


Estructura del pasto forrajero con cultivares de *Urochloa brizantha* bajo sombra



Estella Rosseto Januszkiewicz ^{a*}

Luísa Melville Paiva ^a

Henrique Jorge Fernandes ^a

Alex Coene Fleitas ^b

Patricia dos Santos Gomes ^a

^a State University of Mato Grosso do Sul. University Unit of Aquidauana, Rodovia Graziela Maciel Barroso, Km 12 Zona Rural, 79200000, Aquidauana, MS, Brazil.

^b Federal University of Mato Grosso do Sul. Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Campo Grande, MS, Brazil.

* Autor de correspondencia: estella_rosseto_januszkiewicz@yahoo.com.br

Resumen:

Este estudio evaluó la estructura de pastos sembrados con *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguas y BRS Piata bajo el sistema de sombra de eucalipto, fertilizados vía foliar al inicio de las temporadas seca y lluviosa. El experimento siguió un diseño de bloques al azar con un arreglo factorial de 4×2×2 (4 niveles de fertilizantes foliares × 2 sistemas × 2 temporadas). Los resultados se analizaron utilizando el GLIMMIX PROC de la Universidad SAS, mientras que las medias se compararon mediante la prueba de t al 5 %. El fertilizante foliar tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en la producción de brotes del cv. BRS Paiaguas bajo sombra, mientras que los niveles de 3 y 6 L/ha produjeron las menores masas ($P \leq 0.05$). Las masas del forraje y raíz fueron afectadas significativamente ($P \geq 0.05$) por los sistemas y las temporadas, mientras que la masa de la materia muerta no fue influenciada por las temporadas. El sistema de sombra resultó en una masa de la materia muerta significativamente menor ($P \leq 0.05$) para ambos cultivares y masas de hojas y tallos mayores ($P \leq 0.05$) para el cv. BRS Piata. En la temporada de lluvias, las masas de hojas y tallos fueron mayores ($P \leq 0.05$). La fertilización foliar con hasta 6 L/ha

favoreció el control del tallo en el cv. BRS Paiaguas bajo sombra. Las masas resultantes de forraje, materia muerta y raíz permiten concluir que los cultivares se adaptaron bien a la sombra y a la temporada seca.

Palabras clave: *Brachiaria brizantha*, Fertilizante foliar, Pleno sol, Temporadas, Sistema silvopastoril.

Recibido: 23/07/2020

Aceptado: 04/02/2021

Introducción

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, los sistemas silvopastoriles son importantes por ser una herramienta valiosa para ayudar a la recuperación de pastizales degradados. El proceso de degradación de los pastizales está relacionado con el deterioro físico y químico del suelo que puede reducirse o evitarse cuando se introducen árboles para reducir el impacto de la lluvia en el suelo y la velocidad del viento en la zona, además de ayudar a mantener y mejorar las propiedades físicas del suelo⁽¹⁾. Además, el gobierno brasileño se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero previstas para 2020 entre el 36.1 % y el 38.9 %, y a aumentar el uso de tecnologías para la recuperación de pastizales degradados y la integración de la agricultura, la ganadería y la silvicultura, entre otros compromisos⁽²⁾.

La presencia de árboles altera el microclima, reduciendo la radiación solar y la temperatura y aumentando la humedad del aire y el suelo⁽¹⁾. Así, según los autores, las condiciones ambientales del suelo y su interfaz con la hojarasca mejoran la actividad microbiológica y la tasa de mineralización de los nutrientes. Los pastizales bien establecidos y manejados pueden contribuir a aumentar la tasa de secuestro de C del suelo⁽³⁾. En los pastizales, la sombra proporcionada por los árboles proporciona un ambiente animal, disminuyendo el estrés térmico y mejorando el rendimiento animal⁽⁴⁾.

En cuanto al pasto, el sombreado en torno al 35 % aumenta el contenido de proteína cruda, reduce el contenido de fibra detergente neutro y aumenta la digestibilidad de la pasto que crece bajo el dosel de los árboles⁽⁵⁾. Además, se producen cambios en la cantidad de clorofila. Oliveira *et al*⁽⁶⁾ observaron un aumento en los niveles de clorofila a en plantas de sombra de *Panicum maximum* cv. Tanzania y *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, en relación con el pleno sol. Sin embargo, las ventajas de los árboles en la producción de pasto dependen del grado de sombreado, que varía mucho dependiendo de la edad, el espaciamiento y el arreglo del componente árbol⁽⁷⁾.

Aunque no se seleccionan para este propósito, los principales forrajes cultivados en Brasil pueden ser utilizados en sistemas silvopastoriles⁽⁸⁾. La respuesta del forraje a la sombra depende de la tolerancia de la planta, la arquitectura de la copa de los árboles y la fertilidad del suelo, mientras que el efecto positivo se asocia con una mayor disponibilidad de N en el suelo⁽¹⁾. Desde el punto de vista de la productividad, así como de la sostenibilidad ambiental y económica, la ganadería exitosa en pastizales requiere una gran atención de la fertilidad del suelo. En la literatura diversos estudios consideran la influencia de la fertilización del suelo en los parámetros morfológicos y/o productivos de los cultivares de *Urochloa brizantha*: nitrógeno y/o fósforo⁽⁹⁻¹⁴⁾, y nitrógeno y potasio⁽¹⁵⁾. Sin embargo, hay pocos estudios específicos sobre la fertilización foliar en forrajes.

El manejo del forraje requiere un monitoreo cuidadoso de los parámetros estructurales importantes del pasto, como la altura del pasto, la masa del forraje, la densidad de las hojas y la cantidad, ya que afectan más a la producción de forraje y a los animales⁽¹⁶⁾. La masa del tallo también es de gran importancia porque afecta el consumo animal al tiempo que disminuye el valor nutritivo del forraje disponible. Además del brote aéreo, el sistema radicular es responsable de absorber los nutrientes del suelo y de acumular las reservas orgánicas de las plantas, que son fundamentales para la recuperación de las plantas después de la defoliación.

Para ello, queda clara la importancia de los sistemas silvopastoriles, así como conocer el comportamiento del forraje bajo sombra, y utilizar la fertilización foliar como técnica complementaria a la fertilización convencional. Por lo tanto, este trabajo evalúa la estructura de un pasto forrajero sembrado con *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguas y BRS Piata fertilizados vía foliar en tres niveles diferentes y un control, bajo sombra de eucalipto y pleno sol y durante las temporadas lluviosa y seca. Los resultados deben aportar nueva información sobre el uso y manejo de los forrajes estudiados en sistemas silvopastoriles.

Material y métodos

El estudio se realizó en Aquidauana, MS (20°27'S y 55°40'W, 170 m de altitud media). El clima regional es Aw (sabana tropical), según Köppen⁽¹⁷⁾, y el suelo es un Ultisol de textura franco arenosa⁽¹⁸⁾. Se realizaron dos experimentos simultáneos en dos zonas cada uno, el primero bajo un sistema de sombra de eucalipto y otro a pleno sol (control). Los forrajes evaluados fueron *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster [sin. *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf.] cv. BRS Paiaguas y cv. BRS Piata. Cada cultivar fue utilizado en un experimento. En 2015, se recolectaron muestras de suelo y se enviaron para su análisis químico. El suelo se preparó mediante la aplicación de 3 L/ha de glifosato, seguido de rastreo para controlar la matocompetencia en la zona. El análisis químico del suelo indicó los siguientes resultados: pH en agua 5.32; 15.85 g/dm³ de materia orgánica; 3.96 mg/dm³ de P; 0.15 cmol/dm³ de K; 1.9 cmol/dm³ de Ca; 1.0 cmol/dm³ de Mg; 0.10 cmol/dm³ de Al; 2.68 cmol/dm³ de H + Al; 3.05 cmol/dm³ suma

de bases, y 53.23 % saturación de bases. Con base en estos resultados, se aplicó piedra caliza seguida de rastreo para incorporar la cal en el suelo.

En las áreas designadas para el sistema de sombra, el subsoleo se realizó en las filas de plantación de árboles de entre 30 y 40 cm de profundidad. Antes de la plantación a finales de 2015, las plántulas de eucalipto fueron tratadas con fosfato monoamónico (1.5 %) e insecticida a base de imidacloprid (0.5 %). Las plántulas de los árboles se plantaron en filas individuales de Este-Oeste, con espacio de 14 m entre filas y 3 m entre árboles. Se plantaron los clones I-144 y 1277 de híbridos *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, se fertilizaron con 80 g NPK/planta¹ (06-30-06) y se regaron con aproximadamente 4 L de agua por planta. Después de 60 días, la matocompetencia se controló mediante deshierbe manual entre árboles y el cepillado mecánico entre filas. Posteriormente, los eucaliptos fueron fertilizados tres veces más con 80 g NPK/planta, a los 90 y 180 días (20-00-20), y a los 12 meses (00-00-60). Al final del período experimental, los eucaliptos tenían una altura promedio de 11.98 m (que oscilaba entre 7.92 y 14.97 m) y aproximadamente 2 años.

Los pastos de los cv. BRS Paiaguas y cv. BRS Piata se sembraron en ambas áreas, en noviembre de 2016. Las áreas se dividieron en tres bloques, con cuatro unidades experimentales por bloque, dando un total de 12 unidades experimentales (10 x 9 m cada una) para cada sistema (sombra y pleno sol). Se sembraron 20 filas de forraje por unidad experimental, utilizando la cantidad en gramos recomendada. Las unidades experimentales se regaron hasta que las plantas pudieron desarrollarse sin riego y, a partir de entonces, las unidades experimentales se sometieron a cortes de uniformidad a 15 cm de altura al comienzo de cada temporada. Además, se aplicó el herbicida 2.4 D para controlar las malezas en las filas entre las unidades experimentales.

El período de evaluación de agosto de 2017 a marzo de 2018 se dividió en temporadas seca (82 días de agosto a noviembre de 2017) y lluviosa (88 días de diciembre de 2017 a marzo de 2018). Las temperaturas promedio y precipitaciones acumuladas fueron de 27.2 °C y 183.6 mm y 26.6 °C y 673.0 mm en las temporadas seca y lluviosa, respectivamente.

Además de evaluar los sistemas de sombra y pleno sol, se evaluaron tres niveles de fertilización foliar, Quimiorgen Pasto® (3, 6 y 9 L/ha) con 2 L/ha Niphokam®, y el testigo (sin fertilización foliar). El porcentaje y concentración de nutrientes de Quimiorgen pasto® fueron 20 % y 270.0 g/L de fósforo (P₂O₅); 0.5 % y 6.75 g/L de boro (B); 3 % y 40.5 g/L de manganeso (Mn) y zinc (Zn). Mientras que la composición de Niphokam® fue de 10 % y 135.0 g/L de nitrógeno; 8 % y 108.0 g/L de fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O); 1 % y 13.5 g/L de calcio (Ca) y zinc (Zn); 0.5 % y 6.75 g/L de magnesio (Mg), boro (B) y manganeso (Mn); y 0.2 % y 2.70 g/L de cobre (Cu).

El fertilizante foliar se aplicó utilizando un aspersor de mochila presurizado de CO₂. La cantidad total aplicada a cada unidad experimental se calculó de acuerdo con la

calibración del equipo, considerando la recomendación 200 L/ha de jarabe (los dos fertilizantes foliares más agua) y los niveles recomendados en los tratamientos. La fertilización se realizó por la tarde para evitar las horas más calurosas del día mientras se buscaba maximizar la humedad para que el fertilizante fuera mejor absorbido por las hojas. En todas las áreas experimentales, se aplicó fertilizante al comienzo de cada temporada, una semana después del corte de uniformidad, para garantizar suficiente área de absorción de la hoja.

Los parámetros estructurales evaluados fueron la altura media del forraje y la masa total del forraje, así como la masa de las hojas, el tallo, la materia muerta y la raíz. A excepción de la masa de la raíz, las evaluaciones se realizaron en intervalos de 28 días, a los 28, 56 y 84 días después de la fertilización foliar, dando un total de tres evaluaciones en cada temporada (seca y lluviosa). En la temporada seca, la fertilización foliar fue a principios de agosto y las tres evaluaciones fueron a principios de septiembre, octubre y noviembre de 2017, respectivamente. En la temporada de lluvias, la fertilización foliar fue a principios de diciembre de 2017 y las evaluaciones a principios de enero, febrero y marzo de 2018. Las muestras de raíz se recolectaron a fines de octubre de 2017 y febrero de 2018, para las temporadas seca y lluviosa, respectivamente.

La altura media del pasto se midió en 20 puntos al azar que representaban la altura media de cada parcela experimental, utilizando una regla graduada en cm. Dos muestras de forraje dentro de un área de 0.0625 m² definida por un marco de metal fueron cortadas cerca del suelo. Cada muestra se dividió en dos submuestras. Se pesó una submuestra, se secó en un horno de circulación forzada a 65 °C durante 72 h, y se volvió a pesar para obtener la materia seca total. La otra submuestra se separó en fracciones morfológicas de hoja, tallo y materia muerta, que se pesaron, se secaron en horno a 65 °C durante 72 h y se pesaron nuevamente. La masa total de forraje y las masas de los diferentes componentes morfológicos se obtuvieron a partir de los pesos frescos y secos.

En cada área experimental, se recolectaron muestras de raíces en lugares que representaban la altura promedio del pasto, que se determinó el día anterior al muestreo, midiendo la altura en 20 puntos aleatorios utilizando una regla graduada en cm. Un cilindro de acero de 15 cm de altura y 15 cm de diámetro se introdujo completamente en el suelo para muestrear las raíces y las partes del brote. La primera parte de cada muestreo consistió en cortar el brote aéreo de la muestra a 5 cm del suelo, seguido de la introducción completa del cilindro en el suelo para la remoción de raíces y suelo. Estas muestras se tomaron siempre entre las 6 y las 10 h de la mañana para evitar las variaciones de los contenidos de hidratos de carbono de reserva⁽¹⁹⁾ y compuestos nitrogenados⁽²⁰⁾ que se producen a lo largo del día en los órganos de acumulación vegetal.

Después de la remoción, las muestras de raíz (más la base del tallo) se empacaron en bolsas de plástico y se colocaron en una caja de poliestireno con hielo para evitar pérdidas de compuestos solubles y, en consecuencia, masa, y se llevaron inmediatamente al laboratorio. Para eliminar el suelo de las raíces, cada muestra se lavó en agua corriente

sobre un tamiz de malla de 3 mm y se congeló inmediatamente⁽²¹⁾ para su posterior secado. Después de la descongelación, las muestras se lavaron nuevamente para eliminar el suelo restante, se pesaron, se secaron a 65 °C durante 72 h y se volvieron a pesar. La masa de la raíz se determinó utilizando los pesos frescos y secos.

El diseño experimental consistió en un bloque al azar con 3 bloques y 4 parcelas por bloque, para cada sistema de sombra, dando un total de 12 unidades experimentales por sistema en cada temporada. Los datos se analizaron como un arreglo factorial de 4x2x2 (cuatro niveles de fertilizante fosfatado x dos sistemas de sombra x dos temporadas anuales (lluviosa y seca)), considerando los datos recolectados en cada parcela en cada temporada, como medidas repetidas en el tiempo en la misma unidad experimental. Todas las interacciones fueron evaluadas y eliminadas del modelo cuando no fueron significativas, o se desdoblaron adecuadamente.

Los datos fueron analizados utilizando el PROC GLIMMIX de la Universidad SAS (SAS Institute Inc, Cary, CA, EE. UU.) y, en su caso, se compararon las medias de mínimos cuadrados de los sistemas de sombra o las temporadas mediante el pdiff del comando LSmeans. Cuando se identificó el efecto de los niveles de fertilización, los niveles promedio de fertilización se compararon con el testigo (sin fertilización) utilizando un ajuste para la prueba de Dunnett en la opción pdiff. En este caso, los efectos lineales a cuadráticos de los niveles de fertilizantes utilizados también se evaluaron utilizando contrastes ortogonales. Se adoptó un nivel de significancia del 5 % para todos los análisis estadísticos.

Resultados

La altura y masa del pasto, las masas de las hojas y de las raíces de los dos cultivares de *Urochloa brizantha* no fueron afectadas significativamente ($P \geq 0.05$) por los niveles de fertilizante foliar estudiados (Cuadro 1). Del mismo modo, la masa de la materia muerta del cv. BRS Paiaguas no fue modificada significativamente ($P \geq 0.05$) por los niveles de fertilizante foliar. Sin embargo, la masa de la materia muerta del cv. BRS Piata fue significativamente ($P \leq 0.05$) alterada por la interacción nivel de fertilizante foliar \times días de crecimiento, que después del desdoblamiento, indicó que la masa de la materia muerta promedio fue similar ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos en cada período: 3,937.14 kg MS/ha para el tratamiento sin fertilización y 3,738.75; 3,993.97 y 3,984.56 kg MS/ha para los 3, 6 y 9 L/ha de fertilizante foliar, respectivamente.

Cuadro 1: Altura (cm), masa del forraje (kg MS/ha), masa de las hojas (kg MS/ha), masa de la materia muerta (kg MS/ha) y masa de la raíz (kg MS/ha) de los dos cultivares, para los diferentes niveles de fertilización foliar (Media±EE)

	Niveles de fertilización foliar (L Quimiorgen/ha)			
	0	3	6	9
cv. BRS Paiaguas				
Altura	51.81 ± 1.74	54.62 ± 1.74	54.64 ± 1.74	52.63 ± 1.74
Masa del forraje	14,585.0 ± 758.95	12,838.0 ± 758.95	13,547.0 ± 758.95	13,278.0 ± 758.95
Masa de las hojas	4,893.58 ± 315.25	4,728.92 ± 315.25	4,921.72 ± 315.25	4,779.61 ± 315.25
Masa de la materia muerta	4,314.33 ± 331.99	3,787.58 ± 331.99	3,812.67 ± 331.99	3,857.00 ± 331.99
Masa de la raíz	22,335 ± 3077.19	16,392 ± 3077.19	17,881 ± 3077.19	19,955 ± 3077.19
cv. BRS Piata				
Altura	58.32 ± 1.60	58.13 ± 1.60	55.63 ± 1.60	55.99 ± 1.60
Masa del forraje	17,662.0 ± 931.13	16,012.0 ± 931.13	17,625.0 ± 931.13	17,496.0 ± 931.13
Masa de las hojas	6,746.17 ± 348.36	6,220.08 ± 348.36	6,995.42 ± 348.36	6,732.44 ± 348.36
Masa del tallo	6,978.31 ± 409.71	6,053.64 ± 409.71	6,635.61 ± 409.71	6,778.75 ± 409.71
Masa de la raíz	21,813 ± 3473.95	31,738 ± 3473.95	23,146 ± 3473.95	27,481 ± 3473.95

La masa del tallo del cv. BRS Paiaguas fue afectada significativamente ($P \leq 0.05$) por la interacción nivel de fertilizante foliar \times sistema (Cuadro 2). En el sistema de sombra, la masa del tallo fue menor ($P \leq 0.05$) para 3 y 6 L/ha en comparación con 9 L/ha y el control. En el sistema de pleno sol, la masa del tallo fue similar ($P \geq 0.05$) para los niveles de fertilizante foliar y el control. Por otro lado, la masa del brote del cv. BRS Piata no cambió significativamente ($P \geq 0.05$) para los niveles de fertilizante foliar estudiados (Cuadro 1).

Cuadro 2: Masa del tallo (kg MS/ha) del cv. BRS Paiaguas en relación con la interacción nivel de fertilizante foliar \times sistema (Media±EE)

	Niveles de fertilización foliar (L Quimiorgen/ha)			
	0	3	6	9
Sistema de sombra	6,818.67 ± 515.85 ^a	4,307.72 ± 515.85 ^b	4,975.33 ± 515.85 ^b	5,138.11 ± 515.85 ^b
Sistema de pleno sol	3,935.28 ± 448.77 ^a	4,334.67 ± 448.77 ^a	4,649.00 ± 448.77 ^a	4,144.44 ± 448.77 ^a

^{ab}Medias en la misma fila, seguidas por letras distintas, difieren ($P < 0.05$).

Los sistemas y temporadas tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en la altura del pasto del cv. BRS Paiaguas, que fue significativamente mayor en sombra en comparación con el sistema de pleno sol y en la temporada de lluvias en comparación con la temporada seca (Cuadro 3). Para el cv. BRS Piata, la altura del pasto fue afectada significativamente

($P \leq 0.05$) por la interacción sistema \times temporada. Tanto en la temporada seca como en la lluviosa, la altura del pasto fue mayor ($P \leq 0.05$) en el sistema de sombra.

Cuadro 3: Altura (cm) para el cv. BRS Paiaguas en relación con los sistemas y temporadas y el cv. BRS Piata en relación con la interacción sistema \times temporada (Media \pm EE)

	Sistema de sombra	Sistema de pleno sol
cv. BRS Paiaguas	59.13 \pm 1.23 ^a	47.72 \pm 1.23 ^b
	Temporada seca	Tiempo de lluvia
cv. BRS Paiaguas	34.25 \pm 1.23 ^b	72.60 \pm 1.23 ^a
	cv. BRS Piata	
	Sistema de sombra	Sistema de pleno sol
Temporada seca	37.87 \pm 0.97 ^a	33.64 \pm 0.97 ^b
Temporada de lluvias	86.27 \pm 1.43 ^a	70.28 \pm 1.43 ^b

^{ab}Medias en la misma fila, seguidas de letras diferentes, difieren según la prueba de t al 5 %.

Las masas del forraje y la raíz de los cultivares *Urochloa* no fueron afectadas significativamente ($P \geq 0.05$) por los sistemas de sombra y de pleno sol (Cuadro 4). Este efecto tampoco se observó ($P \geq 0.05$) en la masa de las hojas del cv. BRS Paiaguas. Los componentes morfológicos del cv. BRS Piata fueron afectados ($P \leq 0.05$) por los diferentes sistemas, resultando en masas de hojas y tallos mayores ($P \leq 0.05$) y menor masa de materia muerta ($P \leq 0.05$) en el sistema de sombra.

Cuadro 4: Medias y error estándar de la media de la masa del forraje, masa de las hojas, masa de la materia muerta y masa de la raíz del cv. BRS Paiaguas y del cv. BRS Piata y masa del tallo del cv. BRS Piata, para los sistemas (kg MS/ha)

	Sistema de sombra	Sistema de pleno sol
	cv. BRS Paiaguas	
Masa del forraje	13,900.00 \pm 536.66	13,223.00 \pm 536.66
Masa de las hojas	5,068.64 \pm 222.91	4,593.28 \pm 222.91
Masa de la materia muerta	3,521.47 \pm 234.75 ^b	4,364.32 \pm 234.75 ^a
Masa de la raíz	21,174 \pm 2,175.90	17,108 \pm 2,175.90
	cv. BRS Piata	
Masa del forraje	17,787.00 \pm 658.41	16,611.00 \pm 658.41
Masa de las hojas	7,034.43 \pm 246.33 ^a	6,312.63 \pm 246.33 ^b
Masa del tallo	7,429.56 \pm 289.71 ^a	5,793.60 \pm 289.71 ^b
Masa de la materia muerta	3,322.76 \pm 287.71 ^b	4,504.44 \pm 287.71 ^a
Masa de la raíz	30,690 \pm 2,456.45	21,399 \pm 2,456.45

^{ab}Medias en la misma fila, seguidas de letras diferentes, difieren ($P < 0.05$).

Las temporadas no tuvieron un efecto significativo ($P \geq 0.05$) en las masas del forraje, materia muerta y raíces de ambos cultivares, (Cuadro 5). Sin embargo, las masas de las hojas y tallos fueron significativamente ($P \leq 0.05$) mayores.

Cuadro 5: Media y error estándar de la media de la masa del forraje, masa de las hojas, masa del tallo, masa de la materia muerta y masa de la raíz para los cultivares BRS Paiaguas y BRS Piata en las temporadas (kg MS/ha)

	Temporada seca	Tiempo de lluvias
	cv. BRS Paiaguas	
Masa del forraje	11,249.00 ± 536.7	15,874.00 ± 536.7
Masa de las hojas	4,018.50 ± 222.91 ^b	5,643.42 ± 222.91 ^a
Masa del tallo	3,173.93 ± 243.18 ^b	6,401.87 ± 243.18 ^a
Masa de la materia muerta	4,056.82 ± 234.75	3,828.97 ± 234.75
Masa de la raíz	16,032 ± 2,175.90	22,250 ± 2,175.90
	cv. BRS Piata	
Masa del forraje	15,330.00 ± 658.41	19,067.00 ± 658.41
Masa de las hojas	6,327.14 ± 246.33 ^b	7,019.92 ± 246.33 ^a
Masa del tallo	4,818.93 ± 289.71 ^b	8,404.22 ± 289.71 ^a
Masa de la materia muerta	4,184.24 ± 287.71	3,642.97 ± 287.71
Masa de la raíz	24,933 ± 2,456.45	27,156 ± 2,456.45

^{ab}Medias en la misma fila, seguidas de letras diferentes, difieren ($P < 0.05$).

Los días de crecimiento afectaron ($P \leq 0.05$) significativamente la altura y masa de las hojas y brotes del pasto de ambos cultivares de *Urochloa*, pero no ($P \geq 0.05$) la masa del forraje (Cuadro 6). A medida que avanzaba el período experimental, la altura del pasto aumentaba para ambos forrajes estudiados, de modo que las mayores masas de hojas y tallos se midieron ($P \leq 0.05$) en la última evaluación a los 83 días de crecimiento. La masa de la materia muerta del cv. BRS Paiaguas fue afectada ($P \leq 0.05$) por los días de crecimiento, siendo mayor ($P \leq 0.05$) a los 29 días y permaneciendo sin cambios a los 83 d. Sin embargo, para el cv. BRS Piata, como se mencionó anteriormente, después de desdoblarse la interacción nivel de fertilizante foliar × días de crecimiento, no se observó ninguna diferencia significativa ($P \geq 0.05$) a lo largo de las evaluaciones.

Cuadro 6: Altura (cm), masa del forraje (kg MS/ha), masa de las hojas (kg MS/ha), y masa del tallo (kg MS/ha) y masa de la materia muerta (kg MS/ha) de los dos cultivares, en relación con los días de crecimiento (Media \pm EE)

	Días de crecimiento		
	29	55	83
cv. BRS Paiaguas			
Altura	37.97 \pm 1.51 ^c	48.40 \pm 1.51 ^b	73.90 \pm 1.51 ^a
Masa del forraje	10,524.00 \pm 657.27	10,680.00 \pm 657.27	19,481.00 \pm 657.27
Masa de hojas	3,281.58 \pm 273.01 ^b	3,538.67 \pm 273.01 ^b	7,672.63 \pm 273.01 ^a
Masa del tallo	2,791.77 \pm 297.84 ^b	3,515.81 \pm 297.84 ^b	8,056.12 \pm 297.84 ^a
Masa de la materia muerta	4,450.48 \pm 287.51 ^a	3,625.79 \pm 287.51 ^b	3,752.42 \pm 287.51 ^{ab}
cv. BRS Piata			
Altura	42.45 \pm 1.39 ^c	51.53 \pm 1.39 ^b	77.07 \pm 1.39 ^a
Masa del forraje	13,977.00 \pm 806.38	12,459.00 \pm 806.38	25,160.00 \pm 806.38
Masa de hojas	5,388.54 \pm 301.69 ^b	4,628.52 \pm 301.69 ^b	10,004.00 \pm 301.69 ^a
Masa del tallo	4,454.31 \pm 354.82 ^b	4,876.69 \pm 354.82 ^b	10,504.00 \pm 354.82 ^a

^{abc} Medias en la misma fila, seguidas de letras diferentes, difieren según la prueba de t al 5 %.

Discusión

La mayoría de las características estructurales evaluadas de los cultivares BRS Paiaguas y BRS Piata no fueron afectadas significativamente ($P \geq 0.05$) por los tratamientos, lo que indica que los niveles de fertilizante foliar utilizados no fueron suficientes para interferir en el desarrollo del pasto. Este resultado también puede atribuirse probablemente al hecho de que la fertilización se realizó solo una vez al comienzo de cada temporada, lo que permite inferir que una mayor frecuencia de fertilización foliar puede modificar este panorama.

Por otro lado, específicamente la masa del tallo del cv. BRS Paiaguas fue afectada ($P \leq 0.05$) por la interacción tratamiento \times sistema, difiriendo solo en los pastos bajo sombra. La masa del tallo fue significativamente ($P \leq 0.05$) menor para los niveles de fertilización de 3 y 6 L/ha en comparación con el control, lo que permite concluir que la fertilización foliar con hasta 6 L/ha aplicada al comienzo de las temporadas puede ayudar a controlar la producción de brotes en el pasto del cv. BRS Paiaguas bajo sombra.

La masa del forraje, hojas y raíces del cultivar BRS Paiaguas no fue afectada significativamente ($P \geq 0.05$) por los sistemas estudiados. Un resultado similar se observó para la masa del forraje y raíces del cultivar BRS Piata. Además, la masa de la materia muerta fue menor ($P \leq 0.05$) para los dos cultivares en el sistema de sombra. Por lo tanto, se puede inferir que los forrajes evaluados se adaptan al sombreado impuesto por el diseño silvícola (eucalipto plantado en hileras individuales de Este-Oeste, con espaciado de 14

m entre filas y 3 m entre árboles) ya que se mantuvo la productividad, con menor senescencia y muerte de diferentes partes de la planta.

Asimismo, Soares *et al*⁽²²⁾ trabajaron con *Pinus taeda* en un arreglo similar, 15 m de espacio entre filas y 3 m entre árboles, y reportaron un contenido similar de materia seca para *Urochloa brizantha* cv. Marandu cultivado a pleno sol. Estos autores encontraron que la producción disminuyó con la disminución de la intensidad de la luz, especialmente para el espaciamiento de 9 m entre filas y 3 m entre árboles, correlacionando esta baja producción con menos espacio entre árboles, y la calidad y cantidad de radiación que llega al pasto. La radiación fotosintética fue tres y seis veces menor en el espaciamiento de 15 y 9 m entre filas, respectivamente, bajo la proyección de la copa que a pleno sol.

Urochloa decumbens y *Urochloa ruziziensis* evaluadas a pleno sol y bajo 36 y 54 % de sombra mantuvieron la producción de forraje, pero redujeron el número de macollos y la masa de la raíz, con un aumento de la sombra⁽²³⁾. Estos autores concluyeron que ambos forrajes eran tolerantes a la sombra, pero que se debe evitar el sombreado severo porque reduce el macollaje y la masa de la raíz, lo que a la larga puede comprometer la persistencia de los pastos.

Este efecto adverso del aumento de la sombra en el crecimiento de los forrajes tropicales también ha sido confirmado por otros autores. En pastos de *Urochloa brizantha* cv. Marandu con sombra del 50 % y 70 %, las tasas de acumulación de MS disminuyeron en un 13 % y un 60 %, respectivamente, en comparación con pleno sol⁽²⁴⁾. En pastos de *Urochloa decumbens*, la masa del forraje, la densidad del macollaje y el índice de área foliar disminuyeron para un 65 % de sombra, pero se mantuvieron sin cambios para un 35 % de sombra en comparación con pleno sol⁽⁵⁾.

En los pastos de BRS Piata, los sistemas tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en las masas de las hojas y tallos, que fueron mayores ($P \leq 0.05$) en el sistema de sombra que a pleno sol. Las plantas posiblemente alargaron sus hojas para aumentar el área de la hoja y capturar más luz, lo que contribuye al aumento de la masa de las hojas. Además, cuando entra menos luz en el pasto, las plantas alargan sus tallos para posicionar las hojas en los estratos más altos para facilitar la captura de luz incidente. La elongación del tallo contribuyó al aumento de la altura del pasto.

El sombreado cambió morfológicamente el pasto de *Urochloa decumbens* ya que la hoja y el tallo, así como las láminas de las hojas, se alargaron⁽²⁵⁾ para aumentar la intercepción de la radiación fotosintética activa⁽⁵⁾. Estos autores trabajaron en un consorcio de pasturas de bosque de *Eucalyptus grandis* y leguminosas arbóreas y reportaron mayores tasas de elongación de las hojas que a pleno sol, lo que indica alteraciones en el patrón de asignación de fotoasimilados con la consiguiente mayor área foliar para captar la luz.

Las masas del forraje, materia muerta y raíces de los forrajes de BRS Paiaguas y Piata no fueron afectadas significativamente ($P \geq 0.05$) por las temporadas. Los resultados indican

que los cultivares *Urochloa* podrían ser utilizados durante la temporada seca, cuando el agua escasea ya que se mantuvo la producción de forraje, sin pérdidas por senescencia y muerte de tejido. La mortalidad del macollo y la reducción del área foliar debido a la senescencia acelerada de las hojas más viejas y el mayor crecimiento del sistema radicular son algunas estrategias de la planta utilizadas para limitar la superficie de transpiración y agravar la deficiencia de agua⁽²⁶⁾.

La falta de resultados significativos en la masa de la raíz está probablemente relacionada con el crecimiento libre (sin corte ni pastoreo) de los pastos durante el período experimental. En ausencia de defoliación, los forrajes no necesitaron reubicar los compuestos de reserva para promover un nuevo crecimiento de la parte aérea, sin alterar, por lo tanto, el sistema radicular. La eliminación de la parte aérea estresa a las plantas en un grado directamente correlacionado con la intensidad de la defoliación⁽²⁷⁾. A medida que se utiliza la parte aérea, la fotosíntesis y la absorción de nutrientes por las raíces disminuyen para recuperar el área foliar restante, dañando el desarrollo de nuevos macollos y, en consecuencia, de las raíces⁽²⁸⁾. La velocidad de recuperación del brote aéreo y el crecimiento de la raíz dependen de mecanismos fisiológicos como el uso de reservas orgánicas⁽²⁹⁾.

En ambos forrajes, las temporadas afectaron significativamente ($P \leq 0.05$) las masas de los componentes morfológicos. Las masas de hojas y tallos fueron mayores ($P \leq 0.05$) en la temporada de lluvias debido a las mejores condiciones de crecimiento proporcionadas a las plantas, especialmente las precipitaciones. El mayor desarrollo de la planta culminó en una mayor altura ($P \leq 0.05$) del pasto forrajero en esta temporada.

Se espera una mayor elongación de hojas y tallos y, en consecuencia, mayores masas en condiciones climáticas que mantengan la humedad del suelo, favoreciendo el desarrollo de las plantas. En el sistema silvopastoril, *Urochloa decumbens* mostró tasas más bajas de elongación de hojas y tallos en invierno en comparación con otras temporadas, debido principalmente al déficit de agua y la baja temperatura⁽²⁵⁾. En *Urochloa brizantha* cv. Marandu, la elongación, aparición y longitud final de las hojas disminuyeron con la reducción del riego⁽³⁰⁾.

Durante el estudio, la precipitación acumulada fue de 183.3 mm en la temporada seca en comparación con los 673.0 mm en la temporada de lluvias, lo que indica que la cantidad de agua afectó más la variación de las características estructurales de los pastos para los dos cultivares de *Urochloa brizantha* evaluados. El déficit hídrico durante la temporada seca en la mayor parte de Brasil es responsable de la estacionalidad de la producción de forraje⁽²⁶⁾. El autor señaló que la deficiencia de agua cambia la anatomía, la fisiología y la bioquímica de la planta, afecta el crecimiento de la planta en una medida que depende del grado y la duración del déficit de agua, así como de la especie de la planta.

Los pastos más altos generalmente se observan bajo condiciones favorables para el crecimiento de las plantas forrajeras. En pastos de *Urochloa brizantha* cv. Marandu,

Setaria sphacelata cv. Kazungula y *Panicum maximum* cv. Tanzania que fueron cortados a los 35 días de crecimiento, se observaron mayores alturas en primavera y verano, entre diciembre y febrero⁽³¹⁾. Los autores también observaron que la variación en las alturas de los pastos siguió el mismo comportamiento observado para la producción de materia seca en las diferentes temporadas del año.

Los días de crecimiento afectaron significativamente ($P \leq 0.05$) la altura y masa de las hojas y tallos de ambos cultivares, pero no ($P \geq 0.05$) la masa del forraje. Las masas de hojas y tallos fueron más altas ($P \leq 0.05$) a los 83 días de crecimiento. Estos resultados se esperaban porque los pastos no sufrieron defoliación, causando acumulación de hojas y tallos no pastoreados.

La falta de defoliación puede disminuir la capacidad fotosintética del pasto y la captura de luz. Poco después de la defoliación, la fotosíntesis disminuye, debido especialmente a la eliminación de las hojas más jóvenes de los estratos superiores, de modo que el proceso se vuelve más dependiente de hojas menos fotosintéticamente activas⁽²⁹⁾. Además, el tamaño y la actividad del aparato fotosintético están directamente relacionados con la cantidad de luz asimilada, que pasa a estar disponible para el proceso de acumulación de materia seca de los pastos.

Otro punto a considerar al permitir el crecimiento libre de los pastos es el sombreado mutuo entre las plantas. En esta situación, la luz interceptada por el dosel disminuye haciendo que las plantas alarguen sus tallos hasta que las hojas se coloquen más arriba en los estratos del pasto, para aumentar la captación de luz. En consecuencia, la altura del pasto aumenta. Casagrande *et al*⁽³²⁾ observaron elongación del tallo en *Urochloa brizantha* cv. Marandu, a medida que aumentaba la oferta de forraje, es decir, con la reducción de la intensidad de la defoliación. Estos autores explicaron que la mayor altura del pasto en las mayores ofertas de forraje resultó en el sombreado mutuo de los macollos y competencia intensa por luz en los pastos, concluyendo que los pastos que se manejan con ofertas de forraje cercanas al 4 % PV/día tienen una menor elongación del tallo y tienden a reducir las pérdidas por senescencia.

Conclusiones e implicaciones

La fertilización foliar con hasta 6 L/ha favorece el control de la producción de brotes del cv. BRS Paiaguas bajo sombra. Se sugieren estudios adicionales que utilicen una frecuencia mayor de aplicación de fertilizantes para obtener resultados concluyentes sobre el impacto de los niveles de fertilizantes foliares en otras variables estructurales de *Urochloa brizantha* de los cultivares BRS Paiaguas y BRS Piata. Teniendo en cuenta las masas de forraje, hojas, materia muerta y raíces, se puede afirmar que los dos cultivares están adaptados a la sombra de híbridos *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantados en hileras individuales de Este-Oeste, con espacio de 14 m entre filas y 3 m entre árboles, con una altura media de 11.98 m y de aproximadamente dos años de edad.

Se indica un estudio a largo plazo ya que la altura de los árboles y, en consecuencia, el nivel de sombra, cambian con el tiempo y podrían mostrar diferencias más significativas en los resultados obtenidos entre plantas con sombra y a pleno sol. Además, las masas de forraje, materia muerta, tallos y raíces indican que los forrajes estudiados toleran bien las condiciones de temporada seca, especialmente, la baja precipitación.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq, expediente n° 454622/2014-7) y a la Fundación de Apoyo al Desarrollo de la Educación, la Ciencia y la Tecnología del Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT, expediente n° 23/200.256/2014) por el apoyo financiero para el proyecto. A la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior/Programa Nacional de Postdoctorado (CAPES/PNPD) por la beca otorgada (expediente n° 88882.317872/2013-01). A la Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, en Aquidauana, por ofrecer las condiciones necesarias y la oportunidad de hacer el trabajo. A Quimifol por proporcionar el fertilizante foliar. Este estudio fue financiado en parte por la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código financiero 001.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Literatura citada:

1. Bernardino FS, Garcia R. Sistemas silvipastoris. *Pesq Flor Bras* 2009;(60):77-87.
2. Balbino LC, Cordeiro LAM, Martínez GB. Contribuições dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono. *Rev Bras Geogr Fís* 2011;(6):1163-1175.
3. Rosendo JS, Rosa R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. *Soc Nat* 2012;(2):359-376.
4. Castro AC, Lorenço Junior JB, Santos NFA, Monteiro EMM, Aviz AB, Garcia AR. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. *Cienc Rural* 2008;38(8):2395-2402.
5. Paciullo DSC, de Carvalho CAB, Aroeira LJM, Morenz MJF, Lopes FCF, Rossiello ROP. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesq Agropec Bras* 2007;42(4):573-579.
6. Oliveira FLRD, Mota VA, Ramos MS, Santos LDT, Oliveira NJFD, Geraseev LC. Comportamento de *Andropogon gayanus* cv. 'planaltina' e *Panicum maximum* cv. 'tanzânia' sob sombreamento. *Cienc Rural* 2013;43(2):348-354.

7. Paciullo DSC, Gomide CDM, Muller M, Pires MDFÁ, Castro CRT. Potencial de produção e utilização de forragem em sistemas silvipastoris. In: Embrapa Gado de Leite-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Simpósio de pecuária integrada, 1., 2014, Sinop, MT. Intensificação da produção animal em pastagens: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2014:51-82.
8. Almeida RG, Barbosa RA, Zimmer AH, Kichel AN. Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração. In: Bungenstab DJ editor. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. 2nd ed. Brasília, Distrito Federal, Brasil: EMBRAPA; 2012:88-94.
9. Martuscello JA, Faria DJG, Cunha DDNFVD, Fonseca DMD. Adubação nitrogenada e partição de massa em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e *Panicum maximum* x *Panicum infestum* cv. Massai. Cienc Agrotec 2009;33(3):663-667.
10. Ramos SJ, Faquin V, Rodrigues CR, Silva CA, Boldrin PF. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. Rev Bras Cienc Solo 2009;33(2):335-343.
11. Silva CD, Bonomo P, Pires AJV, Maranhão CDA, Patês NDS, Santos LC. Características morfogênicas e estruturais de duas espécies de braquiária adubadas com diferentes doses de nitrogênio. R Bras Zootec 2009;38(4):657-661.
12. Paciullo DSC, Fernandes PB, Gomide CADM, Castro CRTD, Sobrinho FDS, Carvalho CABD. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. R Bras Zootec 2011;40(2):270-276.
13. Lucena Costa N, Townsend CR, Santos Fogaça FH, Magalhães JA, Bendahan AB, Seixas Santos FJ. Produtividade de forragem e morfogênese de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob níveis de nitrogênio. Pubvet 2016;10(10):731-735.
14. Sá Medica JA, Reis NS, Santos MER. Caracterização morfológica em pastos de capim-marandu submetidos a frequências de desfolhação e níveis de adubação. Ciênc Anim Bras 2017;18:01-13.
15. Rodrigues RC, Mourão GB, Brennecke K, Luz PDC, Herling VR. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. R Bras Zootec 2008;37(3):394-400.
16. Hodgson J. Grazing management: science into practice. Longman handbooks in agriculture. New York, USA: Longman Scientific and Technical and John Wiley; 1990.
17. Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrol Earth Syst Sci 2007;11:1633-1644.

18. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, Brasil: Embrapa/CNPS; 2013.
19. White LM. Carbohydrate reserves of grasses: a review. *J Range Management* 1973;26:13-18.
20. Schjoerring JK, Husted S, Mäck G, Mattsson M. The regulation of ammonium translocation in plants. *J Exp Bot* 2002;53(370):883-890.
21. Cecato U, Cano CCP, Bortolo M, Herling VR, Canto MWD, Castro CRDC. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. *R Bras Zootec* 2001;30(3):644-650.
22. Soares AB, Sartor LR, Adami PF, Varella AC, Fonseca L, Mezzalira JC. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *R Bras Zootec* 2009;38(3):443-451.
23. Faria BM, Morenz MJF, Paciullo DSC, Lopes FCF, Gomide CAM. Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. *Rev Ciênc Agron* 2018;49(3):529-536.
24. Andrade CMS, Valentim JF, da Costa Carneiro J, Vaz FA. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. *Pesq Agropec Bras* 2004;39(3):263-270.
25. Paciullo DSC, Campos NR, Gomide CAM, de Castro CRT, Tavela RC, Rossiello ROP. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesq Agropec Bras* 2008;43(7):917-923.
26. Duarte ALM. Efeito da água sobre o crescimento e o valor nutritivo das plantas forrageiras. *Revis Pesq Tecn* 2012;9(2):1-6.
27. Gomide CAM, Gomide JA, Huaman CAM, Paciullo DSC. Fotossíntese, reservas orgânicas e rebrota do capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) sob diferentes intensidades de desfolha do perfilho principal. *R Bras Zootec* 2002;31(6):2165-2175.
28. Donaghy DJ, Fulkerson WJ. Priority for allocation of water-soluble carbohydrate reserves during regrowth of *Lolium perene*. *Grass Forage Sci* 1998;53(3):211-218.
29. Corsi M, Martha Júnior GB, Pagotto DS. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. In: Da Silva SC, Pedreira CGS editors. A produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba, São Paulo, Brasil: FEALQ; 2001:838-852.
30. Magalhães JA, Carneiro MDS, Andrade AC, Rodrigues BHN, Costa ND, Santos FDS, Edvan RL. Características morfogênicas e estruturais do capim-Marandu sob irrigação e adubação. *Holos* 2016;8:113-124.

31. Gerdes L, Werner JC, Colozza MT, Carvalho DD, Schammas EA. Avaliação de características agronômicas e morfológicas das gramíneas forrageiras Marandu, Setária e Tanzânia aos 35 dias de crescimento nas estações do ano. R Bras Zootec 2000;29(4):947-954.
32. Casagrande DR, Ruggieri AC, Januskiewicz ER, Gomide JA, Reis RA, Valente ALDS. Características morfogênicas e estruturais do capim-Marandu manejado sob pastejo intermitente com diferentes ofertas de forragem. R Bras Zootec 2010;39(10):2108-2115.