ácido propiônico, já que bactérias fibrolíticas fermentam ácido acético ao invés do propiônico⁽³⁴⁾.

O contrário foi observado para a variável CNF, com correlações negativas com pH e ácido butírico (Tabela 5). O amido contido no fubá de milho é um dos principais componentes dos CNF, que contribuem positivamente com fermentações lácticas e propiônica^(3,18,35). Portanto, silagens com maiores inclusões de aditivo apresentaram maiores concentrações de CNF, menores valores de pH e pouca fermentação butírica do que aquelas com menos ou nenhuma adição de fubá de milho.

A análise de componentes principais (ACP) inferiu que 86,59% da variação total dos dados pôde ser explicada pelos primeiros dois CP, com 80,29% relacionado ao CP1 e 6,30% ao CP2 (Figura 2). Todas as variáveis do Grupo I (MM, PB, frações fibrosas, EE, pH e ácido butírico) foram reduzidas substancialmente com o aumento dos níveis de fubá de milho. Contrariamente, as variáveis do Grupo II (MS, MO, CNF, HEM e NDT) apresentaram valores crescentes quando o aditivo foi adicionado progressivamente. A formação de dois grupos bem-definidos evidenciou os efeitos benéficos da adição do fubá na massa ensilada, tanto nas variáveis químico-bromatológicas quanto nos parâmetros fermentativos^(4,28,35), embora o tratamento controle (maniçoba sem aditivo) também tenha mostrado parâmetros adequados visando uma silagem de boa qualidade.

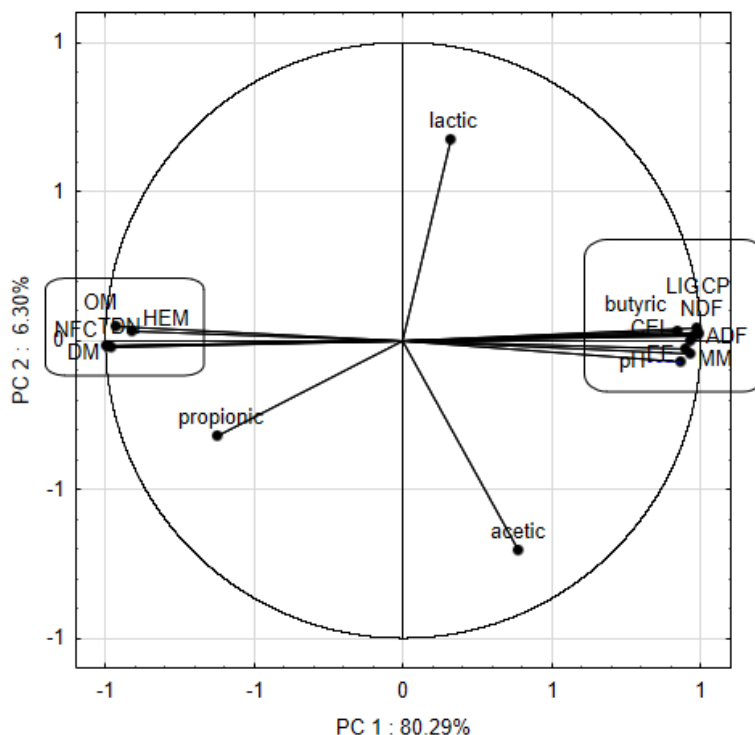


Figura 2 Distribuição das variáveis da composição químico-bromatológica, pH e ácidos orgânicos nos sistemas de coordenadas sob os componentes principais 1 e 2 (CP1 e CP2, respectivamente), além do grupamento de Fischer (Grupos I e II). MS = matéria seca. MM = matéria mineral. MO = matéria orgânica. PB = proteína bruta. EE = extrato etéreo. FDN = fibra em detergente neutro. FDA = fibra em detergente ácido. CNF = carboidratos não-fibrosos. HEM = hemicelulose. CEL = celulose. LIG = lignina. Lático, acético, butírico e propiônico são ácidos orgânicos.

A silagem de maniçoba, com ou sem aditivo de fubá, apresenta composição químico-bromatológica adequada e bom perfil fermentativo para alimentação e nutrição de ruminantes. Níveis crescentes de fubá melhoram o perfil de ácidos orgânicos da silagem de maniçoba e a inclusão de 30% do aditivo na massa ensilada interrompe a produção de ácido butírico. A matéria seca e os nutrientes digestíveis totais são as variáveis químico-bromatológicas mais influenciadas pela inclusão do fubá. Ao mesmo tempo, o pH e o ácido butírico são os parâmetros fermentativos mais afetados pelo aditivo absorvente de umidade.

4. Conclusão

Sugere-se a inclusão de níveis moderados de fubá na silagem de maniçoba para atingir melhor perfil fermentativo e a maior concentração de nutrientes digestíveis sem descaracterizá-la como alimento volumoso.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Contribuição dos autores

Conceptualization: R.S.,Neves, G.R.,Medeiros and J.H.S.,Costa. *Formal Analysis:* P.H.F.,Silva and N.L.,Ribeiro. *Funding acquisition:* G.R.,Medeiros. *Investigation:* P.H.F.,Silva, R.S.Neves and J.H.S.,Costa. *Project administration and*

Supervision: G.R.,Medeiros. *Validation:* P.H.F.,Silva and N.L.,Ribeiro. *Visualization:* C.B.M.,Carvalho, I.T.R.,Cavalcante and S.G.C.G,Santos. *Writing (original draft):* P.H.F.,Silva, R.S.Neves, J.H.S.,Costa, C.B.M.,Carvalho, I.T.R.,Cavalcante and S.G.C.G,Santos. *Writing (review and editing):* P.H.F.,Silva, R.S.Neves, G.R.,Medeiros, J.H.S.,Costa, C.B.M.,Carvalho, I.T.R.,Cavalcante and S.G.C.G,Santos.

Agradecimentos

O presente estudo foi conduzido com o suporte do Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

1. Jamelli D, Bernard E, Melo FP. Habitat use and feeding behavior of domestic free-ranging goats in a seasonal tropical dry forest. *J. Arid Environ.* 2021; 190:e104532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104532>.
2. Dubeux Jr JCB, Santos MVF, Cunha MV, Santos DC, Almeida RTS, Mello ACL, Souza TC. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2021; 275:e114890. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>.
3. Muck RE, Nadeau EMG, McAllister TA, Contreras-Govea FE, Santos MC, Kung Jr, L. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *J. Dairy Sci.* 2018; 101(5):3980-4000. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>.
4. Costa ER, Mello ACL, Guim A, Costa SBM, Abreu BS, Silva PHF, Neto DS. Adding corn meal into mixed elephant grass–butterfly pea legume silages improves nutritive value and dry matter recovery. *J. Agric. Sci.* 2022; 160(3-4):185-193. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859622000284>.
5. Lemos MF, Andrade AP, Silva PHF, Santos CO, Souza CFB, Silva MAV, Oliveira Neto PM. Nutritional value, fermentation losses and aerobic stability of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) silage treated with exogenous fibrolytic enzymes. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 2020; 42:e48272. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.48272>.
6. Bernardes TF, Daniel JLP, Adesogan AT, McAllister TA, Drouin P, Nussio LG, Cai Y. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *J. Dairy Sci.* 2018; 101(5):4001-4019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>.
7. Alencar FHH, Silva DS, Andrade AP, Carneiro MSS, Feitosa JV. Composição química e digestibilidade da pornunça sob duas fontes de adubação orgânica e cortes. *Rev. Caatinga.* 2015; 28(1):215-222. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n324rc>.
8. Pinheiro FM, Nair PR. Silvopasture in the Caatinga biome of Brazil: A review of its ecology, management, and development opportunities. *For. Syst.* 2018; 27(1):eR01S. DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2018271-12267>.
9. Costa JHS, Cavalcante ITR, Medeiros GR, Ribeiro NL, Santos SGCG, Nascimento GV, Carvalho CBM. Propagação vegetativa de mudas de *Manihot pseudoglaziovii* com diferentes diâmetros de estacas. *Rev. Inst. Nac. Semi.* 2022; 1(3):49-55. Available from: <https://editoraverde.org/portal/revistas/index.php/revinsa/article/view/188>.
10. Gomes MLR, Alves FC, Silva Filho JRV, Souza CMD, Silva MNP, Santana Junior RA, Voltolini TV. Maniçoba for sheep and goats-forage yield, conservation strategies, animal performance and quality of products. *Cienc. Rural.* 2021; 52(3):e20201096. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20201096>.
11. Kung Jr L, Shaver RD, Grant RJ, Schmidt RJ. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J. Dairy Sci.* 2018; 101(5):4020-4033. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>.
12. Gusmao JO, Danés MAC, Casagrande DR, Bernardes TF. Total mixed ration silage containing elephant grass for small-scale dairy farms. *Grass Forage Sci.* 2018; 73(3):717-726. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12357>.
13. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JDM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Z.* 2013; 22(6):711-728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
14. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. No. 106. Rome: FAO; 2015. 550p.

15. Santos HG. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5th ed. Brasília: Embrapa; 2018. 356p. Portuguese.
16. Horwitz W. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. Gaithersburg: AOAC; 2005. Official Methods: 934.01 (dry matter), 920.39 (ether extract), 942.05 (ashes), and 954.01 (crude protein).
17. Van Soest PV, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 1991; 74(10):3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
18. Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 1992; 70(11):3562-3577. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>.
19. Bolsen KK, Lin C, Brent BE, Feyerherm AM, Urban JE, Aimutis WR. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *J. Dairy Sci.* 1992 75(11):3066-3083. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78070-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78070-9).
20. Patterson T, Klopfenstein TJ, Milton T, Brink DR. Evaluation of the 1996 beef cattle NRC model predictions of intake and gain for calves fed low or medium energy density diets. *Nebraska Beef Cattle Reports*: 2000; 76: 26-29. Available from: <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/314/>.
21. Detmann E. Métodos para análise de alimentos. 2nd ed. Visconde de Rio Branco: Suprema; 2021. 350p. Portuguese.
22. Kung Jr, L, Ranjit NK. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. *J. Dairy Sci.* 2000; 84(5):1149-1155. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74575-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74575-4).
23. SAS Institute Inc. SAS® OnDemand for Academics: User's Guide. 1st ed. Cary: SAS Institute Inc.; 2014. 148p.
24. Mardia KV, Kent JT, Bibby JM. Multivariate analysis. 1st ed. London: Academic, 1979. 64p.
25. Maciel MDV, Carvalho FFRD, Batista ÂMV, Souza EJOD, Maciel LPAA, Lima DMD. Maniçoba hay or silage replaces Tifton 85 hay in spineless cactus diets for sheep. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 2019; 41:e42553. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.42553>.
26. Matias AGS, Araújo GGL, Campos FS, Moraes SA, Gois GC, Silva TS, Voltolini TV. Fermentation profile and nutritional quality of silages composed of cactus pear and maniçoba for goat feeding. *J. Agric. Sci.* 2020; 158(4):304-312. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859620000581>.
27. Borreani G, Tabacco E, Schmidt RJ, Holmes BJ, Muck RE. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *J. Dairy Sci.* 2018; 101(5):3952-3979. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>.
28. Daniel JLP, Bernardes TF, Jobim CC, Schmidt P, Nussio LG. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass Forage Sci.* 2019; 74(2):188-200. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12417>.
29. Marcondes MI, Silva AL, Gionbelli MP, Campos S. Exigências de energia para bovinos de corte. *BR-Corte: Tabela Brasileira De Exigências Nutricionais; DZO/UFV: Viçosa, Minas Gerais, Brazil*, 163-190. 2016.
30. Muir JP, Santos MVF, Cunha MV, Dubeux Jr. JCB, Lira Jr MA, Souza RT, Souza TC. Value of endemic legumes for livestock production on Caatinga rangelands. *Rev. Bras. Cienc. Agr.* 2019; 14(2):1-12. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5648>.
31. Santos F, Charll MDS, Lima Júnior DMD, Cardoso DB, Maciel M, Vale D, Carvalho FFRD. Replacement of Tifton 85 hay with maniçoba hay in the spineless cactus diet of sheep. *Rev. Caatinga.* 2021; 34:219-227. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n122rc>.
32. Costa ER, Mello ACL, Guim A, Costa SBM, Abreu BS, Silva PHF, Neto DS. Adding corn meal into mixed elephant grass-butterfly pea legume silages improves nutritive value and dry matter recovery. *J. Agric. Sci.* 2022;160(3-4):185-193. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859622000284>.
33. Ramos JPF, Santos EM, Santos APM, Souza WH, Oliveira JS. Ensiling of forage crops in semiarid regions. *Advances in Silage Production and Utilization*, 65. 2016.

34. Gang G, Chen S, Qiang L, Zhang SL, Tao S, Cong W, Huo W. The effect of lactic acid bacteria inoculums on in vitro rumen fermentation, methane production, ruminal cellulolytic bacteria populations and cellulase activities of corn stover silage. *J. Integr. Agric.* 2020; 19(3):838-847. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62707-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62707-3).
35. Queiroz OCM, Ogunade IM, Weinberg Z, Adesogan AT. Silage review: Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *J. Dairy Sci.* 2018; 101(5):4132-4142. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13901>.
36. Backes AA, Santos LLD, Fagundes JL, Barbosa LT, Mota M, Vieira JS. Valor nutritivo da silagem de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*) com e sem fubá de milho como aditivo. *Rev. Bras. Saude Prod. Anim.* 2014; 15(1):182-191. Available from: <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/ZCVkMqsNqXnRTgcxrxLDq9x/abstract/?lang=pt>.
37. Anjos ANA, Almeida JCDC, Viegas CR, Silva PHF, Morais LF, Nepomuceno DDD, Soares FA. Protein and carbohydrate profiles of 'Massai' grass silage with pelleted citrus pulp and microbial inoculant. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 2022; 57:e02732. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02732>.