

Artículo de investigación / Research paper

Medición Del Volumen De Retención De Sedimentos Mediante Cs Y Micromorfología De Suelos

Sediment Retention Evaluated By ¹³⁷Césio And Soil Micromorphology Techniques

Vladia Correchel¹, Mariel Fernanda Camargo²

Recibido: 20 de abril de 2016

Aceptado: 10 de octubre de 2016

Resumen

Los bosques ribereños pueden proporcionar elementos de importancia para los ecosistemas acuáticos, al mismo tiempo retienen sedimentos procedentes de las laderas cercanas que pueden ayudar al desarrollo de las especies establecidas. Sin embargo, es necesario un área suficiente bajo vegetación ribereña para la retención de sedimentos, el área mínima para cumplir con este servicio ecosistémico es aún objeto de debate, ya que la legislación ambiental brasileña se basa sólo en el ancho de la corriente para determinar el área óptima bajo bosque de ribera. Mediante la utilización de dos técnicas complementarias: micromorfología y el análisis de la precipitación del elemento cesio en el suelo, se estudió la eficiencia de la vegetación de ribera como trampa de sedimentos, procedentes de una colina bajo cultivo de algodón en un sistema de labranza convencional, localizado aguas arriba de un bosque de ribera en Goiatuba, GO, Brasil. Los resultados para ¹³⁷Cs y micromorfología de suelos indican que pese a que la vegetación de ribera de la zona de estudio cumple con los requerimientos mínimos de cobertura establecidos por la ley, no fue suficiente para retener

1 PhD. Escuela de Agronomía, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil. Email: vldiacorrechel@hotmail.com

2 Doctoranda en Agronomía- Programa de Posgraduados en Agronomía de la Escuela de Agronomía, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil

los sedimentos producto de la erosión asociada a la explotación agrícola aguas arriba. Lo cual sugiere redefinir los criterios establecidos para la delimitación de las zonas de protección y amortiguamiento en bosques de ribera.

Palabras Claves: retención de sedimentos, bosque de ribera, micromorfología de suelos, impacto ambiental, erosión.

Abstract

The riparian forests can supply important elements aquatic ecosystems holding back deriving sediments of the areas of hillsides. However, the width of the necessary ciliar bush for the retention of sediments still is in quarrel, a time that the Brazilian ambient legislation if bases only on the width of the course of water for its determination. In this work two complementary techniques are used: of ^{137}Cs and the micromorphology of the ground, to verify the efficiency of the riparian forests in the retention of sediments in a hillside cultivated with cotton in system of conventional plantation the sum of situated riparian forests in Goiatuba, GO, Brazil. The analyses for the techniques of ^{137}Cs and soil micromorphology of the ground had indicated that the riparian forests of the study area were not enough to hold back the sediments to the sum of the agricultural area, which suggest to redefine the established criteria to delimitate the protection area on riparian forests.

Keywords: sediment retention, riparian forests, soil micromorphology, environmental impacts, erosion.

1. Introducción

La relación entre el desarrollo de la agricultura y la sostenibilidad ambiental es inconsistente, especialmente con la introducción de la agricultura moderna, marcada por el agotamiento de los recursos naturales no renovables y el uso inadecuado de los recursos naturales renovables, afectando la capacidad de recuperación de los ecosistemas con la consiguiente caída de la productividad natural de las tierras agrícolas en todo el mundo [1]. En el caso de la región del Cerrado, el rápido crecimiento de las áreas de monocultivo, caracterizadas por la producción a gran escala, acompañada por el uso de tecnologías en el campo de las semillas, pesticidas, fertilizantes y otros insumos [2], lo cual además de provocar cambios radicales en el paisaje natural producto de retirar toda la vegetación nativa, condujo a un aumento en el consumo de insumos agrícolas en Brasil.

La intensificación del uso de maquinaria en el trabajo agrícola contribuye a la expansión de áreas con suelos degradados, disminuyendo su estructura y la cobertura vegetal durante un período largo de tiempo [3]. La preparación

intensiva del suelo induce a la formación de una capa compactada que reduce la permeabilidad y profundidad efectiva, aumentando el arrastre de suelo y el lavado en superficie con graves pérdidas en productividad de los cultivos [4,5].

El sistema de labranza convencional se compone de capas superficiales giratorias, cuyo objetivo es incorporar cal y fertilizantes, el consecuente aumento de los espacios de los poros en el suelo, aumentan la permeabilidad y las condiciones de almacenamiento de aire y el agua, facilitando el crecimiento de las raíces en el suelo [5].

De acuerdo con la ley brasileña “Código Forestal de 1965” el bosque de ribera [6] tiene un papel clave en la filtración de sedimentos, nutrientes y contaminantes derivados de la agricultura [7], controlando la velocidad de la escorrentía por medio de barras colectoras producto de la vegetación y la presencia de horizontes orgánicos en superficie. El ancho de estas zonas está regulado por la ley 4771 de 09/15/1965, la cual determinó empíricamente en base al ancho de las fuentes de agua, sin ninguna base científica que asegure la calidad del agua o el valor biológico de la cuenca [8].

Con la expansión de la agricultura, los bosques ribereños han sufrido grandes interferencias, a menudo la vegetación adyacente a los ríos es cortada, originando zonas degradadas sin un uso agrícola, en otros casos los humedales son transformados en tierras de cultivo mediante drenaje [9]. Sin embargo, algunos relictos de vegetación de ribera a pesar de estar ligeramente conservados están gravemente afectados por las actividades agrícolas [10].

Varios investigadores han resaltado la importancia del ancho de la franja bajo cobertura vegetal ribereña para la protección de los recursos hídricos [11]. Estudios aislados en Brasil indican que los anchos diseñados para áreas de preservación permanente (APPs) no aseguran la función de filtrar nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) y sedimentos [12].

La caracterización de la cantidad de sedimento producido en cada sistema de uso del suelo y la retención de estos sedimentos por parte de los bosques de ribera es esencial en lo que respecta al entendimiento de las dinámicas de la productividad en sistemas agrícolas y la sostenibilidad de los recursos naturales para el caso de las zonas de ribera. Para la evaluación de la pérdida de suelo y la deposición de sedimentos se utiliza la técnica de cesio 137 (^{137}Cs), así como micromorfología de suelos, siendo una alternativa que permite visualizar los procesos en estos sistemas [13].

El ^{137}Cs es un radionuclido artificial con una vida media de 30 años producidos por explosión termonuclear en la atmósfera y hechas por accidentes nucleares. La precipitación mundial ^{137}Cs se inició en 1954, con valores máximos en 1963 y 1964.

El ^{137}Cs fue transportado a la superficie de la tierra a través de la precipitación y fuertemente adsorbidos en las partículas del suelo finos que ocurren bajo perfil movilidad. Su movimiento vertical o lixiviación es el resultado de fenómenos físicos del suelo y el movimiento horizontal se relaciona con “escurrimiento”.

La evaluación de la redistribución de ^{137}Cs se basa en una comparación de los inventarios medidos en puntos individuales de la muestra con la estimación equivalente de inventario de un representante ubicación de la entrada de lluvia acumulada, que no ha sido sometido a la erosión o depósito suelo ^[14].

La micromorfología es una técnica muy útil en el estudio de la génesis del suelo y la evaluación y seguimiento de las diversas prácticas agrícolas. Con la ayuda de las técnicas de procesamiento y análisis de imágenes digitales, la morfología es capaz de proporcionar información de porosidad y permeabilidad con precisión, y permitir la visualización de los cambios estructurales causados por compactación y densificación ^[15].

El uso de técnicas de análisis de imagen en los estudios cuantitativos y cualitativos de la estructura del suelo se ha vuelto más común, con un mayor acceso a hardware y software, y un mayor número de investigadores en el área. Estas técnicas, junto con la ultraestructura, permiten el estudio cuantitativo de los cambios estructurales en muestras inalteradas, después de su preparación y su montaje en las diapositivas ^[16].

Este estudio busca verificar la eficacia de la vegetación de ribera como trampa de sedimentos procedentes de un cultivo de algodón bajo labranza convencional, usando las técnicas mencionadas a lo largo de un transecto.

2. Materiales y métodos

2.1 Zona de estudio

El área seleccionada para el estudio corresponde a una zona bajo uso agrícola intensivo en la cuenca del Arroyo Lajeado, municipio de Goiatuba, GO (latitud $18^{\circ} 00' 39''$ Sur, longitud $49^{\circ} 21' 51''$ Oeste) en el Medio Oeste Brasileiro, zona del cerrado. La zona de estudio dispone de clima tropical húmedo AW

(clasificación de Koppen), con dos estaciones bien diferenciadas, húmedo en verano con cinco meses secos en invierno. Las precipitaciones se concentran en los meses de enero a marzo, con una precipitación media anual entre 1200 y 1800 mm, las temperaturas máximas y mínimas van de 18° en 30° [17].

Los suelos corresponden a Oxisoles ocupados parcialmente por algodón bajo labranza convencional. La ocupación agrícola de la zona se produjo en la década de 1940, cuando se reemplazó la cubierta original del Cerrado (bosque natural) por pastos y cultivos agrícolas. En 1997 el área se plantó con algodón en rotación con maíz y mijo. En el bosque de ribera presente se puede observar la presencia de árboles individuales con un diámetro superior a 2 metros con raíces tubulares, que actúan como una barrera contra las inundaciones ayudando a la retención de sedimentos. Para el estudio se trazó un transecto (Figura 1) en sentido de la pendiente cubriendo la vegetación de ribera en la parte baja de la geoforma con un ancho de 40m.

La pendiente media del transecto es del 5% y 3.6% para cultivo y bosque, respectivamente.

2.2 Toma de muestras

Se estudiaron los fenómenos de estratificación de los sedimentos de acuerdo a la distancia del cauce del río, de acuerdo al tipo de cobertura (Cultivo vs. Bosque de ribera). Se seleccionaron diez puntos de muestreo (cinco bajo cultivo y cinco en bosque) con una distancia al cauce de los puntos de muestreo de 204m, 144m, 104m, 84m y 64 m para el cultivo y 40m, 30m, 20m, 10m y 4m en el bosque de ribera, ver Figura 1.

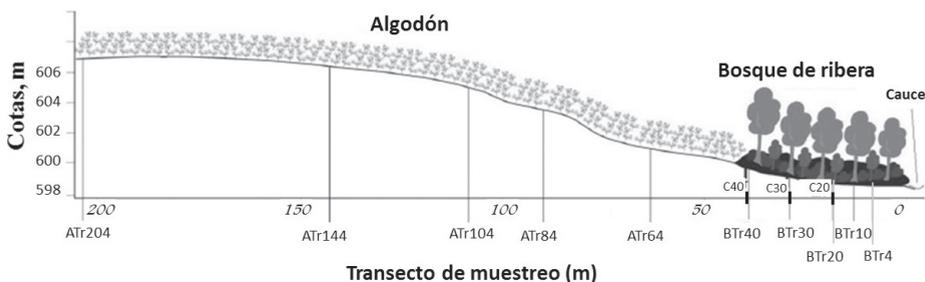


FIGURA 1. ESQUEMA DE MUESTREO UTILIZADO EN EL ÁREA DE ESTUDIO DONDE C40 (CALICATA REALIZADA A 40 M DEL CAUCE), C30 (CALICATA REALIZADA A 30 M DEL CAUCE), C20 (CALICATA REALIZADA A 20 M DEL CAUCE), ATR (TRANSECTO BAJO CULTIVO DE ALGODÓN), BTR (TRANSECTO BAJO BOSQUE DE RIBERA).

Las muestras para análisis de ^{137}Cs se tomaron con barreno, consistente en tres submuestras espaciadas cinco metros perpendiculares a cada punto del transecto, a profundidades de 20, 40 y 60 cm. En la zona ribereña se abrieron tres calicatas (1m x 1m x 1m) con una distancia de 40m, 30m y 20m del cauce, nombradas como C40, C30 y C20 (Figura 1). Los horizontes de suelo fueron muestreados cada 5cm de profundidad obteniendo una muestra compuesta de 2 kg de peso para análisis de ^{137}Cs . Para el análisis micromorfológico se sacaron bloques no disturbados de suelo en bloques de 5cm x 7cm x 5cm por horizonte pedogenético.

2.3 Área de referencia

Para la evaluación de las tasas de erosión que ocurren en los sitios de estudio mediante la técnica de ^{137}Cs , se seleccionó un área en una posición geomorfológica estable con poca o muy baja erosión bajo las mismas condiciones del sitio de estudio.

Se ubicó un área testigo de 30 hectáreas, con inclinación del 1% bajo cobertura de pastos. Este pasto fue plantado antes de 1962 sin alteración del suelo desde su implementación. Se realizaron tres repeticiones en el área testigo para analizar la actividad del ^{137}Cs . Para el muestreo de suelo en el sitio de referencia se abrieron tres zanjas con dimensiones de 20 x 20cm x 20cm, tomándose muestras a los 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm y 35cm con una obteniendo una muestra compuesta de 2 kg de suelo.

2.4 Análisis de ^{137}Cs y Micoestructura

Las muestras para la actividad de cesio (^{137}Cs) se analizaron con la ayuda de un detector de radiación a base de germanio hiperpuro, GEM- 20180P modelo PopTop (EG & ORTEC) acoplado a un analizador multicanal. Ese equipo proporciona las tasas reales de este elemento en el suelo a partir de una muestra de 100 gr de suelo seco al aire. La eficiencia de detección equipo es 0,7% para la geometría utilizada, con una actividad mínima detectable del orden de 0,2 Bq kg⁻¹, por debajo de la cual los errores de integración de pico son mayores del 20% para el espacio de tiempo establecido (24 horas). Las muestras con mayor actividad fueron analizadas por un mínimo de 86.400 segundos y las de máxima actividad durante 200.000 segundos.

Primero, se estableció la distribución de los horizontes y la estratigrafía de sedimentos de acuerdo con la metodología desarrollada por Bacchi [18]. Para observar la microestructura y analizar el sistema poroso del suelo, se prepararon los bloques de suelo impregnándolos con una resina de poliéster diluido y estireno monómero insaturado. Para la identificación del sistema poroso un haz fluorescente permite diferenciar los poros si se iluminan con luz UV. Las imágenes digitales se obtuvieron a partir de las secciones delgadas de suelo por medio de una cámara de color CCD con una resolución de 1024×768 píxeles (área de píxeles 156 mm^2).

3. Resultados y discusión

Los valores de ^{137}Cs encontrados en el testigo muestran una distribución vertical de la actividad del ^{137}Cs con una tendencia a disminuir al aumentar la profundidad. En las tres repeticiones de las secciones R1, R2 y R3 se observa una concentración más alta ^{137}Cs del 91% , 98% y 95%, respectivamente, registrando mayor actividad de ^{137}Cs en los primeros 20 cm de profundidad.

El valor promedio registrado de ^{137}Cs en el área de referencia “Goiatuba” es de 161.08 Bq m^{-2} , estos valores son inferiores a los valores encontrados por Correchel [19] para la zona centro sur de Brasil donde se obtuvieron valores medios de ^{137}Cs de 259 a 393 Bq m^{-2} . Los valores bajos de ^{137}Cs encontrados para el testigo no puede ser considerado como adecuado, ya que los valores encontrados en los sitios son más bajos que los reportados en la literatura en Brasil, los cuales van desde 264 Bq m^{-2} a 422 Bq m^{-2} [18], [20], [21]. La actividad de ^{137}Cs en profundidad no tiene una disminución exponencial hacia la base del perfil.

El estudio de la variabilidad espacial (dentro de cada sitio de referencia) y sistemática (entre los diferentes sitios) de ^{137}Cs para cuatro áreas de referencia en el sureste de Brasil [19], demostraron que el área de referencia debe estar ubicada más cerca de las áreas de estudio con el fin de reducir la variabilidad sistemática de estos.

La zona de referencia se obtuvo en base a la información recopilada con los residentes locales, ya que no hay disponibilidad de registros históricos. Este valor medio de referencia (bajo) para el área de estudio (Goiatuba), al

ser confrontado con las investigaciones reportadas para otras regiones de Brasil, muestran una relación con la variabilidad espacial de la lluvia o la falta de información precisa acerca del periodo exacto en que se realizó la deforestación en el área de referencia.

Posterior a un evento de lluvia, el valor de ^{137}Cs añadido al suelo puede haber sido eliminado del sistema por eventos de superficie tales como precipitaciones erosivas, en el que el agua lluvia supera la infiltración/saturación de agua el suelo o incluso por erosión eólica o también por eliminación de la vegetación nativa.

Los suelos de bosque de ribera se caracterizan por la presencia de estratos de deposición de sedimentos que cubren el suelo original, con espesor de esta capa superficial heterogéneo. El espesor de estos estratos está relacionado con factores tales como pendiente del terreno, presencia de concavidades e incluso barreras físicas, estas últimas asociadas a la presencia de vegetación. Lo anterior coincide con lo reportado por Boulet et al. [22].

Análisis morfológicos de suelos muestran la presencia de estratos de sedimentos con un marcado contraste con el suelo original, estas diferencias se encuentran asociadas a los colores más claros con una ausencia de estructura pedogénica y sin ningún tipo de agregación o muy débil en el caso de los sedimentos.

Mediante un análisis cuantitativo de los diferentes puntos estudiados es posible observar que en la superficie cultivada existe una alta heterogeneidad en cuanto a los valores de ^{137}Cs , reflejado pérdidas asociadas al fenómeno de erosión. Para el caso de la vegetación de ribera los valores de ^{137}Cs (promedio = $843,85 \text{ Bq m}^{-2}$) son superiores a los encontrados sobre la superficie cultivada (promedio = $272,35 \text{ Bq m}^{-2}$), lo cual da una mayor fortaleza a los datos producto de la descripción morfológica.

Las variaciones de los valores de ^{137}Cs a lo largo del transecto, pueden ser explicados por la posición geomorfológica asignada a los diferentes puntos de muestreo (tercio inferior de la pendiente), siendo la distancia desde el cauce hasta la cima 600 metros. En el momento en que se realizó dicho muestreo, la parte superior de la pendiente estaba cubierta por pastizales degradados, estas condiciones favorecieron la pérdida de suelo, el cual fue depositado aguas abajo en forma de sedimentos. Los procesos de deposi-

tación son más visibles en sitios con bajas pendientes y sobre terrazas de inundación, actuando estas últimas como obstáculos ante los fenómenos de inundación. Los mayores contenidos de ^{137}Cs en las áreas bajo agricultura se encontraron en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, registrando también un aumento del ^{137}Cs entre 20-40cm de profundidad.

Para los puntos muestreados en bosque de ribera, no existe una tendencia definida en cuanto a la distribución del ^{137}Cs . En la primera observación bajo bosque de ribera no se incrementaron los valores de ^{137}Cs al aumentar la profundidad, esta diferencia se hace más pronunciada entre 25 a 40 cm de profundidad. De acuerdo con la descripción morfológica realizada por Santos^[23], el horizonte "A" se encuentra sepultado por dos capas de sedimentos con un espesor de 8 y 14 cm, respectivamente diferenciadas por un grado de compactación mayor en la segunda capa, lo cual justifica el aumento de la actividad de ^{137}Cs en profundidad. Las secciones delgadas de suelos realizadas (Figura 2) muestran una secuencia de depositación de sedimentos con evidencias de iluviación de hierro y arcilla en profundidad.

En todas las calicatas C40-C30-C20 se encontraron poros distribuidos al azar y sin orientación, por lo tanto, no se encontró ninguna modificación de los poros a lo largo de la transecto. Se encontró presencia de canales en la C40, grietas en la C30 y grietas en la C20, con gran grado de compactación en profundidad, condiciones que reflejan cambios en la organización de la matriz del suelo, citado en observaciones macromorfológicas. Se encontraron macro y mesoporos en las capas superficiales y una intensa presencia de microporos en las capas más profundas excepto C40, que sigue siendo profunda en tamaño y con un alto número de poros.

La primera capa de C40 las imágenes muestran una pedalidad poco desarrollada con una disminución en la cantidad de poros en profundidad, con distribución al azar de macro y mesoporos, sin orientación, con la presencia de canales, lo que refleja la actividad del sitio biológica, así como presencia de grano de cuarzo suelto.

De acuerdo con^[24], la translocación de partículas finas a partir de las posiciones más elevadas favorece la reorientación de las arcillas en el medio, siendo común la presencia de microagregados favorecidos por la acción de óxidos de hierro, formando perlas del tamaño de arena o de pseudoarenas. La resistencia de los agregados a los cambios causados por la gestión, hace

hincapié en la importancia de la presencia de óxidos de hierro alojados en la estructura microagregada en la estabilidad de los agregados.

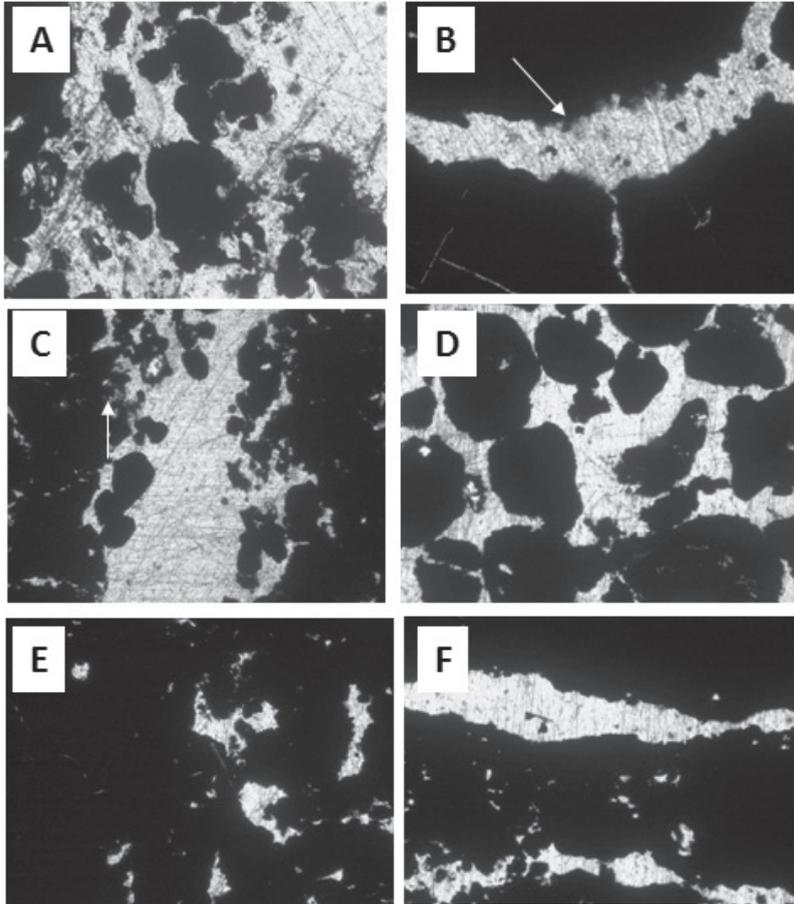


FIGURA 2. MICROFOTOGRAFÍA MACROPOROSIDAD DEL SUELO (A) EN C40, POROS Y CANALES DE TRANSLOCACIÓN DE ARCILLA Y HIERRO (B) EN C40; INTENSA ACTIVIDAD BIOLÓGICA (C) Y PEDALIDADE FUERTEMENTE DESARROLLADO (D) EN C30 ; MICROPOROSIDAD (E) Y GRIETAS ORIENTADAS (F) EN C20.

El segundo horizonte de la calicata C40, fue considerado como un horizonte enterrado con un pedálidade fuertemente desarrollado, con una intensa presencia de actividad biológica. En la calicata C30, ubicado a 30 metros del curso de agua, el ^{137}Cs mostró dos picos, uno en la capa de 10 a 15 cm

y otra en la capa de 40 a 45 cm y sólo se identificó una capa de sedimento de 11 cm y el horizonte “A” con 15 cm de espesor situado entre 10 y 25 cm de profundidad. Debido a la identificación de distintas capas de sedimentos en las dos calicatas, suponiendo que la deposición se produjo en distintos eventos asociados a diferentes estaciones de lluvias. El análisis micromorfológico de la C₃₀ resultó ser el suelo con una actividad biológica más baja, y en el perfil con una disminución significativa de poros y un aumento de compactación.

Las diferencias en microporosidad y macroporosidad en profundidad al estar cerca al cauce fluvial sugieren que a pesar del aumento de macroporosidad del labrado convencional, este efecto es sólo a corto plazo. A posteriori se produce un reacomodo de las partículas, causando el desplazamiento de sedimentos a lo largo del transecto. En todas las calicatas hubo diferencias de cambios de geometría en el espacio de los poros debido al manejo de aguas en la zona aleadaña al área de estudio, que afecta a las condiciones del suelo.

De acuerdo con ^[25] las áreas que sufrieron la acción humana resultaron en modificaciones de la estructura original, sufriendo una reducción de la porosidad total del suelo con consecuencias desfavorables para el desarrollo del sistema radicular de las plantas en la capa superficial. Esto indica que la macroporosidad está más sujeta a los cambios impuestos por la gestión que la microporosidad. El trabajo de ^[26] muestra que la reducción de los macroporos, probablemente es debida a la compactación causada por el tránsito de maquinaria agrícola e implementos utilizados en la siembra de los cultivos de verano, donde la humedad del suelo es generalmente alta.

La calicata C₂₀, situado a 20 metros del cauce, a pesar de no haber sido identificada ninguna capa de sedimento en la descripción morfológica, se encontró un horizonte “A” en superficie, el cual presentó una gran cantidad de ¹³⁷Cs. Estos datos reflejan una dinámica de deposición de sedimentos en la zona ribereña durante el proceso de erosión. Según ^[27], las fracciones más gruesas dispersas en la corriente de agua tienden a depositarse primero. En el caso del área de estudio (suelos arcillosos) muchas de estas partículas gruesas se componen de microagregados de arcilla, sin embargo la arcilla disuelta durante el proceso de erosión fue la última porción a ser depositada asociada a materia orgánica, la cual puede ser transportada a través de largas distancias debido a la baja capacidad de sedimentación.

Teniendo en cuenta la fuerte adsorción de ^{137}Cs de minerales de arcilla, y las largas distancias de inundación, se explica el alto valor de ^{137}Cs en el punto de muestreo C20, debido a que fueron los únicos sedimentos de depósito que no se presentaron

El análisis del tamaño de partícula reveló un 68% de presencia de arcilla en el horizonte superficial de la C20. Esta arcilla puede haberse infiltrado junto con el escurrimiento de agua en profundidad, centrándose en la capa superior.

El análisis micromorfológico de secciones delgadas de la calicata C20 indica iluviación de Fe y arcilla en profundidad, con un llenado de macro y mesoporos. Se identificaron aproximadamente un 70% de los macro y mesoporos en el primer horizonte, lo que reduce a aproximadamente un 5% la porosidad total en las capas adyacentes, éstos representados principalmente por microporos.

Adicionalmente se encontró presencia de grietas dirigidas, lo que demuestra un alto grado de compactación. Se evidencia una deposición de sedimentos en la zona ribereña lo cual muestra claramente el efecto importante del sistema de bosque de ribera en el control de los sedimentos en el flujo, y los primeros metros de bosque fueron más eficientes en la retención de sedimentos.

4. Conclusión

Se evidencia una deposición de sedimentos en la zona ribereña, lo cual demuestra el efecto importante de la funcionalidad de bosque de ribera en el control de los sedimentos en suspensión. Los primeros metros de bosque de ribera fueron más eficientes en la retención de sedimentos.

5. Referencias

- [1] L. R. Norton. Is it time for a socio-ecological revolution in agriculture? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 235, n° 1 pp. 13–16, 2016.
- [2] M.V. Braunack and A. R. Dexter, Soil aggregation in the seedbed: a review. Properties of aggregates and beds of aggregates, *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, vol. 14, no. 3, pp. 259-279, 1989.
- [3] D.F.S. Dias. A conservação da natureza. In *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*, Universidade de Brasília, Brasília, pp. 10-24, 1994.

- [4] T. Glab. Effect of soil compaction and N fertilization on soil pore characteristics and physical quality of sandy loam soil under red clover/grass sward. *Soil and Tillage Research* Vol.144, Pp 8–19, 2014.
- [5] Casamitjana, M; D’Haene, K; Loaiza Usuga, J.C; Gabriels, D; De Neve, S. Influence of tillage Systems on soil structural properties. In: *No-Till Farming: effects on soil, pros and cons and potential*. Ed. Earl T. Nardali. by: Nova Science Publishers, Inc. Hauppauge, NY. ISBN: 978-1-60741-402-5, 2009.
- [6] G. Sparovek, S.B.L. Ranieri, A. Gassner, I.C. de Maria, E. Schung, R.F. Santos and A. Joubert. A conceptual framework for the definitions for the optimal width of riparian forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 1782, pp. 1-7, 2001.
- [7] D.L. Correll. Buffer zones and water quality protection: general principles, in *Buffer zones: their processes and potential in water protection*. Harpenden: Quest Environmental, pp. 7-20, 1997.
- [8] R.R. Rodrigues and S. Gandolfi. Conceitos, tendências e ações para a Recuperação de Florestas Ciliares. In *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*, EDUSP/FAPESP, São Paulo, 320 p., 2000.
- [9] J. Baundry. 1997. Buffer zones and farming systems. In *Buffer zones: their processes and potential in water protection*. Harpenden: Quest Environmental, pp. 275-282.
- [10] O.R.R.F. Silva, V. Soffiatti and W.V. Cartaxo. Mecanização da lavoura algodoeira, in *Algodão no Cerrado do Brasil*, Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (ABRAPA), Brasília, DF, vol. 1, pp. 225-266, 2007.
- [12] C. Nilson, R. Janson and U. Zinko. Long-term responses of river-margin vegetation to water-level regulation, *Science*, vol. 276, no. 3, pp. 798-800, 1997.
- [13] G. Sparovek and E. Schnug. Temporal Erosion-Induced Soil Degradation and Yield Loss, *Soil Science Society American Journal*, Madisson, vol. 65, no. 5, pp. 1479-1485, 2001.
- [14] J. Hadl, R. Sachse, D. Jakob, R. Michel, H. Evangelista, A.C. Gonçalves and A.C de Freitas. Accumulation of ¹³⁷Cs in Brazilian soils and its transfer to plants under different climatic conditions, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 20, pp. 1-17, 2007.
- [15] F.G. Zapata. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments, *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, vol. 69, pp. 3-13, 2003.
- [16] S.S. Castro, M. Cooper, M.C. Santos, P.V. Torrado. Micromorfologia do solo: Bases e aplicações, in *Tópicos em ciência do solo*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, vol. 3, pp. 107-164, 2003.

- [17] ACEG. Atlas climatológico do Estado de Goiás, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, GO, pp.100, 2002.
- [18] O.O.S. Bacchi, K. Reichardt, G. Sparovek and S.B.L. Ranieri. Soil erosion e valuation in a small watershed in Brazil through 137Cs fallout redistribution analysis and conventional models, *Acta Geológica Hispânica*, Barcelona, vol. 35, no 3-4, pp. 251-259, 2000.
- [19] V. Correchel, O.O.S. Bacchi, I.C. de Maria and K. Reichardt. Random and systematic spatial variability of 137Cs inventories at reference sites in the South-Central region of Brazil, *Scientia Agrícola*, Piracicaba, vol. 62, pp. 173-178, 2005.
- [20] A.C. Andrello, C.R. Appoloni and M.F. Guimarães. Uso do Césio-137 para avaliar taxas de erosão em cultura de soja, café e pastagem, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 27, no. 2, pp. 223-229, 2003.
- [21] A.C. Andrello and C.R. Appoloni. Spatial variability and Cesium-137 inventories in native Forest, *Brazilian Journal of Physics*, São Paulo, vol. 34, pp. 800-803, 2004.
- [22] R. Boulet, A. Chauvel, F.X. Humbel and Y. Lucas. Analyse structurale et cartographie en pédologie. I Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols, *Cah. ORSTOM, Série Pedológica*. vol. 19, pp. 309-320, 1982.
- [23] D.S. Santos. Redistribuição e qualidade de solos e sedimentos agrícolas em vertentes com mata ciliar: estudo de caso em Goiatuba, GO, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, pp.103, 2007.
- [24] J.L.N. Soares, C.R. Espíndola and L.L. Foloni. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo, *Ciência Rural*, vol. 35, pp. 353-359, 2005.
- [25] L.F.Stone and P.M. da Silveira. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 25, no. 2, pp. 395-401, 2001.
- [26] J.A. Albuquerque, K.J. Reneirt and J.E. Fioron. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo ao final de sete anos, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, vol. 19, no. 1, pp. 115-119, 1995.
- [27] J.C. Ribeiro and F.X.T. Salomão. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do alto rio da Casca-MT, *Geociências*, São Paulo, vol. 22, no. 1, pp. 83-95, 2003.