

PROPIEDADES DE LA FERTILIDAD DE UN SUELO CAÑERO BAJO DIFERENTES TIPOS DE GESTIÓN ORGÁNICA Y CONVENCIONAL

Properties of the fertility of a cane soil under different types of organic and conventional management

Fábio Luiz Partelli¹✉, Cristiano Ramos Evangelista²,
André Cayô Cavalcanti¹ e Ivoney Gontijo¹

ABSTRACT. The sugarcane is one of the main crops produced in Brazil and is cultivated since the colonial Brazil Times. Soil management in the culture of sugarcane has undergone changes over time, applying new techniques of management and conservation of soil, taking advantage of systematic way the waste from the manufacture of alcohol and sugar, minimizing damage to environment. This aimed to evaluate the chemical attributes of the soil cultivated with sugarcane certified organic with and without soil disturbance, organic certification, conventional with and without straw burning and a remaining area of Cerrado in Goiatuba, Goiás, Brazil. Soil samples were collected in September 2009 in the depths of 0-10 cm and 10-20 cm for chemical analysis. The results were analyzed descriptively by estimating the mean, standard error of the mean and also by means of multivariate analysis, estimating the Euclidean average distance between the treatments with complete connection. There forming groups among the organic cultivation without soil disturbance and the remaining area of Cerrado in the depth 0-10 cm indicating proximity between the evaluated attributes. The organic cultivation without soil disturbance presents phosphorus and potassium far superior to other managements. The results underscore the importance of greater supply of organic waste for improved chemical attributes and maintenance of soil quality.

Key words: *Saccharum* sp., soil chemistry, sustainability

RESUMEN. La caña de azúcar es uno de los principales cultivos producidos en Brasil, desde los tiempos coloniales. La gestión del suelo en el cultivo de la caña ha sufrido cambios en el tiempo, con la aplicación de nuevas técnicas aprovechando sistemáticamente los residuos procedentes de la fabricación de alcohol y azúcar, minimizando el daño al medio ambiente. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades químicas del suelo cultivado con caña de azúcar orgánica certificada con y sin alteración del suelo, en certificación orgánica, convencional con y sin quema de residuos agrícolas y un área del Cerrado nativo en Goiatuba, Goiás. Las muestras de suelo se recogieron en septiembre de 2009 en las profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm para el análisis químico. Los resultados se analizaron de manera descriptiva, mediante la estimación de la media, el error estándar de la media y también por medio del análisis multivariado con estimación de la distancia media euclidiana entre los tratamientos con conexión completa. Hay grupos de formación entre el cultivo orgánico sin la perturbación del suelo y el área de Cerrado nativo en la profundidad de 0-10 cm, lo que indica la proximidad de los atributos evaluados. El cultivo orgánico sin la perturbación del suelo tiene fósforo y potasio superiores a otras gestiones. Los resultados resaltan la importancia de aumentar la oferta de los residuos orgánicos para la mejora de atributos químicos y mantenimiento de la calidad del suelo.

Palabras clave: *Saccharum* sp., química del suelo, sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

El aumento de la intensidad de uso del suelo y la reducción de la vegetación nativa han llevado a la degradación de los recursos naturales y, en

particular, la pérdida de la fertilidad del suelo. En Brasil, las culturas de expansión con la caña de azúcar (*Saccharum* sp.) han ocupado grandes áreas que se mantienen durante largos períodos de tiempo, dando como resultado cambios, en su mayoría negativos, en las propiedades del suelo (1). Una mejor comprensión de los cambios en las propiedades químicas del suelo permite el desarrollo agrícola sobre una base sostenible.

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, CEUNES. São Mateus, ES.

² Consultor en Agricultura, SEBRAE de Goiás. Goiânia, GO.

✉ partelli@yahoo.com.br

Brasil es el mayor productor de caña de azúcar y sigue ampliando su cultivo, principalmente en la región del Medio Oeste, donde prevalecen regiones de Cerrado. De acuerdo con la encuesta realizada por la Compañía Nacional de Abastecimiento (2), para el cultivo 2016/2017 la producción fue de 653 millones de toneladas en una superficie de 9 millones de hectáreas. La encuesta también mostró que el cultivo de la caña de azúcar todavía está en expansión, con un crecimiento de 4,8 % en relación con la cosecha anterior.

El Cerrado brasileño es un ambiente muy peculiar, pues presenta, en su constitución, desde campos abiertos, a densas formaciones de bosques. Esta región cubre, principalmente, la parte central de Brasil, con 206 millones de hectáreas, que equivale aproximadamente al 23 % del territorio nacional, constituyendo el segundo bioma más grande de Brasil, principalmente en las provincias de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Bahía, Piauí, Maranhão e Distrito Federal (3).

Los suelos bajo el bioma Cerrado tienden a requerir un cuidado especial para mantener la calidad y la sostenibilidad del mismo. La capacidad productiva de estos suelos, se caracteriza, sobre todo, por la baja fertilidad natural y depende de las buenas prácticas agrícolas para corregir la acidez, incrementar la fertilidad y para hacer sostenible la producción cañera, con la utilización de alternativas orgánicas, una vez que cultivos con las características de la caña de azúcar, pueden mejorar la calidad de los suelos en relación con los sistemas convencionales (4,5).

Durante décadas, el cultivo de la caña de azúcar tuvo su imagen ligada a altos impactos ambientales, debido a la quema de caña de campo en muchas regiones. En la actualidad, esta práctica ha sido abolida con el uso de las nuevas tecnologías que han contribuido en la sostenibilidad de los campos; por ejemplo, el fertirriego con vinaza, abonos verdes y orgánicos, favoreciendo, por lo tanto, la adopción de la agricultura ecológica.

La comprensión y la cuantificación del impacto de los diferentes sistemas de gestión de los atributos biológicos, físicos y químicos del suelo, son de fundamental importancia para su conservación, ya que los cambios que resultan de estos sistemas suelen compararse con el suelo original desarrollado bajo la vegetación nativa.

Las propiedades químicas del suelo son factores determinantes del crecimiento y desarrollo de la vegetación. Sin embargo, en comparación con el tratamiento convencional, hay poca información acerca de la producción de caña de azúcar en la agricultura ecológica, lo que requiere, estudios para evaluar su eficacia. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar los cambios en las propiedades químicas

del suelo en el cultivo con producción orgánica certificada de la caña de azúcar (con y sin alteración del suelo), en certificación orgánica, de manera convencional (con y sin quema de paja) y en área del Cerrado nativo en dos profundidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en zonas de producción comercial de caña de azúcar, en Goiatuba, Estado de Goiás, Brasil. La región tiene dos estaciones bien definidas, una con escasez de precipitaciones de lluvia (abril a septiembre) y otra caliente y húmeda (octubre a marzo) con precipitación anual media de 1,250 mm. De acuerdo con la clasificación de Koppen el clima es del tipo tropical, con una estación seca en el invierno. El suelo predominante es clasificado como Amarillo Distrófico, con fertilidad media y bajo pH alrededor de 5,0.

Fueron seleccionadas y evaluadas las siguientes áreas de producción:

- ◆ producción orgánica con perturbación del suelo (OCR).
- ◆ producción orgánica sin perturbación del suelo (OSR).
- ◆ certificación para la producción orgánica (OPC).
- ◆ sistema convencional con la quema (CCQ).
- ◆ sistema convencional sin la quema (CSQ).

Las zonas eran cercanas unas a otras, a una distancia máxima de 2000 m. Todas las áreas mostraron un suelo clasificado como Latossolo rojo distrófico (6). Las muestras de suelo se recogieron en septiembre de 2009 en las profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm para el análisis químico. Como referencia para el sistema natural se utilizó un área representativa del Cerrado nativo (RCN), con clasificación textural arcillosa.

La gestión sin perturbación del suelo (OSR) se caracterizó por presentar nueve años en sistema de producción orgánica sin alteración del suelo, con clasificación textural franco arcillosa con cosecha mecánica (sin quema). La gestión de producción orgánica con perturbación del suelo (OCR) se caracterizó por presentar nueve años con el sistema de producción orgánica, pero con la renovación del cañaveral y la preparación del suelo en el quinto año después de la cosecha de la caña de azúcar.

La gestión de un campo de caña de azúcar en proceso de certificación para la producción orgánica (OPC), se ha llevado a cabo durante tres años en el sistema orgánico con cosecha mecánica sin quema de residuos agrícolas en suelo con textura arcillosa. Las áreas de caña de azúcar con gestión orgánico certificado y en certificación recibieron la misma aplicación de 40 t ha⁻¹ de residuo de caña prensado, cenizas de la caldera, composta orgánica, aplicación de fosfatos naturales y aplicación de 180 m³ ha⁻¹ vinaza.

Las dosis aplicadas de cada material en cada sistema de producción diferían de acuerdo con la interpretación de los resultados del análisis de la fertilidad del suelo. El control de plagas y enfermedades se llevó a cabo utilizando prácticas recomendadas en sistemas orgánicos (ley 10831 de diciembre de 2003 y decreto federal de 6323, diciembre de 2007) con control biológico de plagas y eliminación manual de arvenses.

Las áreas de caña de azúcar en condiciones convencionales eran gestionadas de maneras distintas una con la quema (CCQ) y otra sin quema de residuos agrícolas con cosecha mecánica (CSQ) en suelos con cinco años de edad con textura del tipo franco arcilla arenosa. Estas zonas se caracterizaron por la renovación de la plantación después del quinto año de cultivo, uso de pesticidas y aplicación de fertilizantes químicos en la cantidad de 700 kg ha⁻¹ formulado 02:32:12+0,2 % Zn y 110 m³ ha⁻¹ vinaza, como recomendación técnica.

Las áreas fueron divididas en cuatro parcelas de una hectárea, recogiendo en cada parcela diez muestras simples en diagonal, para formar una muestra compuesta. La muestra de suelo se tomó con la ayuda de la barrena del tipo holandés. Seguidamente fueron empacados en bolsas de plástico, enviados al laboratorio, donde se llevó a cabo los procedimientos de rutina para el análisis de suelos. Las muestras se pasaron por un tamiz con una malla de 2 mm, donde los residuos orgánicos, tales como plantas, raíces y semillas fueron retirados.

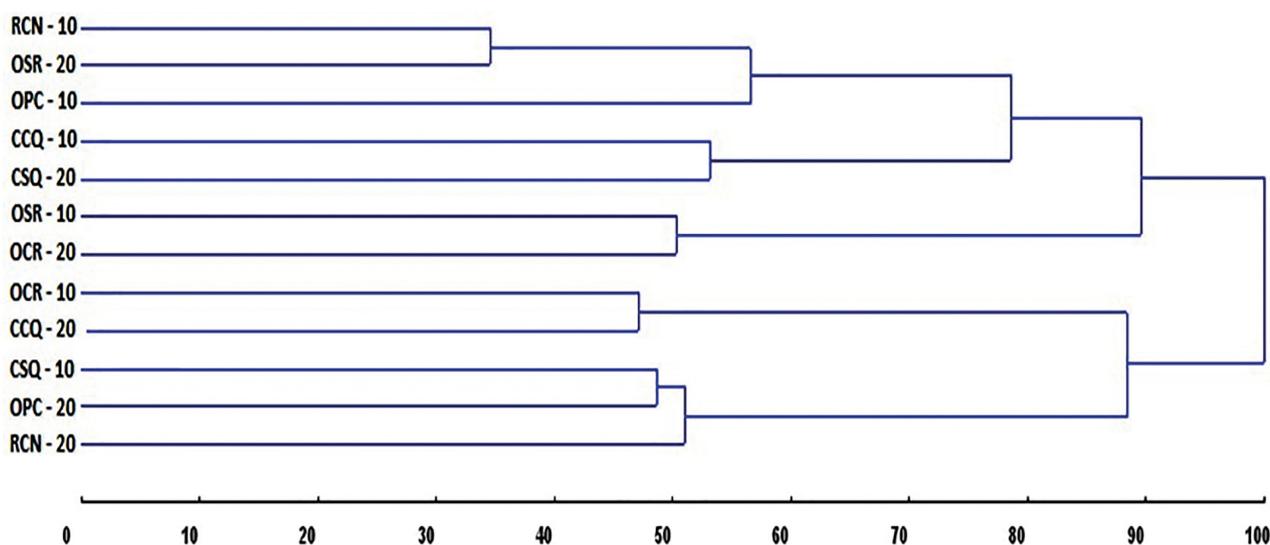
Se determinó el pH, las concentraciones de cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), potencial de acidez intercambiable (H+Al), CIC potencial (T), el porcentaje de la materia orgánica (MO) y la saturación de base (V) de acuerdo con la metodología descrita (7).

Los resultados de los análisis químicos se procesaron de manera descriptiva mediante la estimación de la media, el error estándar de la media y también por medio de análisis multivariado con estimación de la distancia media euclidiana entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis realizado por la agrupación de vecinos más cercanos (Figura 1), se observó la formación de dos grupos principales. El primero consistió en las gestiones RCN 10, OSR 20, OPC 10, CCQ 10, CSQ 20, OSR 10, OCR 20; el segundo consistió en las gestiones OCR 10, CCQ 20, CSQ 10, OPC 20 y RCN 20, mostrando de esta manera las diferencias en relación con propiedades químicas de los suelos analizados.

Cada vez que se reciba una variación significativa en las cantidades de distancia euclidiana entre el acceso al conjunto de variables consideradas, se puede hacer una división de grupos. En este análisis, las áreas se agruparon en función de su grado de similitud, con el objetivo de clasificarlos en grupos con mayor o menor homogeneidad.



Leyenda: CCQ: la caña de azúcar bajo labranza convencional con quema de paja; CSQ: la caña de azúcar bajo labranza convencional y sin quema de paja; OCR: caña de azúcar con un manejo orgánico con la alteración del suelo; OPC: caña de azúcar con un manejo orgánico en proceso de certificación; OSR: caña de azúcar con cultivos orgánicos y sin alteración del suelo; RCN: representante de Cerrado nativo. 10: profundidad de 0-10 cm; 20: profundidad de 10-20 cm

Figura 1. Divergencia entre los distintos sistemas en las propiedades químicas del suelo y de su gestión

Cuando se analizan conjuntamente las profundidades (0-10 y 10-20 cm) estas no fueron decisivas en la caracterización de la formación de los grupos, lo que demostró que la formación puede ser susceptible a los efectos generados por diferentes sistemas de gestión utilizados, que a la profundidad del propio suelo. En otros estudios la profundidad tampoco fue decisiva, en la evaluación microbiológica del suelo en diferentes atributos de la caña de azúcar bajo manejo orgánico y convencional (8).

Se demostró, que se puede llevar a cabo análisis individuales en ambas profundidades (0-10 y 10-20 cm), a fin de evaluar el efecto individual generada por esta y las diferentes variantes sobre las propiedades químicas del suelo, lo que permite un análisis detallado de los factores implicados.

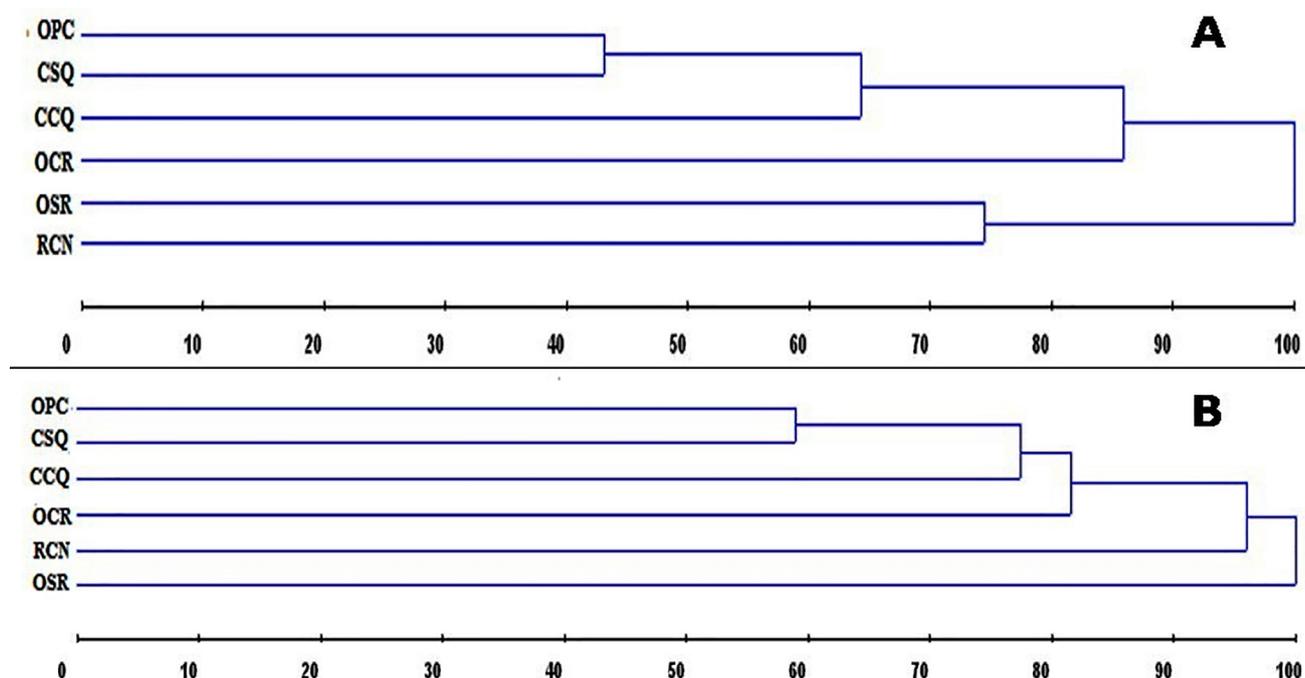
La diferenciación de los grupos, de forma individual, en cada profundidad (Figura 2A y B), posibilitó la formación de dos grupos en cada uno de ellos.

En la profundidad 0-10 cm (Figura 2A) se produjo agrupación entre las gestiones OSR y el representante Cerrado nativo (RCN) y otra agrupación entre la dirección de OCR, CCQ, CSQ y OPC. Apesar de RCN formar agrupamiento con las gestiones de OCR, CCQ y CSQ. En la profundidad de 10-20 cm (Figura 2B), este tiende a ser aislado de las otras gestiones, lo que demuestra que a pesar de estos sistemas poseen ciertas similitudes, pero presenta diferencias.

Además, en la profundidad 0-10 se puede notar una mayor proximidad entre los sistemas más convencionales (CSQ y CCQ) y en proceso de certificación (OPC), un hecho confirmado en la profundidad de 10-20 cm (Figura 2B).

Es importante señalar, que transcurridos tres años de la aplicación de la agricultura convencional a la orgánica en OPC, este todavía tiene características similares a los sistemas convencionales, que supone necesitar mayor tiempo para que sistemas en transición se consoliden como orgánicos.

Según otros estudios (8-10), en algunas situaciones, especialmente en los sistemas orgánicos con adopción a corto plazo, el contenido de materia orgánica no puede ser un discriminador eficiente de los cambios en la calidad del suelo; sin embargo, en la medida que avanza el tiempo tienden a tener un mayor incremento de la materia orgánica en la superficie del suelo. La materia orgánica del suelo tiene un gran potencial para ser utilizado como clave de atributo en la calidad del suelo, ya que, además de cumplir con el requisito básico para ser sensible a los cambios impuestos por la dirección adoptada, siendo la principal fuente de nutrientes para las plantas, influye en la infiltración y la retención de agua, además de actuar en el ciclo de nutrientes, la agregación y la susceptibilidad a la erosión del suelo (11).



Leyenda: CCQ: la caña de azúcar bajo labranza convencional con quema de paja; CSQ: la caña de azúcar bajo labranza convencional y sin quema de paja; OCR: caña de azúcar con un manejo orgánico con la alteración del suelo; OPC: caña de azúcar con un manejo orgánico en proceso de certificación; OSR: caña de azúcar con cultivos orgánicos y sin alteración del suelo; RCN: representante de Cerrado nativo

Figura 2. Divergencia entre los distintos sistemas en las propiedades químicas del suelo y de su gestión en la profundidad de 0-10 cm (A) y de 10-20 cm (B)

Se sabe que los sistemas gestionados con diferencias en la mezcla y la composición de los residuos vegetales del suelo alteran las propiedades químicas del suelo, que afecta a la calidad y la productividad de los cultivos (12). El manejo y la preparación del suelo para el cultivo favorecen las reacciones de oxidación, mediante el aumento de la presión parcial de oxígeno y la exposición de nuevas superficies para el ataque microbiano. El saldo neto de este efecto es la reducción de los niveles de materia orgánica en los sistemas con la preparación del suelo intensiva. Lo que puede poner de relieve el hecho de que la gestión de OCR es parte del primer grupo, tanto en la profundidad de 0-10 (Figura 2A) o en el 10-20 cm (Figura 2B), ya que esta se mantiene en su sistema orgánico ya consolidado, pero con la perturbación del suelo.

En el segundo grupo que se formó en 0-10 cm (Figura 2A), se muestra la proximidad entre las gestiones OSR (nueve años bajo administración en el sistema de producción orgánica sin la perturbación del suelo) y el representante del Cerrado nativo (RCN), lo que demuestra que sistemas orgánicos bien establecidos sin perturbación del suelo pueden ser similar a los sistemas naturales.

Este grupo posiblemente está relacionado con el contenido de materia orgánica, CIC y algunos micronutrientes que tienden a mejorar la calidad del medio ambiente, lo que permite una agricultura sostenible, reduciendo los efectos externos negativos, reponiendo poco a poco la estabilidad del suelo, evitando la erosión. A su vez, el representante del Cerrado nativo tiene varias características químicas no deseadas para la mayoría de los cultivos, como el bajo pH (13–15).

Resultados similares fueron observados en otro estudio (16), donde hay formación de grupos entre los cultivos orgánicos consolidadas de café y áreas nativas de fragmentos de bosque lluvioso. Según investigaciones (17), la evaluación de las propiedades del suelo en pastizales sometidos a diferentes manejos, también encuentra formación de grupos entre los sistemas conservacionistas y de bosque nativo. Los autores atribuyen la formación de tales grupos, principalmente debido a una mayor acumulación de materia orgánica derivada principalmente de la gran cantidad de biomasa acumulada en la superficie del suelo en los sistemas de conservación.

En trabajos realizados por otros autores (18), el carbono orgánico se incrementó en $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ en los tratamientos con la paja de la caña de azúcar (sin quema) en comparación con el tratamiento con quemaduras, después de un período de nueve años. El contenido de C en el suelo es, generalmente, reconocido como un componente importante de la fertilidad y los procesos relacionados con la física del suelo.

Adicionalmente existe una fuerte correlación entre el contenido de materia orgánica y la actividad microbiana del suelo, factores muy importantes para la sostenibilidad del sistema.

La profundidad de 10-20 cm (Figura 2B), aisló la gestión OSR de RCN. Posiblemente esto se debe a la baja fertilidad y alta acidez presente en los suelos del Cerrado nativo, junto con los altos niveles de P y el predominio de las raíces de caña de azúcar presente en esta profundidad en la gestión OSR. Este comportamiento fue informado por otros autores en la evaluación de las áreas de pastoreo en relación con las regiones de Cerrado nativo (19), lo que indicó que las raíces de las hierbas ayudaron a que a profundidades de 10-20 cm sea altamente conservadora en ambiente con mayor acumulado de materia orgánica.

Las raíces fasciculadas tienden a tener una mayor protección física de la materia orgánica contra la acción microbiana ejercida por la estructura del suelo (20). Además, el cultivo de la caña de azúcar es responsable por el 11 % del producto de la cosecha residual producido actualmente en el mundo (15), destacando su importante función de transferencia de carbono en el suelo, lo que también podría haber contribuido a una mayor cantidad de materia orgánica en profundidad en la gestión OSR (Tabla).

Los análisis químicos se realizaron con el fin de caracterizar los suelos en las zonas de estudio (Tabla). La comprensión de los cambios en las propiedades del suelo, derivados del cultivo de caña de azúcar en diferentes manejos, proporciona información para la producción de manera sostenible.

En general, todas las variables químicas evaluadas se mantuvieron o redujeron sus valores en el perfil de suelo (Tabla). En relación con el pH del suelo, se observaron los valores menores para el representante de Cerrado nativo (RCN), ya que los mismos en este bioma tienden a tener una alta acidez (13–15).

Entre las áreas de cultivo de caña de azúcar, los valores de pH altos se evidenciaron en el área de OPC, OCR, CSQ y OSR, en la capa superficial del suelo (0-10 cm) y la menor en CCQ. Los suelos con baja deposición de paja tienden a tener la acidificación de las capas superficiales debido a su bajo efecto de amortiguación, el cual al parecer no ocurrió para la neutralización activa de la acidez del suelo (21).

Por otra parte, en las zonas con el cultivo prolongado de la caña de azúcar, el aumento de pH se puede observar en el horizonte de la superficie, gracias a la aplicación de correctivos o enmendantes (14). Hubo tendencia de valores mayores de pH en las áreas dedicadas a cultivos conservacionistas, coincidiendo con lo reportado por otros autores (14).

Tabla. Valores Medios de los atributos químicos evaluados en las dos profundidades estudiadas. Goiás, Brasil

Gestión	pH	Cu	Fe	Mn	Zn	P	K	Ca	Mg	H+Al	T	MO	V
					mg kg ⁻¹				cmolc kg ⁻¹			%	%
0-10 cm													
CCQ	5,2	2,3	41,8	16,9	0,3	2,0	53,5	1,7	0,6	3,0	5,4	1,4	45
ESx	0,1	0,1	0,7	0,7	0,1	0,3	2,8	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	4,5
CSQ	6,1	2,7	36,0	32,3	0,6	2,8	75,3	2,0	0,6	2,3	5,1	1,8	55
ESx	0,1	0,1	1,8	2,7	0,1	0,6	7,6	0,2	0,1	0,4	0,3	0,1	1,9
OCR	5,6	2,7	37,8	24,4	0,6	1,4	72,8	2,4	0,8	2,8	6,2	1,9	55
ESx	0,1	0,3	1,1	4,3	0,1	0,9	5,7	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	1,8
OPC	6,0	4,4	43,4	29,7	0,5	2,7	79,3	2,6	0,9	2,6	6,3	2,1	59
ESx	0,2	0,4	3,0	3,9	0,1	0,4	2,7	0,3	0,1	0,3	0,5	0,2	1,3
OSR	5,9	2,1	35,1	26,6	0,9	7,0	136,8	3,4	0,9	2,7	7,4	2,4	63
ESx	0,1	0,1	0,9	2,9	0,2	1,1	12,0	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	2,3
RCN	4,6	2,7	44,8	43,9	0,7	1,1	84,3	2,2	1,0	7,4	10,8	3,0	32
ESx	0,1	0,1	0,8	10,3	0,4	0,4	5,4	0,8	0,3	0,7	1,1	0,3	7,1
10-20 cm													
CCQ	5,4	2,3	41,8	16,9	0,3	1,1	1,2	1,2	0,6	2,6	4,4	0,9	41
ESx	0,2	0,1	0,7	0,7	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,5	6,3
CSQ	6,1	2,7	36,0	32,3	0,6	1,5	3,3	2,3	0,5	2,2	5,0	1,4	56
ESx	0,1	0,1	1,8	2,7	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,4	0,4	6,2
OCR	5,8	2,7	37,8	24,4	0,6	0,7	2,0	2,0	0,8	2,7	5,5	1,2	51
ESx	0,2	0,3	1,1	4,3	0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,1	0,5	0,1	3,2
OPC	6,1	4,4	43,4	29,7	0,5	1,2	2,4	2,4	0,9	2,4	5,7	1,7	58
ESx	0,1	0,4	3,0	3,9	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,5	0,0	2,1
OSR	5,8	2,1	35,1	26,6	0,9	8,4	2,6	2,6	0,7	2,7	6,0	1,7	55
ESx	0,0	0,1	0,9	2,9	0,2	4,6	0,40	0,4	0,1	0,2	0,5	0,3	2,2
RCN	4,6	2,5	35,8	17,7	0,2	0,6	0,7	0,7	0,4	6,4	7,5	1,1	15
ESx	0,1	0,2	2,8	1,8	0,0	0,3	0,2	0,2	0,0	0,5	0,4	0,2	2,9

ESx: error estándar promedio

CCQ: la caña de azúcar bajo labranza convencional con quema de paja

CSQ: la caña de azúcar bajo labranza convencional y sin quema de paja

OCR: caña de azúcar con un manejo orgánico con la alteración del suelo

OPC: caña de azúcar con un manejo orgánico en proceso de certificación

OSR: caña de azúcar con cultivos orgánicos y sin alteración del suelo

RCN: representante de Cerrado nativo

El aumento de pH está directamente relacionado con la práctica de la fertilización orgánica, lo que sugiere que la adición de compuestos orgánicos contribuye a anular las cargas positivas de la matriz del suelo mineral, por adsorción específica de aniones orgánicos, dando como resultado la baja acidificación del suelo (14). Se observó el mayor valor para la acidez intercambiable (H+Al) para el área de RCN, que está en concordancia con los resultados de algunos estudios, donde se utiliza un área nativa de referencias adyacentes a las zonas de azúcar de caña

(21). Entre las áreas de cultivo de caña de azúcar, los valores de H+Al se evaluaron muy cerca a diferentes profundidades (0–10; 10-20 cm).

Varios estudios demostraron la reducción del Al intercambiable en el suelo, con el uso de estiércol de animales (20), atribuyendo como principal causa la complejidad del aluminio por agentes quelantes existentes en los materiales orgánicos. Por lo tanto, se esperan bajos niveles de Al en suelos con manejo orgánico, que es deseable, sobre todo porque el aluminio es tóxico en altas concentraciones, contribuyendo a la acidez potencial (10).

Se observaron valores de alta capacidad efectiva de intercambio catiónico (CIC) para la zona RCN, en comparación con las superficies plantadas de caña de azúcar, observando la tendencia de los valores altos para las áreas de la agricultura ecológica. La CIC del suelo tiene relación directa con la materia orgánica, dada su elevada superficie específica y la composición química (grupos orgánicos) y puede ser mayor en los sistemas que proporcionan el aumento de las reservas de carbono en el suelo, tales como los cultivos de caña de azúcar sin quemar los residuos (17). En otras investigaciones realizadas no se encontraron diferencias en el contenido de CIC entre el sistema y la labranza convencional (10), que se puede atribuir al tiempo variable. Sin embargo, otros autores observaron un aumento significativo de la CIC del suelo después de 20 años de uso de la siembra directa (17).

Por otra parte, se observaron los valores altos de saturación de bases (V) para los cultivos conservacionistas (OSR, OCR y OPC) sin quema de residuos. Estos resultados destacan la importancia de una mayor oferta de residuos orgánicos para la mejora de los atributos químicos y mantenimiento de la calidad del suelo. Los resultados obtenidos en zonas con cultivos orgánicos mostraron mayores valores de V % en comparación con el sistema convencional (10).

La saturación de bases (V) es un excelente indicador de las condiciones generales de la fertilidad del suelo y se utiliza en la clasificación del suelo como medida de eutrofismo (16). Sobre la base de los datos presentados, hubo buena reserva química y el carácter eutrófico de estos suelos, demostrando la alta fertilidad natural, con saturación de bases superiores a 50 %.

Respecto al contenido de materia orgánica (MO), la baja tendencia se encontró con el aumento de la profundidad, las cantidades mayores se observaron en las capas superficiales, debido a la deposición frecuente de materiales orgánicos. Se observó el contenido mayor de MO para RCN, en comparación con otras zonas. Es normal encontrar niveles bajos de MO en los suelos tropicales, en comparación con los climas cálidos, sobre todo porque es difícil aumentar esta variable en regiones tropicales. Se obtuvieron resultados similares en estudios realizados por otros autores (16,17) donde se observó mayores contenidos de MO en áreas de vegetación nativas.

Entre las áreas cultivadas con caña de azúcar y la agricultura ecológica (OSR, OCR y OPC) presentó los niveles altos de MO en las capas superficiales (0-10 cm) y los menores en CCQ, lo cual era de esperarse, ya que la quema reduce el contenido de materia orgánica del suelo, que es visto como una clave cuando se quiere evaluar el atributo de la calidad del suelo, que tiene un papel importante en el suministro de nutrientes y mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo (10).

La combustión de la materia orgánica es mayor en las zonas propensas a los incendios (11), y las capas superiores del suelo son más afectadas por esta práctica. Los suelos con pastos quemados a cada año también tienen una menor cantidad de materia orgánica (10), lo que puede haber influido en los resultados de este trabajo.

Se observó, además, que ocurrió una reducción en el contenido de MO en OCR en la profundidad 10-20 cm, probablemente debido a la práctica de la perturbación del suelo que se produjo en este tipo de gestión. Otros investigadores, comparando las áreas recién plantadas con monocultivos de edad avanzadas, con la práctica convencional de la perturbación del suelo (11), también encontraron bajo contenido de materia orgánica en las capas profundas del suelo.

En las zonas con mayores entradas de residuos (OSR, OCR y OPC), fue superior la tendencia en el aumento de Ca y Mg, que está en concordancia con los resultados de otros estudios (10,11,14). También se observó en otra investigación (18), una tendencia en el aumento del contenido de Ca y Mg, en el sistema de siembra directa, en comparación con el sistema convencional, después de seis años de cultivo.

Se encontraron los valores altos de P y K en la zona de OSR. Es posible que los altos valores de estos elementos están asociados con el suministro continuo de residuos de los cultivos en este tipo de sistema (Tabla), lo que favorece la retención de estos nutrientes; además, la ausencia de la labranza del suelo favorece la acumulación de nutrientes en el tiempo (16).

Se observó una tendencia a la acumulación de valores mayores de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) para el área cultivada en sistemas orgánicos, factor también encontrado en otros estudios realizados (14,16,18). Según investigaciones (16,18), los sistemas de producción que ofrezcan una mayor y frecuente ingesta de residuos de cultivos que mejoran las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, tienden a proporcionar mayores cantidades de micronutrientes en el sistema.

CONCLUSIONES

- ♦ Las propiedades químicas de los suelos (tipo genético) a una profundidad de 0–10 cm permiten la formación de grupos entre cultivo orgánico sin alteraciones del suelo y el representante de Cerrado Nativo.
- ♦ El aumento de la incorporación de los residuos orgánicos en los suelos para la producción de caña, mejora las propiedades químicas y mantienen la calidad agroproductiva del suelo.
- ♦ El cultivo orgánico sin la perturbación del suelo tiene fósforo y potasio superiores a otras gestiones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Federal de Goiás y a Usina Goiasa, por su apoyo en la realización de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- de Freitas L, Casagrande JC, Amorim de Oliveira I, de Aquino RE. Análises multivariadas de atributos físicos em Latossolo Vermelho submetidos a diferentes manejos. *Enciclopédia Biosfera*. 2012;18(15):126–39.
- (CONAB) Companhia nacional de abastecimento agropecuario. Cana-de-açúcar. Safra 2016/2017, terceiro levantamento. *Observatório Agrícola: Acompanhamento Da Safra Brasileira Cana-De-Açúcar*. 2017;4(3):1–77.
- (IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. *Levantamento Sistemático Da Produção Agrícola*. 2015;29(1):1–83.
- Bottega EL, de Queiroz DM, de Carvalho Pinto F de A, de Souza CMA. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*. 2013;44(1):1–9.
- de Queiroz Cunha E, Stone LF, de Brito Ferreira EP, Didonet AD, Moreira JAA, Leandro WM. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2011;35(2):603–11. doi:10.1590/S0100-06832011000200029
- Gonçalves dos Santos H, Paulo Klinger Tito J, dos Anjos LHC, de Oliveira VÁ, Lumberas JF, Coelho MR, et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) [Internet]. 3ª edição. Brasil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); 2013 [cited 2018 Oct 3]. 353 p. Available from: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1299/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos---sibcs-3-edicao>
- Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. Manual de métodos de análise de solo. [Internet]. 3.ed. rev. e ampl. Brasil: Brasília, DF: Embrapa; 2017 [cited 2018 Oct 4]. 573 p. Available from: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>
- de Lima Martins E, Coringa J do ES, dos Santos Weber OL. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVAd sob diferentes agrossistemas. *Acta Amazonica*. 2009;39(3):655–60. doi:10.1590/S0044-59672009000300021
- Alves Pereira S, de Oliveira GC, Kliemann HJ, Balbino LC, Fernandes de Souza França A, Rodrigues de Carvalho E. Influence of different grazing systems on physical properties and aggregation in savannah soils. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 2010;40(3):274–82.
- Redin M, dos Santos GDF, Miguel P, Denega GL, Lupatini M, Doneda A, et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*. 2011;21(2):381–92. doi:10.5902/198050983243
- Correia BL, Alleoni LRF. Conteúdo de carbono e atributos químicos de Latossolo sob cana-de-açúcar colhida com e sem queima. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2011;46(8):944–52. doi:10.1590/S0100-204X2011000800022
- Santana OA, Encinas JI, dos Santos Borges IE, de Amorim LB, Vilaverde JLJ. Relação entre o índice de avermelhamento do solo e o estoque de carbono na biomassa aérea da vegetação de cerrado. *Ciência Florestal*. 2013;23(4):783–94. doi:10.5902/1980509812362
- Caione G, Fernandes FM, Lange A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 2013;8(2):189–96. doi:10.5039/agraria.v8i2a2016
- Cardoso JA, Lacerda MPC, Rein TA, Gomes dos Santos Junior J de D, de Figueiredo CC. Variability of soil fertility properties in areas planted to sugarcane in the State of Goiás, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2014;38(2):506–15. doi:10.1590/S0100-06832014000200015
- Mendonça MF, Araújo WP, Júnior CCP, Chaves LHG, da Silva F de AFD. Preparo de solo e fosfatagem - II. Rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar. *Agropecuária Científica No Semiárido*. 2015;11(1):14–21. doi:10.30969/acsa.v11i1.588
- Partelli FL, Vieira HD, Ferreira EP de B, Viana AP, Martins MA, Urquiaga S. Chemical and microbiological soil characteristics under conventional and organic coffee production systems. *Communications in soil science and plant analysis*. 2012;43(5):847–64. doi:10.1080/00103624.2012.648470
- Ramos Evangelista C, Partelli FL, de Brito Ferreira EP, Ribeiro Pires F. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. *Semina: Ciências Agrárias*. 2013;34(4):1549–62. doi:10.5433/1679-0359.2013v34n4p1549
- Borges L de A, Madari BE, Leandro WM, Fernandes PM, da Silva EA, da Silva MR, et al. Nutritional State and Productivity of Organic Sugarcane in Goiás, Brazil. *Journal of Agronomy*. 2015;14(1):6–14. doi:10.3923/ja.2015.6.14
- Santos VB, Araújo ASF, Leite LFC, Nunes LAPL, Melo WJ. Soil microbial biomass and organic matter fractions during transition from conventional to organic farming systems. *Geoderma*. 2012;170:227–31. doi:10.1016/j.geoderma.2011.11.007
- Signor D, Zani CF, Paladini AA, Deon MD, Cerri CEP. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2014;38(5):1402–10. doi:10.1590/S0100-06832014000500005
- Dalchiavon FC, Carvalho M de P e, Montanari R, Andreotti M, Bem EAD. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. *Revista Ceres*. 2014;61(2):255–64. doi:10.1590/S0034-737X2014000200014

Recibido: 21 de enero de 2018

Accepted: 3 de octubre de 2018