


Disponibilidad de forraje en praderas de pasto Xaraés en respuesta a fuentes de nitrógeno convencionales y tratadas con N-(*n-butyl*) triamida tiofosfórica (NBPT)



Luís Henrique Almeida Matos ^a

Carlindo Santos Rodrigues ^{a,b*}

Douglas dos Santos Pina ^a

Vagner Maximino Leite ^a

Paula Aguiar Silva ^a

Taiala Cristina de Jesus Pereira ^a

Gleidson Giordano Pinto Carvalho ^a

^a School of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Bahia, Adhemar de Barros Avenue, 500, Ondina, Zipcode 40170-110, Salvador, Bahia, Brazil.

^b Federal Institute of Education, Sciences and Technology Baiano, Bahia, Brazil.

* Autor de correspondencia: carlindo.rodrigues@ifbaiano.edu.br

Resumen:

La N-(*n-butyl*) triamida tiofosfórica (NBPT) es un inhibidor de la ureasa usado en los sistemas agrícolas para reducir las pérdidas por volatilización de NH₃ y maximizar el uso del nitrógeno ureico (N). Se realizó un estudio de campo para evaluar el efecto de la urea tratada con NBPT sobre la densidad volumétrica y la masa de forraje en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. El periodo experimental fue de un año (septiembre 2017 a septiembre 2018). El diseño experimental fue de bloques completamente aleatorios con un arreglo factorial de 3×2×4: tres estaciones del año (lluvia, sequía y transición), dos fuentes de urea (convencional y tratada con NBPT), y cuatro tasas de N (0, 80, 160 y 240 kg N ha⁻¹ año⁻¹). Se hicieron tres

réplicas. Ambas fuentes de nitrógeno tuvieron un efecto positivo ($P < 0.0001$) sobre la densidad aparente, la masa de forraje y el estrato de pastoreo durante la estación de lluvia y la de transición. También produjeron aumentos de N en los pastos. La relación hoja:tallo disminuyó linealmente ($P < 0.0045$) a medida que aumentaron las tasas de N; la relación mayor fue durante la estación de lluvia y la menor en la estación de sequía. A la tasa de 80 kg N ha⁻¹ año⁻¹, hubo una diferencia ($P = 0.0042$) entre las fuentes de N. A esta tasa la urea convencional produjo una mayor ($P = 0.0006$) masa de forraje total, masa de forraje pospastoreo ($P = 0.0042$) y densidad volumétrica del forraje ($P = 0.0006$). En las estaciones de lluvia y de transición, la aplicación de N, cual sea la fuente, resultó en un aumento en la masa y la densidad volumétrica del forraje en praderas de pasto Xaraés hasta la tasa de 240 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Palabras clave: *Brachiaria brizantha*, Eficiencia de uso de nutrientes, Praderas, Volatilización de amonio.

Recibido: 14/07/2021

Aceptado: 31/01/2022

Introducción

La fertilización nitrogenada aumenta la cantidad y la calidad de forraje. El nitrógeno (N) es un componente importante de las proteínas y el principal nutriente necesario para mantener la productividad en forrajes. Cuando se aplica, es asimilado por las plantas lo cual promueve un aumento en los constituyentes celulares⁽¹⁾. Como consecuencia, se incrementa tanto el vigor de rebrote como la producción total de materia seca verde de la planta en condiciones climáticas favorables.

Como fertilizante, la urea [CO(NH₂)₂] presenta problemas en el recebado del suelo ya que se pierde N por la volatilización del NH₃^(2,3). Los cambios en la cantidad de N disponible en el sistema y en la relación nitrato:amonio en la solución del suelo afectan la eficiencia de recuperación y uso de N, el rendimiento de materia seca y la composición química de los pastos⁽⁴⁾. A pesar de esto, la urea se considera entre las más importantes fuentes de N porque tiene una alta concentración de este elemento (46%) y sus costos de producción son menores que otras fuentes⁽⁵⁻⁹⁾.

Muchas investigaciones se han enfocado en mitigar las pérdidas de NH₃ de la urea por medio de un tratamiento con un inhibidor de la ureasa; la N-(*n*-butil) triamida tiofosfórica (NBPT por sus siglas en inglés) es el compuesto más estudiado y utilizado⁽¹⁰⁻¹⁷⁾. La mayoría de los estudios han demostrado el potencial de la urea tratada con productos a base de NBPT para

reducir las pérdidas de $\text{NH}_3^{(18-21)}$. Sin embargo, en comparación con la urea no tratada el desempeño de la urea tratada con NBPT no aumenta la producción de forraje de una manera consistente; de hecho, bajo algunas condiciones no hay diferencias en el rendimiento^(23,24,25).

Inconsistencias de este tipo probablemente estén asociadas con el clima y las condiciones del suelo al momento de la aplicación del fertilizante. Condiciones como tasas altas en la cantidad de N aplicado^(26,27), y la aplicación de urea en suelos con alta humedad y en altas temperaturas provocan una mayor pérdida de $\text{NH}_3^{(20,26)}$. Esto hace más atractivo el uso de inhibidores de la ureasa como una herramienta para incrementar la eficiencia del uso del N. Por el contrario, las bajas temperaturas y/o las condiciones secas pueden limitar la hidrólisis de la urea y, por lo tanto, las pérdidas de $\text{NH}_3^{(20,28)}$.

Siempre existen incertidumbres sobre las ventajas de usar urea tratada con NBPT en tales condiciones para aumentar el rendimiento del pasto. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de los inhibidores de la ureasa en la densidad volumétrica del forraje y en la masa de forraje de una gramínea (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) fertilizada con N.

Material y métodos

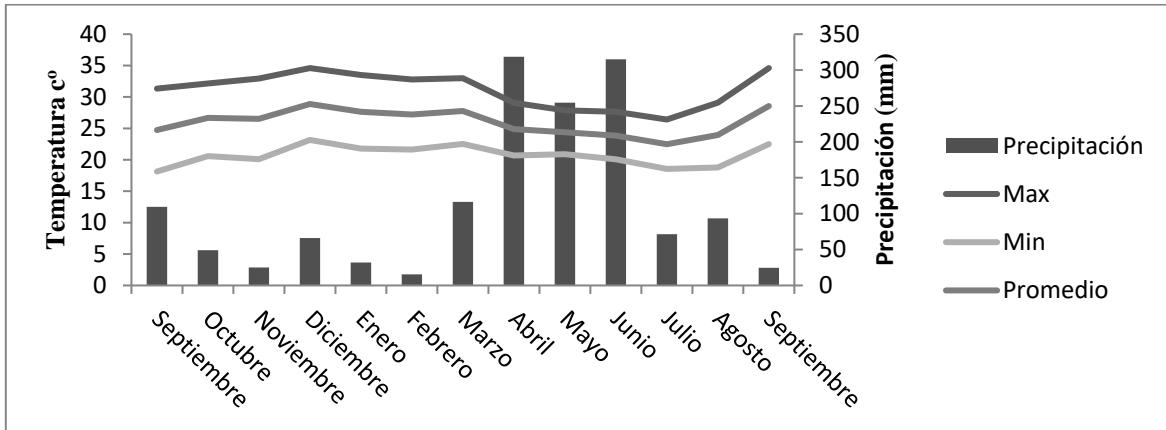
Ubicación del experimento y condiciones climáticas

Se llevó a cabo el experimento durante un periodo de un año, desde el septiembre 2017 hasta el septiembre 2018, en la granja de Talitha, en el distrito de Monte Gordo, en la ciudad de Camaçari, en el estado de Bahia, Brasil ($12^{\circ}41'51''$ S, $38^{\circ}19'27''$ O; 36 msnm). La temperatura promedio anual en la región es de 23.3°C y la precipitación promedio anual es de 1,466.5 mm. Los suelos en el área de estudio son arenosos y friables con las siguientes características fisicoquímicas: materia orgánica (MO) = 21.0 g dm^{-3} ; pH (H_2O) = 5.3; P = 4.0 mg dm^{-3} ; K = $0.2 \text{ mmolc dm}^{-3}$; Ca = $13.0 \text{ mmolc dm}^{-3}$; Mg = $7.0 \text{ mmolc dm}^{-3}$; Na = $0.0 \text{ mmolc dm}^{-3}$; Al = $0.0 \text{ mmolc dm}^{-3}$; H + Al = $18.0 \text{ mmolc dm}^{-3}$; SB = $20.0 \text{ mmolc dm}^{-3}$; CTC = $38.0 \text{ mmolc dm}^{-3}$; V = 53%; arena = 894 g dm^{-3} ; cieno = 18 g dm^{-3} ; y arcilla = 88 g dm^{-3} .

Diseño experimental y tratamientos

Se usó un diseño experimental de bloques completamente aleatorio con un arreglo factorial de $3 \times 2 \times 4$: tres estaciones climáticas (lluvia, sequía y transición), dos fuentes de urea (convencional y tratada con NBPT), y cuatro tasas de fertilización con N (0, 80, 160 y $240 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Se llevaron a cabo tres réplicas. El periodo experimental fue de 380 d, durante el cual se midieron la temperatura, el índice de la precipitación (Figura 1), y el balance hídrico (Figura 2) utilizando un almacén de agua de 50 mm de capacidad⁽²⁹⁾.

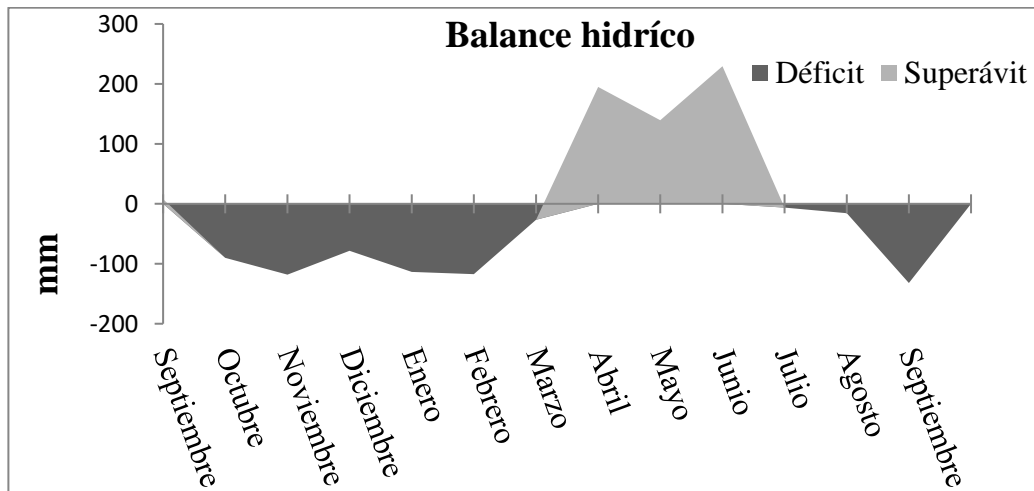
Figura 1: El índice de la precipitación y la temperatura mensual promedio (2017 a 2018) en el área de estudio



La fertilización y la siembra se hicieron el 26 de junio de 2016. Para la siembra se utilizaron 15 kg de semillas ha⁻¹ de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. La fertilización se hizo utilizando 70 kg P₂O₅ ha⁻¹ (pentóxido de fósforo), 60 kg KCL ha⁻¹ (cloruro de potasio), y 50 kg de N ha⁻¹ sobre toda el área experimental.

El área experimental total fue de 0.66 ha, lo cual incluyó los corredores, el área de manejo y el espacio entre las parcelas. Cada parcela media 10 m × 10 m (100 m²). Se dividieron las parcelas en tres bloques. Todas las parcelas recibieron una aplicación de 30 kg P₂O₅ ha⁻¹ y 200 kg KCL ha⁻¹. La aplicación de N se hizo en cobertura, con la excepción de la tasa de 0 N. El P₂O₅ se aplicó en dosis única en el primer ciclo, mientras el KCL y el N se dividieron en cuatro aplicaciones de igual cantidad (inicio y final de la estación de lluvia).

Figura 2: Balance hídrico promedio durante el periodo experimental (2017 a 2018) en el área de estudio



El monitoreo de la altura del dosel del pasto se inició después del pastoreo, midiendo las plantas tres veces por semana hasta que las plantas alcanzaron la altura de prepastoreo (30 cm). Se tomaron doce lecturas para cada unidad experimental utilizando una varilla graduada y una hoja de película radiográfica, según Pequeno⁽³⁰⁾. La defoliación de las praderas se llevó a cabo de una manera que simulaba un escenario de pastoreo rotacional, agregando o eliminando animales reguladores⁽³¹⁾.

Variables medidas

La etapa de pre-pastoreo, los cortes de forraje se realizaron a dos alturas: >15 cm, lo cual corresponde a la masa de forraje, y de 0-15 cm, lo cual corresponde al nivel del suelo hasta el corte de masa de forraje. La suma de estos dos cortes corresponde a la masa de forraje total, es decir, de 0–30 cm de altura. En el muestreo de masa de forraje pos-pastoreo los cortes se realizaron al ras del suelo. Las muestras de forraje correspondientes a cada uno de los estratos del dosel se pesaron y luego se colocaron en una estufa de circulación forzada de aire a 65 °C hasta alcanzar peso constante. Con ellas se llevó a cabo un análisis del contenido de materia seca (MS) utilizando la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS por sus siglas en inglés), según los procedimientos de Marten *et al*⁽³²⁾. Se hicieron las lecturas en un rango de longitud de onda de 700 a 2,500 nm con un espectrómetro (2500 XL, Unity Scientific SpectraStar™).

Utilizando los resultados del rendimiento de materia seca (RMS), se calculó la densidad volumétrica del forraje por medio de la división de la masa de forraje en el pre- y pospastoreo por la altura del pasto correspondiente; se expresaron en términos de kg ha⁻¹ cm⁻¹ de MS, según la metodología de Stobbs⁽³³⁾. El resultado fue la densidad volumétrica del forraje (kg MS ha⁻¹ cm⁻¹) correspondiente al estrato de 0 a 30 cm de altura, y la densidad volumétrica del estrato en pastoreo (kg MS ha⁻¹ cm⁻¹) de 15 a 30 cm de altura.

Una vez retirado los animales, se identificaron al azar dos grupos de diez brotes en diferentes áreas de la unidad experimental (pradera)⁽³⁴⁾. Al final del ciclo de pastoreo, se cortaron los brotes cerca de la superficie del suelo. Se realizó una separación morfológica de las fracciones de hoja, tallo y material muerto, se pesó cada fracción y se secaron a 65 °C por 72 h. Basado en los pesos, se calculó la relación hoja:tallo.

Análisis estadístico

Se analizaron los resultados con un análisis de varianza por medio del procedimiento PROC MIXED del programa SAS ver. 9.2, usando el siguiente formula:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + S_j + D_k + (SxD)_{jk} + e_{ijk} + P_l + (SxP)_{jl} + (DxP)_{kl} + (SxDxP)_{jkl} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = valor observado;

μ = media global;

B_i = efecto aleatorio de los bloques;

S_j = efecto fijo de la fuente de N;

D_k = efecto fijo de la tasa de N;

$(SxD)_{jk}$ = efecto de la interacción fuente x tasa;

e_{ijk} = error aleatorio asociado con la fuente y la tasa de N;

P_l = efecto fijo de la estación del año;

$(SxP)_{jl}$ = efecto de la interacción de fuente x tasa;

$(DxP)_{kl}$ = efecto de la interacción de tasa x estación;

$(SxDxP)_{jkl}$ = efecto de la interacción de fuente x tasa x estación;

\mathcal{E}_{ijkl} = error aleatorio asociado con el efecto de la estación.

Por el factor cuantitativo (tasa), se evaluaron los resultados por medio de un análisis de regresión, mientras a los factores cualitativos (fuente y estación) se evaluaron con una prueba de Tukey. Para ambas evaluaciones se usó una probabilidad de 5% para un error tipo I.

Resultados

La masa de forraje total (0-30 cm) varió en respuesta a las fuentes de urea ($P=0.0145$), la estación ($P=0.0230$), la tasa de N ($P<0.0001$) y las interacciones ($P=0.0020$). Para la masa de forraje total, hubo un efecto lineal positivo ($P\leq 0.05$) en la interacción para la urea convencional y la urea tratada con NBPT ya que hubo un aumento de las tasas en las praderas; sin embargo, los valores de masa eran similares entre las dos fuentes. A la tasa de 80 kg de N $ha^{-1} año^{-1}$, la masa de forraje (promedio) fue más alta ($P=0.0006$) con la urea tradicional (4,093.28 kg MS ha^{-1}) que con la tratada con NBPT (3,450.44 kg MS ha^{-1}) (Cuadro 1).

También se observó un efecto lineal positivo en la masa de forraje durante la estación de lluvia y la de transición, lo cual produjo un mayor crecimiento del pasto tratado con N a medida que aumentaba la tasa de N. En la estación de sequía la dosis de N no tuvo efecto sobre el crecimiento del pasto (Cuadro 1). En los tratamientos de 0 y 80 kg de N $ha^{-1} año^{-1}$, la masa de forraje (0-30 cm) no presentó diferencias significativas ($P>0.05$) entre estaciones. En los tratamientos de 160 ($P=0.0372$) y de 240 kg de N $ha^{-1} año^{-1}$, la masa de forraje fue mayor ($P\leq 0.05$) durante la estación de lluvia y la de transición comparado con la de la estación de sequía.

En la masa de forraje en el estrato de pastoreo (15–30 cm) se observaron efectos significativos ($P\leq 0.05$) para las estaciones, la tasa de N y su interacción. En la interacción hubo un efecto lineal positivo durante la estación de lluvia ($P<0.0001$) y la de transición

($P < 0.0001$); aparentemente las plantas que recibieron más agua pudieron aprovechar mejor el N agregado. Durante la estación de sequía las diferentes tasas no tuvieron efecto ($P > 0.05$) cuando se ajustaron los resultados a las funciones lineal y cuadrática (Cuadro 1).

En la comparación entre las estaciones y la tasa de fertilización nitrogenada, la masa de forraje en el estrato en pastoreo no difirió ($P > 0.05$) entre la tasa cero y la de 160 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. Para las tasas de 80 y 240 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, durante la estación de lluvia y la de transición, sí hubo una producción más alta de masa en el estrato de pastoreo (Cuadro 1).

Cuadro 1: Forraje disponible promedio por estrato en pasto Xaraés (*B. brizantha*) en respuesta a cuatro tasas de fertilización con N durante tres estaciones

Estaciones	Tasas (kg N $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)				Efecto	
	0	80	160	240	L	C
Masa de forraje total (0-30 cm) (kg MS ha^{-1})						
Lluvia	3136.2 ^a	3765.5 ^a	3876.1 ^a	4023.9 ^a	<0.0001 ¹	0.2534
Sequía	3477.9 ^a	3730.9 ^a	3339.2 ^b	3350.3 ^b	0.2393	0.4207
Transición	3360.9 ^a	3819.2 ^a	3527.9 ^b	4330.5 ^a	<0.0001 ²	0.1022
Valor de P	0.2456	0.9174	0.0372	<0.0001		
Masa de forraje, estrato de pastoreo (15-30 cm) (kg MS ha^{-1})						
Lluvia	1005.8 ^a	1152.6 ^a	1164.1 ^a	1259.3 ^a	<0.0001 ³	0.4761
Sequía	1021.0 ^a	904.5 ^b	1048.2 ^a	990.9 ^b	0.8301	0.5496
Transición	947.1 ^a	1121.9 ^a	1105.7 ^a	1338.1 ^a	<0.0001 ⁴	0.5228
Valor de P	0.4946	0.0001	0.1355	<0.0001		
Masa de forraje pos-pastoreo (kg MS ha^{-1})						
Lluvia	1879.0 ^b	2346.5 ^a	2250.5 ^a	2481.8 ^a	0.0004 ⁵	0.4476
Sequía	2394.6 ^a	2226.7 ^a	2344.4 ^a	2245.1 ^{ab}	0.4604	0.7318
Transición	2045.3 ^b	2083.1 ^a	2164.8 ^a	2050.4 ^b	0.8395	0.2411
Valor de P	0.0022	0.1836	0.4484	0.0136		

L= lineal; C= cuadrática; N= nitrógeno; MS= materia seca.

^{ab} Los valores en la misma columna con diferentes letras superíndices son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$, prueba Tukey).

Fórmulas de regresión: ¹ $\hat{Y} = 3.4671x + 3284.4$ $R^2 = 0.84$; ² $\hat{Y} = 3.2719x + 3367$ $R^2 = 0.63$; ³ $\hat{Y} = 0.9649x + 1029.7$ $R^2 = 0.91$; ⁴ $\hat{Y} = 1.4463x + 954.66$ $R^2 = 0.87$; ⁵ $\hat{Y} = 2.1404x + 1982.6$ $R^2 = 0.73$

En la etapa pos-pastoreo, hubo un efecto ($P \leq 0.05$) en la producción de masa de forraje en respuesta a la estación, la interacción de estación \times tasa y la interacción de fuente \times tasa. En la interacción, se observó un efecto lineal positivo durante la estación de lluvia a medida que aumentaban las tasas de N (Cuadro 1). En el tratamiento de tasa cero, la masa de forraje fue mayor ($P = 0.0022$) durante la estación de lluvia. La estación no tuvo efecto ($P > 0.05$) en las

tasas de 80 y 160 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. El tratamiento de 240 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ produjo una mayor masa de forraje durante la estación de lluvia, pero la producción no difirió ($P>0.05$) entre las estaciones de sequía y de transición a esta tasa.

En la interacción para la masa de forraje pospastoreo, la tasa no tuvo influencia ($P>0.05$) sobre la fuente de urea convencional cuando se ajustó a las funciones lineal y cuadrática. Sin embargo, con la urea tratada con NBPT la interacción mostró un efecto lineal positivo ($P= 0.0358$) a medida que aumentaba la tasa de fertilización. En particular a la tasa de 80 kg N ha⁻¹ año⁻¹, hubo una diferencia ($P=0.0042$) entre las fuentes, con una mayor masa de forraje pospastoreo con el uso de la urea convencional (2,391.94 kg de MS ha⁻¹) y una menor con la urea tratada con NBPT (2,045.60 kg de MS ha⁻¹) (Cuadro 2).

Cuadro 2: La masa de forraje y la densidad volumétrica en pasto Xaraés (*B. brizantha*) en respuesta a diferentes tasas de fertilización con N en condiciones de pre- y pos-pastoreo

Fuente	Tasas (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)				Efecto	
	0	80	160	240	L	C
Masa de forraje total (0-30 cm) pre-pastoreo (kg MS ha ⁻¹)						
Urea	3325.0	4093.3	3702.4	3891.6	0.0017 ¹	0.1816
NBPT	3325.0	3450.4	3459.7	3911.6	0.0172 ²	0.3521
Valor de P	1.0000	0.0006	0.1690	0.9052		
Masa de forraje pos-pastoreo (kg MS ha ⁻¹)						
Urea	2106.3	2391.9	2321.0	2188.8	0.7046	0.2139
NBPT	2106.3	2045.6	2185.5	2329.4	0.0358 ³	0.0534
Valor de P	1.0000	0.0042	0.2439	0.2268		
Densidad volumétrica de forraje (kg MS ha ⁻¹ cm ⁻¹)						
Urea	110.8	136.4	123.4	129.7	0.0017 ⁴	0.1816
NBPT	110.8	115.0	115.3	130.4	0.0173 ⁵	0.3520
Valor de P	1.0000	0.0006	0.1689	0.9049		

L= lineal; C= cuadrática; N= nitrógeno; MS= materia seca, NBPT= N-(*n-butyl*) thiophosphoric triamide.
Fórmulas de regresión: ¹ $\hat{Y} = 1.6363x + 3556.7$ R² = 0.27; ² $\hat{Y} = 2.2112x + 3271.3$ R² = 0.79; ³ $\hat{Y} = 1.0115x + 2045.3$ R² = 0.73; ⁴ $\hat{Y} = 0.0546x + 118.55$ R² = 0.27; ⁵ $\hat{Y} = 0.0737x + 109.04$ R² = 0.79

En las condiciones de pre-pastoreo, hubo diferencias significativas ($P\leq 0.05$) en la densidad volumétrica (0–30 cm) por fuente, estación ($P=0.0231$), tasa ($P<0.0001$), la interacción fuente \times tasa ($P=0.0305$), y la interacción estación \times tasa ($P<0.0020$). En la interacción se observó un efecto lineal positivo ($P\leq 0.05$) durante la estación de lluvia y la de transición; aparentemente, las plantas que tenían más agua pudieron responder al N agregado. Durante la estación de sequía, no hubo influencia ($P>0.05$) por las tasas de N cuando se ajustaron a las fórmulas lineal y cuadrático (Cuadro 3).

Cuadro 3: La densidad volumétrica de forraje en el pasto Xaraés (*B. brizantha*) en respuesta a cuatro tasas de N durante tres estaciones (lluvia, sequía y transición)

Estación	Tasas (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)				Efecto	
	0	80	160	240	L	C
Densidad volumétrica de forraje (kg MS ha ⁻¹ cm ⁻¹)						
Lluvia	104.5 ^a	125.5 ^a	129.2 ^a	134.1 ^a	<0.0001 ²	0.2535
Sequía	115.9 ^a	124.4 ^a	111.3 ^b	111.7 ^b	0.2392	0.4206
Transición	112.0 ^a	127.3 ^a	117.6 ^{ab}	144.4 ^a	<0.0001 ¹	0.1022
Valor de P	0.2456	0.9174	0.0372	<0.0001		
Densidad volumétrica, estrato de pastoreo (kg MS ha ⁻¹ cm ⁻¹)						
Lluvia	67.1 ^a	76.8 ^a	77.6 ^a	84.0 ^a	<0.0001 ⁴	0.4760
Sequía	68.1 ^a	60.3 ^b	69.9 ^a	66.1 ^b	0.8304	0.5493
Transición	63.1 ^a	74.8 ^a	73.7 ^a	89.2 ^a	<0.0001 ³	0.5231
Valor de P	0.4946	0.0001	0.1357	<0.0001		

L= lineal; C= cuadrática; N= nitrógeno; MS= materia seca.

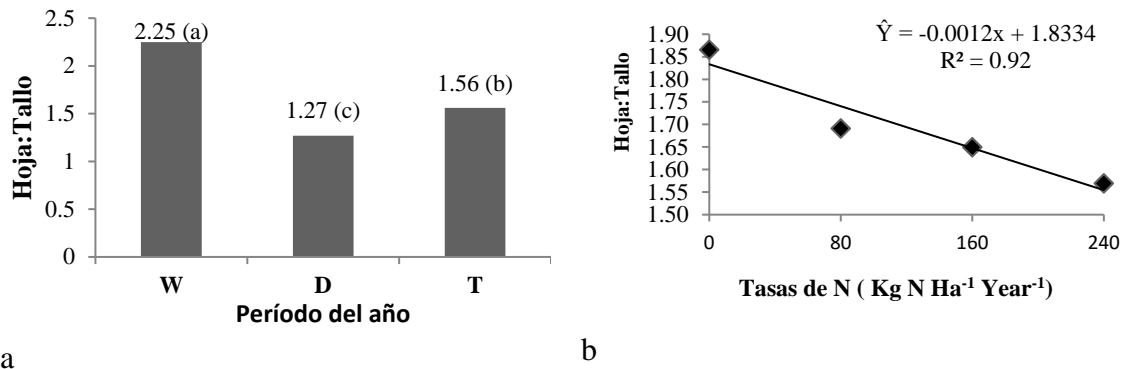
^{ab} Los valores en la misma columna con diferentes letras superíndices son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$, prueba Tukey).

Fórmulas de regresión: ¹ $\hat{Y} = 0.1156x + 109.48$ $R^2 = 0.84$; ² $\hat{Y} = 0.1091x + 112.24$ $R^2 = 0.63$; ³ $\hat{Y} = 0.0643x + 68.649$ $R^2 = 0.91$ ⁴ $\hat{Y} = 0.0964x + 63.648$ $R^2 = 0.87$.

La interacción estación \times tasa de N tuvo un efecto significativo ($P < 0.0025$) en la densidad volumétrica en el estrato de pastoreo. Mostró un efecto lineal positivo en la estación de lluvia y la de transición en respuesta a los aumentos en las tasas de N en las praderas. Sin embargo, durante la estación de sequía, las tasas de N no tuvieron un efecto ($P > 0.05$) ni con la función ajustada lineal ni cuadrática (Cuadro 1).

Tanto la estación como la tasa de N tuvieron efecto ($P \leq 0.05$) sobre la relación hoja:tallo. La relación fue más alta durante la estación de lluvia y más baja en la de sequía (Figura 3a). Las fuentes de N no influyeron en la relación hoja:tallo ($P > 0.05$), pero el incremento en las tasas de N en las praderas se reflejó en una reducción lineal ($P \leq 0.05$) en tal relación (Figura 3b).

Figura 3: La relación hoja:tallo en el pasto Xaraés (*B. brizantha*) en respuesta a cuatro tasas de N y tres estaciones [lluvia (W), sequía (D), y transición (T)]



^{abc} Letras minúsculas diferentes después del promedio sobre las columnas indican diferencias significativas (prueba de Tukey, 5% de probabilidad).

Discusión

El nitrógeno es un componente vital en las proteínas y es el principal nutriente necesario para mantener la productividad en pastos⁽³⁵⁾. Cuando se asimila por las plantas promueve un aumento en los constituyentes celulares⁽¹⁾, e influye de manera sustancial sobre la producción y elongación de las hojas^(36,37). Desde luego, la fertilización nitrogenada actúa directamente sobre la tasa de crecimiento en pastos, que a su vez afecta el aumento en y la disponibilidad de masa de forraje en una pradera.

En pastos de pastoreo, la masa de forraje se caracteriza por la altura del dosel en la etapa del prepastoreo. En el presente estudio la tasa de N causó un efecto lineal positivo en la masa de forraje durante la estación de lluvia y la de transición (Cuadro 1). Sin embargo, esto ocurrió en diferentes magnitudes según el coeficiente del pendiente de la recta. Según los resultados, se puede esperar un aumento en la masa de forraje disponible, por cada kilogramo de N, de 3.2719 kg MS ha⁻¹ en la estación de transición y de 3.4671 kg MS ha⁻¹ en la estación de lluvia. Estas variaciones en la magnitud de las respuestas a la fertilización nitrogenada también pueden estar relacionadas con las condiciones climáticas a lo largo del año (Figura 1), y con que la temperatura y la humedad estén dentro de los rangos favorables para el desarrollo del pasto Xaraés.

La disponibilidad de masa de forraje debe ser mayor a 2,000 kg de MS ha⁻¹⁽³⁸⁾, ya que valores menores que este promueven un mayor tiempo de pastoreo y un menor consumo de pasto por parte de los animales. En el presente estudio, hasta los pastos en la tasa cero de N exhibieron valores superiores a este mínimo, con promedios de 3,360.9 kg MS ha⁻¹ en la estación de

transición; 3,477.9 kg MS ha⁻¹ en la estación de sequía y 3,136.2 kg MS ha⁻¹ en la estación de lluvia (Cuadro 1). Este resultado se puede atribuir al manejo de la defoliación, lo cual incluyó una meta de altura establecida que respetó los límites ecofisiológicos del pasto Xaraés.

La estrategia de pastoreo utilizado en el presente estudio se definió de acuerdo con los lineamientos establecidos para el pasto Xaraés bajo carga intermitente, con una altura previa al pastoreo de 30 cm, una interceptación de luz (IL) correspondiente al 95 %, y la salida de los animales cuando la altura del pasto se baja a los 15 cm^(39,40). De esta manera, se consideró el rango de 15 a 30 cm de altura para calcular la masa de forraje disponible en el estrato de pastoreo (Cuadro 1); esta variable respondió a las tasas de N con un patrón similar a la masa de forraje de 0 a 30 cm. En teoría, la masa de forraje en el estrato de pastoreo es la que será consumida por el animal durante el tiempo de ocupación de la pradera. Consecuentemente, este estrato influye de manera directa en la respuesta animal ya que, en la práctica, la disponibilidad de masa de forraje está asociada al consumo individual de los animales y, desde luego, al rendimiento⁽⁴¹⁾. Las respuestas de las plantas y los animales durante el pastoreo están condicionadas por la estructura del dosel del forraje⁽⁴²⁾, el cual se ha caracterizado por variables como la interceptación de la luz, la altura de la pradera, la masa de forraje y la densidad volumétrica. La altura de las praderas prepastoreo en el presente estudio fue de 30 cm en todos los tratamientos. Como resultado, las variaciones observadas en la estructura de las praderas a lo largo del período experimental fueron resultados aislados y/o de la interacción de las fuentes de variación, de las estaciones (lluvia, sequía y transición), de las tasas de N (0, 80, 160 y 240 kg de N ha⁻¹ año⁻¹) y las fuentes de N (urea convencional y tratada con NBPT).

Los datos de la densidad volumétrica del forraje (Cuadros 2 y 3) y la relación hoja:tallo (Figura 3) en este estudio apoyan a los resultados obtenidos para la masa de forraje. Esto es de esperar ya que son los componentes relevantes en la estructura del pasto e influyen en el comportamiento de ingesta en los animales de pastoreo⁽⁴³⁾.

Se observó un efecto lineal creciente en la densidad volumétrica del forraje y la densidad volumétrica del estrato de pastoreo durante la estación de transición y la de lluvia (Cuadro 3). La densidad volumétrica promedio del forraje, por cada kilogramo de N aplicado, fue de 0.1091 kg MS ha⁻¹cm⁻¹ durante la de lluvia y de 0.1156 kg MS ha⁻¹cm⁻¹ en la de transición. Para el estrato en pastoreo, los incrementos fueron de 0.0964 kg MS ha⁻¹cm⁻¹ durante la de lluvia y 0.0643 kg MS ha⁻¹cm⁻¹ en la de transición. Incrementos en la densidad volumétrica del forraje favorecen la aprehensión por parte de los animales durante el pastoreo⁽⁴⁴⁾. De preferencia, la mayor proporción del volumen de forraje aprehendido es de hojas. Las principales estructuras vegetales que componen la densidad volumétrica del forraje en la pradera son la lámina foliar y el tallo. Las proporciones de estos elementos son importantes para el manejo de las plantas forrajeras y se califica por medio de la relación hoja/tallo.

Cuando un forraje está en la condición de límite crítica, es decir una relación hoja/tallo menor a 1, la biomasa relativa de los tallos aumenta, lo que implica una reducción en la calidad del forraje producido⁽⁴⁵⁾.

La relación hoja:tallo experimentó un efecto lineal negativo, con reducciones de 0.0012 puntos por cada kg de N aplicado a las praderas (Figura 3b). Aunque el coeficiente del pendiente fue decreciente, el valor más bajo de esta relación estuvo por encima del límite recomendado, con una relación de 1.55 puntos para la tasa de 240 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ (Figura 3b). Se puede explicar esta disminución por un mayor crecimiento de las plantas, particularmente por el mayor crecimiento de los tallos; estas tasas más altas de crecimiento están asociadas con las condiciones de temperatura y lluvia durante la estación de lluvia y la de transición. Aumentos en los niveles de N disponibles para la planta resultan en un aumento en la densidad de brotes⁽⁴⁶⁾, seguido por un aumento en la tasa de crecimiento de la planta. Este puede desencadenar una competencia temprana por la luz en el dosel, favoreciendo la elongación del pseudotallo⁽⁴⁷⁻⁵⁰⁾, y así produciendo una reducción en la relación hoja:tallo. La estrategia de manejo de la pradera implementado en el presente estudio evitó la acumulación excesiva de culmos. Aunque si habían culmos presentes, eran más jóvenes y desde luego más fáciles de aprehender por el animal; o sea, eran básicamente un pseudotallo⁽³⁹⁾, formado por invaginaciones de las vainas de las hojas.

La relación hoja:tallo respondió a las condiciones en las estaciones (Figura 3a); era más alta en la estación de lluvia (2.25) y más baja en la estación de sequía (1.27). Sin importar la estación, las relaciones hoja:tallo observadas en este estudio estaban por encima del límite crítico preestablecido. La menor proporción de tallo producido demuestra que la estrategia de pastoreo implementada fue eficiente en el control de la elongación del tallo, produciendo una mejor calidad de forraje disponible. Es importante señalar que en las tasas de N de 0 y 80 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ la masa de forraje de 0-30 cm no difirió entre la estación de lluvia y la de transición (Cuadro 1). Lo mismo se observó para la masa de forraje en el estrato en pastoreo en las tasas de 80 y 160 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. Cuando se considera los datos de la relación hoja:tallo en las estaciones (Figura 3b), se puede observar que la proporción de tallo predomina, lo que puede bajar la calidad del forraje, y como consecuencia el consumo de forraje y el desempeño del animal.

La masa de forraje disponible es el resultado de la acumulación de forraje durante el período de rebrote, que a su vez se vea afectado por la masa de forraje pospastoreo. En la estación de lluvia, hubo un efecto lineal positivo ($P < 0.0004$) sobre la masa de forraje pospastoreo por cada kilogramo de N aplicado, produciendo aproximadamente 21,404 kg MS ha⁻¹ (Cuadro 1). La presencia de más masa de forraje pospastoreo puede proporcionar un rebrote vigoroso ya que un mayor remanente de hojas verdes provee un mayor aparato fotosintético para que la planta inicie este rebrote.

Se esperaba que la urea tratada con NBPT, de liberación prolongada, promovería una mayor producción de masa de forraje en todos los tratamientos. La liberación lenta del N llevaría a menores pérdidas de NH_3 por la volatilización y desde luego un mayor uso de N por parte de la planta. Sin embargo, las únicas diferencias observadas entre los dos tipos de urea en términos de masa de forraje pre- y pos-pastoreo (y por consecuencia la densidad volumétrica) fueron valores mayores con la urea convencional en la tasa de $80 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Cuadro 2). Se puede atribuir estos resultados al efecto sinérgico de algunos factores como los residuos de pos-pastoreo^(51,52), la concentración de urea tratada con NBPT⁽⁶⁾, y las condiciones climáticas (altas temperaturas y suelos húmedos) durante el período de aplicación del fertilizante^(51,52,53). En el presente estudio, el manejo eficiente del pastoreo resultó en un adecuado residuo de pos-pastoreo (Cuadro 1), lo cual aumentó la cobertura vegetal del suelo. Esto podría haber aminorado la eficiencia de la urea tratada con NBPT debido a la alta actividad de ureasa⁽⁵¹⁾.

La urea tratada con NBPT utilizado en el presente estudio es un producto comercial que se comercializa en Brasil con una concentración de 530 mg kg^{-1} ⁽⁵²⁾. En un estudio previo, se usó la urea tratada con NBPT en cultivos de caña de azúcar con cobertura de paja verde. La cantidad de paja en el suelo bajó la eficiencia de la urea, y la recomendación fue duplicar la concentración comercial de NBPT en la urea como una forma de aumentar su eficiencia⁽⁵²⁾. Esto sugiere que la presencia del residuo pos-pastoreo al momento de la fertilización, en conjunto con la concentración de urea tratada con NBPT, contribuyeron a los resultados encontrados en este trabajo.

Además, es importante considerar que, tanto en la estación de lluvia como en la de transición, el nivel de precipitación y las temperaturas registradas antes de las aplicaciones de los fertilizantes fueron muy favorables (Figuras 1 y 2). Esto puede acelerar la degradación del NBPT y aumentar la volatilización del NH_3 ^(54,55).

El correcto manejo del pastoreo en el presente estudio aseguró un adecuado nivel de residuo pos-pastoreo. Esto permitió que los aumentos en las tasas de N se reflejaban en una mayor producción de forraje, y una relación hoja-tallo más favorable. Por lo tanto, se puede inferir de manera indirecta que tanto la calidad del forraje como la eficiencia en el aprovechamiento del forraje producido fueron buenos. A la vez, este mismo nivel de residuos pudo haber comprometido la eficiencia de la urea de liberación lenta (NBPT) en promocionar un aumento en la productividad de la masa de forraje.

Conclusiones e implicaciones

La aplicación de urea tratado con NBPT sobre el pasto Xaráes manejado con alturas de 30 cm pre-pastoreo y 15 cm pos-pastoreo no tuvo efecto sobre la disponibilidad de forraje. En

la estación de lluvia y la de transición, tanto la urea tradicional como la tratada con NBPT produjeron un aumento en la masa de forraje y la densidad volumétrica hasta en un 240 kg N ha⁻¹ año⁻¹. En el futuro, las investigaciones deben de enfocarse en evaluar la respuesta de praderas de pastos tropicales en diferentes alturas pos-pastoreo a concentraciones más altas de urea tratado con NBPT.

Agradecimientos

Los autores recibieron becas del CNPq and CAPES.

Literatura citada:

1. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2. ed. Ithaca: Cornell University 1994.
2. Gao WL, Yang H, Kou L, Li SG. Efeitos da deposição de nitrogênio e adubação nas transformações de N em solos florestais: uma revisão. *J Solos e Sed* 2015;15(4):863-879.
3. Cameron KC, Di HJ, Moir JL. Perdas de nitrogênio do sistema solo/planta: uma revisão. *Ann Appl Bio* 2013;162 (2):145-173.
4. Primavesi AC, Primavesi O, Corrêa LA, Silva AG, Cantarella H. Nitrate leaching in heavily nitrogen fertilized coastcross pasture. *R Bras Zootec* 2006;35:683-690.
5. Bortoletto-Santos R, Guimarães GGF, Roncato Junior V, Cruz DF, Polito WL, Ribeiro C. Biodegradable oil-based polymeric coatings on urea fertilizer: N release kinetic transformations of urea in soil. *Sci Agric* 2020;77(e20180033). <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0033>.
6. Cantarella H, Otto R, Soares JR, Silva AGB. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. *J Adv Res* 2018;13:19-27. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.008>.
7. Guimarães GG, Mulvaney RL, Cantarutti RB, Teixeira BC, Vergütz L. Value of copper, zinc, and oxidized charcoal for increasing forage efficiency of urea N uptake. *Agric Ecosyst Environ* 2016; 224:157-165.
8. Ibrahim KRM, Babadi FE, Yunus R. Comparative performance of different urea coating materials for slow release. *Particuology* 2014;17:165-172. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2014.03.009>.

9. Ni B, Liu M, Lü S. Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations. *Chem Eng J* 2009;155(3):892-898. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.08.025>.
10. Lasisi AA, Akinremi OO, Zhang Q, Kumaragamage D. Efficiency of fall versus spring applied urea-based fertilizers treated with urease and nitrification inhibitors I. Ammonia volatilization and mitigation by NBPT. *Soil Sci Soc Am J* 2020. <https://doi.org/10.1002/saj2.20062>.
11. Silva AGB, Sequeira CH, Sermarini RA, Otto R. Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: a meta-analysis. *Agron J* 2017;109(1):1. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.04.0200>.
12. Singh J, Kunhikrishnan A, Bolan NS, Saggar S. Impact of urease inhibitor on ammonia and nitrous oxide emissions from temperate pasture soil cores receiving urea fertilizer and cattle urine. *Sci Total Environ* 2013;65:56–63.
13. Halvorson AD, Snyder CS, Blaylock AD, Del Grosso SJ. Enhanced-efficiency nitrogen fertilizers: Potential role in nitrous oxide emission mitigation. *Agron J* 2014;106(2): 715–722. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0081>.
14. Trenkel ME. Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris. 2010.
15. Watson CJ, Laughlin RJ, McGeough KL. Modification of nitrogen fertilizers using inhibitors: Opportunities and potentials for improving nitrogen use efficiency. *Int Fert Soc Proc*. Colchester, UK. 2009; 658.
16. Gioacchini P, Nastri A, Marzadori C, Giovannini C, Antisari LV, Gessa C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. *Biol Fertil Soils* 2002;36:129–135. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0521-1>.
17. Carmona G, Christianson CB, Byrnes BH. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (n-BTPT) on ammonia volatilization from urea. *Soil Biol Biochem* 1990;22(7):933–937. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90132-J](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90132-J).
18. Chagas PHM, Gouveia GCC, Costa GGS, Barbosa WFS, Alves AC. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. *J Neotrop Agric* 2017;4(2):76-80.

19. Soares JR, Cantarella H, Menegale MLC. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. *Soil Biology Biochem* 2012;52:82–89. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.019>
20. Cantarella H, Trivelin PCO, Contin TLM, Dias FLF, Rossetto R, Marcelino R, Coimbra RB, Quaggio JA. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Sci Agric* 2008;65(4):397-401.
21. Watson CJ, Miller H, Poland P, Kilpatrick DJ, Allen MDB, Garrett MK, Christianson C. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N- (n-butyl) thiophosphoric triamide (n BTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Biol Biochem* 1994;26(9):1165–1171. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90139-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90139-2).
22. Silveira ML, Vendramini JMB, Sellers B, Monteiro FA, Artur AG, Dupas E. Bahiagrass response and N loss from selected N fertilized sources. *Grass Forage Sci* 2015;70(1):154-160.
23. Zavaschi E, Faria LDA, Vitti GC, Nascimento CADC, Moura TAD, Vale DWD, *et al.* Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. *R Bras Ciênc Solo* 2014;38(4):1200-1206. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400016>.
24. Espindula MC, Rocha VS, Souza MA, Capanhari M, Paula GS. Rates of urea with or without urease inhibitor for topdressing wheat. *Chil J Agric Res* 2013;73(2):160–167. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000200012>.
25. Massey CG, Norman RJ, Jr EEG, DeLong RE, Golden BR. Bermuda grass forage yield and ammonia volatilization as affected by nitrogen fertilization. *Soil fertility and plant nutrition. Soil Sci Soc Am J* 2011;75:638–648.
26. Pan B, Lam SK, Mosier A, Luo Y, Chen D. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agric Ecosyst Environ* 2016; 232:283-289. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>.
27. Turner DA, Edis RB, Chen D, Freney JR, Denmead OT, Christie R. Determination and mitigation of ammonia loss from urea applied to winter wheat with N- (n-butyl) thiophosphoric triamide. *Agric Ecosyst Environ* 2010;37(3–4):261-266.
28. Schraml M, Gutser R, Maier H, Schmidhalter U. Ammonia loss from urea in grassland and its mitigation by the new urease inhibitor 2-NPT. *J Agric Sci* 2016;154(8):1453-1462. <https://doi.org/10.1017/S0021859616000022>.
29. Thornthwaite CW, Mather RJ. The water balance. New Jersey: Laboratory of climatology 1955;104.

30. Pequeno DNL. Intensidade como condicionante da estrutura do dossel e da assimilação de carbono de pastos de capim Xaraés [*Brachiaria brizantha* (A. Rich) Stapf. cv. Xaraés sob lotação contínua .75f. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq, 2010.
31. Mislevy P, Mott GO, Martin FG. Screening perennial forages by mob grazing technique. In: Smith JA, Hays VW, eds. Proc. Int. Grassl. Congr. 14th, Lexington, KY. 15–24 June 1981. Boulder, CO: Westview Press; 1983:516-519.
32. Marten GC, Shenk JS and Barton II FE. Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS), analysis of forage quality. Washington: USDA, ARS (Agriculture Handbook, 643), 1985.
33. Stobbs, THA. The effect of plant structure on the intake of tropical pasture. I. Variation in the bite size of grazing cattle. Aust J Agric Res 1973;24(6):809-819.
34. Grant SA, Marriot CA. Detailed studies of grazed sward-techniques and conclusions. J Agric Sci 1994;122(1):1-6.
35. Galindo FS, Buzetti S, Teixeira Filho MCM, Dupas E, Ludkiewicz MGZ. Application of different nitrogen doses to increase nitrogen efficiency in Mombasa guinegrass (*Panicum maximum* cv. Mombasa) at dry and rainy seasons. Aust J Crop Sci 2017;11 (12):1657-1664.
36. Pereira LET, Paiva AJ, Guarda VD, Pereira PM, Caminha FO, Silva SC. Eficiência de aproveitamento da forragem do capim-marandu em estoque contínuo submetido à fertilização com nitrogênio. Sci Agric 2015;72(2):114-123. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0013>.
37. Martuscello J, Rios J, Ferreira M, Assis J, Braz T, Cunha D. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. Boletim de Indústria Animal 2019;76:1-10. <https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e144.1>
38. Minson DJ . Forage in ruminant nutrition. San Diego: Academic Press, 1990.
39. Pedreira BC, Pedreira CGS, Silva SC. Herbage accumulation during regrowth of Xaraés palisadegrass submitted to rotational stocking strategies. R Bras Zootec 2009;38 (4):618-625.
40. Sousa BMDL, Nascimento Júnior DD, Rodrigues CS, Monteiro HCDF, Silva SCD, Fonseca DMD, Sbrissia AF. Características morfológicas e estruturais do capim-xaraés submetido a alturas de corte. R Bras Zootec 2011;40(1):53-59.
41. Hodgson J. Grazing management. Science into practice. Longman Group UK, 1990.

42. Carvalho PDF, Ribeiro Filho HMN, Poli CHEC, Moraes AD, Deleгарde R. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia 2001;38:871.
43. Stobbs THA. The effect of plant structure on the intake of tropical pasture. I. Variation in the bite size of grazing cattle. Aust J Agric Res 1973;24(6):809-819.
44. Palhano AL, Carvalho PCDF, Dittrich JR, Moraes AD, Barreto MZ, Santos MCFD. Estrutura da pastagem e padrões de desfolhação em capim-mombaça em diferentes alturas do dossel forrageiro. R Bras Zootec 2005;34(6):1860-1870.
45. Brâncio PA, Euclides VPB, Nascimento Júnior DD, Fonseca DMD, Almeida RGD, Macedo MCM, Barbosa RA. Avaliação de três cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo: disponibilidade de forragem, altura do resíduo pós-pastejo e participação de folhas, colmos e material morto. R Bras Zootec 2003;32(1):55-63.
46. Santos MER, Souza BDL, Rocha GDO, Freitas CAS, Silveira MCT, Sousa DOC. Estrutura do dossel e características de perfilhos em pastos de capim-piatã manejados com doses de nitrogênio e períodos de diferimento variáveis. Cienc Anim Bras 2017; 18:1-13.
47. Gastal F, Nelson CJ. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. Plant Physiology 1994;105(1):191-197.
48. Cruz, P, Boval, M. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. In: Lemaire G, Hodgson J, Moraes A, editors. Grassland ecophysiology and grazing ecology. Centre for Agriculture and Biosciences International; London, UK. 2000:151-168.
49. Sbrissia AF, Silva SC. O ecossistema de pastagens e a produção animal. Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Sociedade Brasileira de Zootecnia: Brasília, DF, Brazil. 2001.
50. Mesquita P, Silva SC, Paiva AJ, Caminha FO, Pereira LET, Guarda VD, Nascimento Júnior D. Structural characteristics of marandu palisadegrass swards subjected to continuous stocking and contrasting rhythms of growth. Sci Agric 2010;67(1):23-30. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000100004>.
51. Tasca FA, Ernani PR, Rogeri DA, Gatiboni LC, Cassol PC. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de uréase. Rev Bras Ciência do Solo 2011;35(2):493-502. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200018>.

52. Mira AB, Cantarella H, Souza-Netto GJM, Moreira LA, Kamogawa MY, Otto R. Optimizing urease inhibitor usage to reduce ammonia emission following urea application over crop residues. *Agric, Ecosyst Environ* 2017;248:105–112. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.032>.
53. Bouwmeester RJB, Vlek PLG, Stumpe JM. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. *Soil Sci Soc Am J* 1985;49(2):376. <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900020021x>.
54. Engel R, Williams E, Wallander R, Hilmer J. Apparent persistence of N- (*n-butyl*) thiophosphoric triamide is greater in alkaline soils. *Soil Sci Soc Am J* 2013;77(4): 1424. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0380>.
55. Suter HC, Pengthamkeerati P, Walker C, Chen D. Influence of temperature and soil type on inhibition of urea hydrolysis by N- (*n-butyl*) thiophosphoric triamide in wheat and pasture soils in south-eastern Australia. *Soil Res* 2011;49(4):315. <https://doi.org/10.1071/sr10243>.