

**Procesos erosivos provocados por la expansión urbana en el municipio
Meridiano-SP y su relación con la geodiversidad local**

Renata Lucon Xavier

Postgrado, PPGEU - UFSCar, Brasil.

renatalucon@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8846-8772>

Denise Balestrero Menezes

Profesora Doctora, PPGEU - UFSCar, Brasil.

denisebm@ufscar.br, <https://orcid.org/0000-0003-2962-3028>

RESUMEN

La ciudad de Meridiano ha sufrido las consecuencias de la combinación de sus características favorables al proceso de erosión con la ausencia de la planificación urbana. En este estudio, se buscó analizar el crecimiento de la ciudad y la evolución de los procesos de erosión en el área urbana, así como su relación con la geodiversidad local. Para ello, la metodología consistió en el levantamiento de información sobre expansión urbana en 2014 y 2020, con la clasificación supervisada de imágenes satelitales CBERS 4 e identificación de puntos erosionados en el Plan Municipal de Saneamiento Básico de la ciudad, los cuales fueron analizados *in loco* para su comparación y correlación con características geoambientales levantadas por el CPRM y por los Comités de Cuencas. La clasificación supervisada no dio como resultado el mapeo esperado, requiriendo adaptación en el proceso de análisis. Se encontró que las formaciones de erosiones se ubican en los extremos de la trama urbana, donde existe una falta de infraestructura de drenaje y dispositivos de reducción de energía hídrica, junto con un argisol rojo-amarillo susceptible a los procesos erosivos. A pesar de la existencia de planes de contención, las autoridades públicas aún enfrentan dificultades para lograrlos.

PALABRAS CLAVE: Erosión. Crecimiento urbano. Planificación Urbana.

1 INTRODUCCIÓN

La superficie de la tierra sufre varias modificaciones geológicas debido a procesos naturales, como la erosión; sin embargo, estos procesos se están intensificando y acelerando debido a la degradación ambiental por actividades humanas (ROTTA; ZUQUETTE, 2014), que incluyen la liberación concentrada de aguas residuales y pluviales directamente sobre el suelo expuesto.

Según Lepsch (2010) y Rotta y Zuquette (2014), la erosión acelerada es muy común en Brasil. También generado por el avance incontrolado de la agricultura, genera problemas indirectos y directos a los habitantes, como la sedimentación de cursos de agua y pérdidas económicas y sociales.

Para Lepsch (2010), la erosión hídrica es la más común en Brasil, siendo producida por la desagregación del material por el impacto del agua de lluvia o por arrastre, la cual es influenciada por la energía de esta agua y por la capacidad de amortiguamiento local, a través de la capa de vegetación. Las erosiones de tipo laminar, surco, cárcavas y socavación de cauce son las principales erosiones hídricas conocidas.

Cuando las primeras gotas de agua entran en contacto con el suelo, se produce una ruptura en la unión de partículas, sellando la zona y dificultando la infiltración. Con el flujo difuso, se produce erosión laminar en el área, que puede o no evolucionar y causar surcos en concentraciones más altas de agua. Los surcos pueden originar cárcavas, debido al avance del flujo difuso a concentrado, evolucionando en ancho, profundidad y longitud, generando socavación de cauce (GUERRA; BOTELHO, 1996; LEPSCH, 2010). Los procesos de erosión lineal en las zonas urbanas son mayoritariamente el resultado de la ineficacia de las políticas de urbanización y de la gran presión ejercida sobre el suelo por la interacción del hombre con la naturaleza.

La geodiversidad local combinada con la acción humana puede ser un factor determinante para provocar procesos de erosión. Según Guerra y Botelho (1996) y Lepsch (2010), algunos tipos de suelo son más propensos que otros debido a sus diferencias físicas, como la permeabilidad, textura y profundidad, así como a la influencia de la pendiente

superficial, lo que permite mayor o menor transporte de material superficial, y el clima, que proporciona mayor o menor cantidad y concentración de lluvias. Los argisoles rojo-amarillos, por ejemplo, se erosionan más fácilmente; caso observado en el municipio Meridiano-SP.

En el mapa pedológico del Estado de São Paulo (ROSSI, 2017) se observa que en el área donde se ubica la ciudad hay predominio de argisol rojo-amarillo o rojo. eutrófico o textura arenosa/media abrupta a moderada o débil. Los Reportes Cero de las Cuencas Hidrográficas de Turvo Grande (TG) y São José dos Dourados (SJD) (IPT, 1999a, 1999b) brindan mayor detalle para el sitio, caracterizándolo como argisol¹ rojo-amarillo eutrófico, abrupto, amoderado, bajo actividad arcillosa, textura arenosa / media, con pequeña inclusión de suelo arcilloso rojo oscuro de las mismas descripciones, excepto que tampoco es abrupto y tiene textura media.

Bertolani y Vieira (2001) afirman que los argisoles eutróficos rojo-amarillo están más sujetos a erosión debido a la gran variación del horizonte A, ya que cuanto mayor es la saturación del horizonte superficial menor es su espesor, aumentando la esorrentía. En el estudio, los autores verificaron que la presencia de cobertura vegetal en suelos con transición textural abrupta y bajo contenido de arcilla es importante para preservar el horizonte textural, ya que garantiza una mayor tasa de infiltración y reduce el transporte de sedimentos.

Este artículo busca realizar un análisis temporal de la expansión del municipio Meridiano-SP, con el fin de identificar los vectores de crecimiento y confrontarlos con los procesos erosivos derivados de la ocupación, a través de una comparación de las áreas erosionadas mapeadas por el Plan Municipal de Saneamiento Básico y su estado actual, así como su relación con la geodiversidad local.

El Plan Municipal de Saneamiento Básico (PMSB) de la ciudad fue establecido por la Ley 1278 del 15 de agosto de 2019, con el objetivo de universalizar el acceso a los servicios básicos de saneamiento (MERIDIANO, 2019). Para ello, estableció principios basados en los lineamientos nacionales de saneamiento básico de la Ley 11.445 / 2007, que instituye que el plan puede ser específico para cada servicio según la necesidad, conteniendo un diagnóstico de la situación e impactos en las condiciones de vida, objetivos y metas y proyectos para cumplirlas (BRASIL, 2007). En la elaboración del Meridiano PMSB se consideraron los servicios de abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario, drenaje y manejo de aguas pluviales urbanas (MERIDIANO, 2018).

Por las características naturales del territorio y el aumento de los caudales por la ocurrencia de lluvias y el vertido de aguas residuales sin la correcta recolección, el Plan de Macro-Drenaje Rural mostró signos de aceleración en la dinámica de los procesos erosivos lineales en la ciudad (MERIDIANO, 2015). No hay indicios de cuáles eran las ubicaciones en ese momento, pero se cree que las señales se convirtieron en erosiones vistas en 2018 por el PMSB (MERIDIANO, 2018). A lo largo del tiempo, se realizaron numerosas investigaciones en el ámbito nacional e internacional con el objetivo de investigar la erosión y su influencia por el uso y ocupación del suelo, como por ejemplo los trabajos de Silva y Guerra (2000), Bezerra et al. (2009), Park (2011), Rotta y Zuquette (2014), Sigalos (2016) y Rocha et al. (2018).

¹ El texto original describe el suelo como podzólico, sin embargo, los argisoles son reclasificaciones actuales de suelos podzólicos (SANTOS, 2018) y por lo tanto, se adoptó la nomenclatura actual.

Estos fenómenos que se desarrollan en el tejido urbano son desfavorables para el medio ambiente y la población local, ya que provocan degradación y dañan la economía y la seguridad. La mala gestión de la tierra refleja la necesidad de información geoambiental para identificar áreas que son más susceptibles a la erosión y la toma de decisiones para implementar acciones correctivas.

2 OBJETIVOS

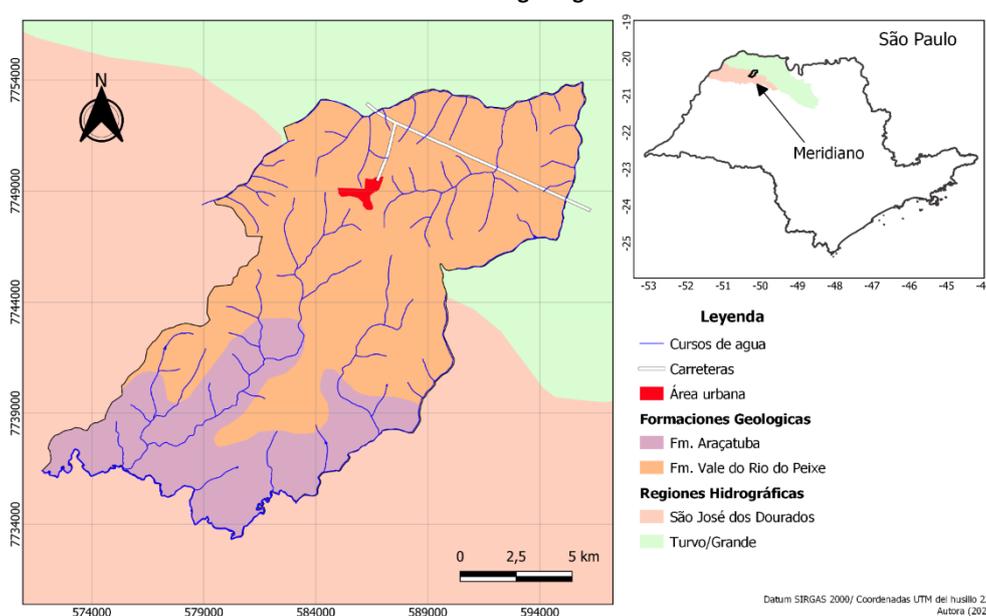
El trabajo tiene como objetivo estudiar el proceso de expansión urbana en Meridiano-SP y confrontar los procesos de erosión existentes y la geodiversidad local, con el fin de comprender cómo el crecimiento de la ciudad y sus características naturales influyen en la formación de procesos erosivos.

3 METODOLOGÍA

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, Meridiano - SP (Figura 1), se asienta sobre un divisor de aguas superficiales, con la vertiente norte perteneciente a la Cuenca Hidrográfica Turvo/Grande y la vertiente sur perteneciente a la Cuenca São José dos Dourados (IGC, 2014). El punto central de la ciudad está ubicado en la latitud 20°21'33 "Sur y longitud 50°10'24" Oeste, en la región gubernamental de São José do Rio Preto, con un área de aproximadamente 228,2 km² (IBGE, 2021) y altitud del casco urbano entre 500 m y 520 m.

Figura 1: Ubicación del Meridiano en el Estado de São Paulo y área municipal con red hidrográfica sobre formaciones geológicas



Fuente: Autora, 2021.

Con una precipitación media anual de 1.208 mm, Meridiano tiene un clima tipo Aw según la clasificación de Köppen, definido como tropical, con una temperatura promedio igual a 22,4 ° C, con veranos calurosos y lluviosos e inviernos secos, que van desde 11,3 ° C en el mes más frío (junio) y 30,1 ° C en los períodos más cálidos (de octubre a marzo) (MERIDIANO, 2018). El último censo registró 3.855 habitantes (IBGE, 2010) y la última estimación es de 3.813 personas en el año 2021 (IBGE, 2021).

Así como gran parte de la parte occidental del Estado de São Paulo, el municipio se ubica en el contexto geológico de la Provincia Geológica de Paraná y se asienta sobre la Cuenca de Bauru, en la cual afloran rocas del Grupo Bauru, siendo el límite sur pertenecientes a la Formación Araçatuba y las regiones central y norte pertenecientes a la Formación Vale do Rio do Peixe, que abarca completamente el área urbana (Figura 1). Ambos se sustentan en basaltos de la Formación Serra Geral (Grupo São Bento) y tienen características de relieve como colinas disecadas y cerros bajos (FERNANDES; COIMBRA, 2000; CPRM, 2006). La Formación Araçatuba, más antigua, aflora en el municipio cercano al río São José dos Dourados, en elevaciones topográficas por debajo de los 450 m. Se caracteriza por la sucesión de estratos tabulares de limolitas y areniscas muy finas, de coloración gris verdosa, que pueden presentar costras por cementación carbonatada. (FERNANDES, 2004; FERNANDES; COIMBRA, 2000).

La Formación Vale do Rio do Peixe posee el área de afloramiento más grande entre todo el grupo Bauru y cubre una gran parte de la superficie del Meridiano. Tiene una estructura tabular con intercalación de areniscas y limolitas / lutitas arenosas y un espesor máximo de 100 m. Su composición comprende areniscas muy finas a finas de color rosa a naranja y buena selección, capas tabulares de limolita maciza de color crema a marrón y lentes de arenisca conglomerática con interclastos arcillosos o carbonatados. (FERNANDES; COIMBRA, 2000; FERNANDES, 2004; CPRM, 2006).

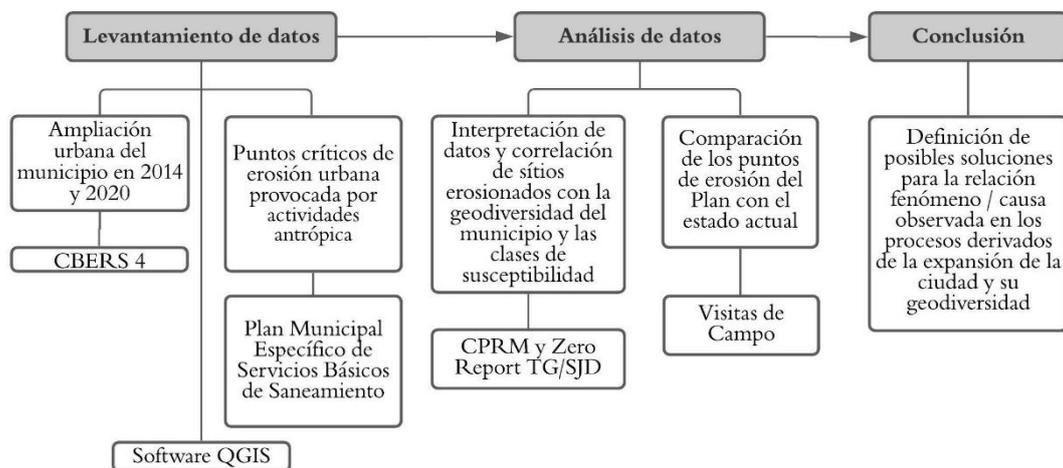
Según la carta geotécnica de la mesorregión São José do Rio Preto (IPT, 1994), Meridiano presenta terrenos con muy alta susceptibilidad a la erosión. Estos terrenos se caracterizan, en general, por la presencia de surcos y cárcavas provocados por la deforestación de bosques de ribera y cabeceras de drenaje, escorrentías superficiales concentradas en urbanismos y obras viales, que pueden desarrollar cárcavas, y también por la intensa sedimentación en los cuerpos de agua procedente de la sedimentación de las erosiones.

Según Gray (2004), la erosión remueve material de su lugar y lo traslada a otro, modificándolo. Esta deposición entierra los otros materiales que ya estaban en esa superficie, que nuevamente pueden quedar expuestos por el proceso de erosión natural o por procesos humanos. Como resultado, la erosión se convierte en la principal amenaza para la geodiversidad local.

3.2 PROCEDIMIENTOS

La metodología utilizada consistió en la realización de tres etapas, a saber: i) recolección de datos; ii) análisis de datos; iii) consideraciones finales, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2: Diagrama de flujo de procedimientos de metodología



Fuente: Autora, 2021.

En la etapa de recolección de datos, el crecimiento del área de estudio se obtuvo a través de imágenes del satélite CBERS 4 en los años 2014 y 2020. El período elegido se basa en la fecha más cercana al año de lanzamiento del satélite y la fecha más actual para fines de comparación. Para acceder a las imágenes fue necesario registrarse en el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE), sujeto a las condiciones establecidas en la licencia.

Se consideraron algunos parámetros básicos para la búsqueda de los datos, seleccionándose el sensor satélite del tipo Multiespectral Regular (MUX), nivel 4 de tratamiento de imagen y 10% de nubosidad máxima. El satélite tiene una resolución espacial de 20 m con bandas espectrales azul, verde, roja e infrarroja cercana (EMBRAPA TERRITORIAL, 2018).

Se utilizaron dos metodologías para delimitar el perímetro urbano, la primera mediante interpretación automatizada, donde el procesamiento de la imagen se realizó en el software QGIS, siguiendo parte de la metodología de Sousa et al. (2020) que propone la realización de una clasificación supervisada semiautomática utilizando el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), que:

[...] consiste en asignar clases de uso y ocupación del suelo a través de una muestra de píxeles seleccionados por un operador en la imagen satelital, es decir, el operador elige la muestra para representar una determinada clase y el algoritmo calcula por las características de la muestra qué píxeles dentro de la imagen pertenecerán a esa clase (SOUSA et al., 2020, p. 65026, traducción nuestra).

Las clases se asignaron de la siguiente manera: área urbana, campo, bosque, suelo expuesto, agua y nubes, con un mínimo de ocho muestras cada una. Se utilizó una composición de falso color natural simulado R3G4B1 para resaltar mejor el área urbana en este proceso.

La segunda metodología se utilizó con la composición de color falso-natural R3G2B1, donde se creó un shapefile para la inserción manual de la capa vectorial del área urbana, para los dos períodos de análisis, con el fin de crear un solapamiento entre ellos. El procedimiento

consistió en crear un polígono sobre las imágenes del CBERS 4, con un contorno correspondiente al umbral de la expansión urbana en las dos fechas analizadas.

Aún en etapa de recolección de datos, se presentaron los puntos de erosión urbana en el municipio de Meridiano identificados en el PMSB (MERIDIANO, 2018) y el número total de erosiones (urbanas y por subcuenca) relevados por el Informe Cero de Cuencas Hidrográficas (IPT, 1999a, 1999b) para verificar la hipótesis de un aumento de los procesos erosivos en el tiempo.

La interpretación de la información recolectada previamente fue discutida en la etapa de análisis de datos, donde también se compararon los puntos erosionados detectados con la situación actual a través de visitas de campo, correlacionándolos con la geodiversidad local, a través de las características de los estudios de área previamente abordados y la información contenidos en el Mapa de Geodiversidad del Estado de São Paulo (CPRM, 2009) y clase de susceptibilidad en relación al proceso, según la interpretación del Informe Cero de los Comités de Cuenca Turvo / Grande (IPT, 1999a) y Río São José dos Dourados (IPT, 1999b).

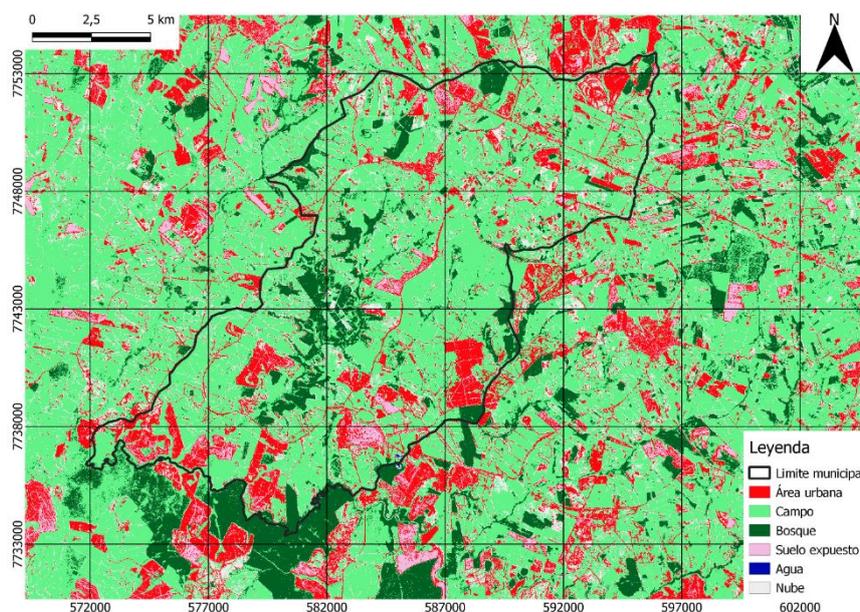
Las consideraciones finales presentan las principales discusiones, además de sugerencias, propuestas de mejora y soluciones relacionadas con el tema abordado.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Después del proceso de composición del color, se realizó la clasificación supervisada, que se muestra en la Figura 3.

Se puede comprobar que existía una dificultad en la separación automática de las clases definidas, percibida por la mezcla de colores de suelo expuesto y área urbana, y suelo expuesto y vegetación. Sin embargo, es interesante proseguir con la investigación de uso del suelo con la corrección del error observado, así como la visita a puntos del municipio para confirmar la información de las imágenes satelitales, haciendo una mayor validación de campo. Por lo tanto, se utilizó otro método para estudiar la expansión urbana en imágenes de satélite.

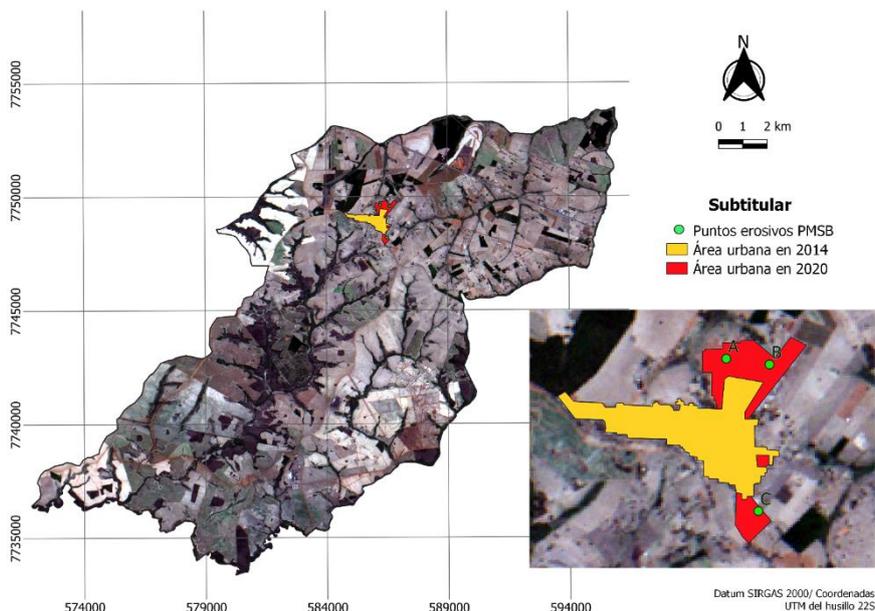
Figura 3: Clasificación de uso de suelo SCP con imagen CBERS 4 del 27/12/2014



Fuente: Autora, 2021.

El resultado de la segunda metodología para la composición del color de la imagen y la delimitación del perímetro se muestra en la Figura 4.

Figura 4: Área urbanizada de Meridiano-SP en 2014 y 2020 y puntos de erosión identificados por el Plan Municipal de Saneamiento Básico en 2018



Fuente: Autora, 2021.

Este procedimiento resultó ser suficiente para el estudio en cuestión, ya que el objetivo era comprender el proceso de expansión urbana. Se advierte que los vectores de crecimiento de la ciudad de Meridiano se concentran al Norte y Sur del área urbana. Al calcular las áreas, se estima que la mancha urbana poseía 80 hectáreas en 2014 y se expandió a 120 hectáreas en

2020.

Hay que tener en cuenta algunas salvedades, pues el método adoptado para la delimitación de contornos presenta imprecisiones debido a la limitada resolución espacial de las imágenes; al ampliarlo en el software, se presenta una distorsión, lo que indica la necesidad de imágenes de mayor resolución para una mejor comprensión del proceso de expansión y morfología del municipio a lo largo del tiempo.

En un segundo momento, se insertaron puntos de erosión en las imágenes y se compararon las localizaciones de estos puntos con el crecimiento urbano.

El Plan Municipal de Saneamiento Básico (MERIDIANO, 2018) identificó tres puntos de erosión en el área urbana de Meridiano, los cuales fueron denominados punto A, punto B y punto C, ubicados respectivamente en: la intersección de la Rua Euclides Polizeli y la Avenida Tadao Tobita (Figura 5A) y con la Rua Donato Marcelo Balbo (Figura 5B) y en la ampliación de la Rua São José, dentro del nuevo lote de Barreto (Figura 5C).

Figura 5: Proceso erosivo Rua Euclides Polizeli con Avenida Tadao Tobita (A), proceso erosivo Rua Euclides Polizeli Rua Donato Marcelo Balbo (B) y proceso erosivo en el urbanismo Barreto (C) en 2018



Fuente: Modificado de Meridiano, 2018.

Los puntos de erosión identificados se ubicaron en los extremos del área urbana, en lugares más bajos, por lo que funcionaron como receptores de escorrentía superficial, lo que no fue controlado por ningún tipo de medida estructural. La acumulación de agua sin una adecuada captación condujo al proceso de formación de cárcavas

La Figura 6 y la Figura 7 muestran recortes de imágenes satelitales del software Google Earth de los puntos A, B y C en el año de elaboración del mapeo de erosión (MERIDIANO, 2018) y actualmente.

Figura 6: Imagen satelital de los puntos A y B en 2018 y 2021 y dirección de la pendiente del terreno



Fuente: Google Earth Pro, 2021.

Los puntos A y B pertenecen a la zona norte de la ciudad, lugar que iniciaba su expansión (presencia de la delimitación de las vías a implementar en 2018). En 2021, algunas calles ya están asfaltadas y es posible detectar la construcción de la urbanización de interés social MERIDIANO-F.

Figura 7: Imagen satelital del punto C en 2018 y 2021 y dirección de la pendiente del terreno



Fuente: Google Earth Pro, 2021.

El punto C pertenece a la zona sur y ya tenía calles en 2018, sin embargo, no había pavimento. En 2021, se observa que todos los caminos fueron pavimentados y hay una mayor presencia de vegetación cerca del lugar analizado.

A través de una interpretación, es posible concluir que las áreas erosionadas en la Figura 6 y la Figura 7 se concentran exclusivamente en lugares donde el urbana se ha expandido, como se ve en la Figura 4.

Según las observaciones de PMSB, la disipación de flujo final no cumplió con el caudal máximo calculado y por lo tanto no pudo contribuir a la demanda futura, requiriendo soluciones para resolver el problema encontrado. También constataron que no existe un estándar para los proyectos de alcantarillado y sistema vial, así como una legislación específica para el uso y ocupación del suelo, lo que imposibilita la correcta ejecución de las obras y la adopción de medidas atenuantes para controlar el grado de permeabilidad e impactos en el sistema (MERIDIAN, 2018).

Actualmente, el punto erosivo A, identificado previamente, no existe (Figura 8). Hay indicios de movimiento de tierra reciente, lo que se refiere a la constante necesidad de frenar su avance, ya que el sitio aún no cuenta con ningún sistema de captación de escorrentías

superficiales.

Figura 8: Estado actual del punto de erosión A



Fuente: Autora, 2021.

El punto erosivo B (Figura 9) tuvo un avance considerable, ya que se removió la capa de vegetación para la construcción del proyecto de viviendas de interés social MERIDIANO-F. El hecho de que la nueva calle aún no esté pavimentada favorecería la infiltración, reduciendo la velocidad del agua drenada, sin embargo, al ser el área un área receptora, el agua se concentra, facilitando la erosión lineal y requiere cuidado por parte de los organismos públicos para su futura instalación de pozos de registro y disipadores de energía, necesarios para conducir los caudales superficiales a las galerías y evitar inundaciones y estancamiento de agua.

Figura 9: Estado actual del punto de erosión B



Fuente: Autora, 2021.

La erosión en el punto C tampoco existe, siendo el lugar que más atención recibió para la remediación de procesos erosivos, como se puede identificar en la Figura 10.

Figura 10: Estado actual del punto de erosión C; obras de captación de agua y reducción de velocidad



Fuente: Autora, 2021.

Se nota que el terreno se regularizó y contiene una mayor presencia de vegetación, lo que dificulta la remoción del suelo, especialmente en época de lluvias. Además, se instaló un alcantarillado y se construyó una presa, lo que ayudó en el proceso de captación de escorrentías superficiales y evitó que esta causara daños a otras áreas, ya que la calle no tiene salida y la descarga se produciría directamente en el suelo.

No se encontraron otros puntos de erosión en las áreas de expansión, pero a pesar de esto y la resolución estructural de algunos de los problemas, temporales o no, es necesario adoptar medidas no estructurales para el manejo del uso del suelo, como la estandarización de proyectos de carreteras y drenaje, así como la inspección de áreas susceptibles de descarga de agua.

De acuerdo con CPRM (2006, 2009), cuando las areniscas de la unidad geológica en la que está inmersa el área urbana pasan por el proceso de meteorización, pueden generar suelos residuales potencialmente erosionables, ya que su constitución es predominantemente arena de cuarzo y arena limo-arcillosa, provocando la formación de surcos, cárcavas y socavación de cauce.

El Informe Cuenca Cero (IPT, 1999a) indica que en 1999 el Meridiano contenía un punto de erosión en la Cuenca Turvo/Grande y veintitrés erosiones en la Cuenca São José dos Dourados, totalizando veinticuatro erosiones. Esta discrepancia se debe a que el área más grande del municipio se encuentra en la Cuenca de São José dos Dourados, aunque la sede pertenece a otra UGRHI (Unidades Hidrográficas para la Gestión de Recursos Hídricos). No hubo informes de erosión urbana.

En el mapeo realizado por la Alcaldía en 2018, se identificaron once puntos de erosión a nivel macro, aguas abajo y aguas arriba de cursos de agua y aguas abajo de líneas de drenaje, cerca de puentes. Estos lugares siempre estuvieron sujetos al tráfico de vehículos pesados y acciones antrópicas; Problema que ya había sido diagnosticado por el Plan de Macrodrenaje Rural Meridiano. En cuanto al área urbana, se plantearon tres puntos, como se mencionó anteriormente (MERIDIANO, 2015, 2018).

Meridiano tiene pocos procesos erosivos, considerando que hay diecinueve entre el levantamiento del Informe Cuenca Cero y el PMSB. Sin embargo, parece que el número de erosiones urbanas ha aumentado como resultado del proceso de expansión desordenada y el

mal uso de la tierra. Los puntos A, B y C pertenecen todos a la periferia y son producto de una gestión ineficiente en la captación de escorrentías superficiales en la ciudad que, combinado con el tipo de suelo en el que se ubica, puede empeorar y perjudicar la seguridad de la población y la economía local.

Según la superposición de los mapas a escala 1:250.000 elaborados por los Comités de Cuenca del Río Turvo / Grande y São José dos Dourados para la elaboración del Informe Cero, Meridiano se ubica en un territorio con gran susceptibilidad a la erosión, siendo el área urbana pertenece alta la calificación muy alta, con incidencia de erosión laminar intensa y acelerada.

Además, los suelos residuales provenientes de las rocas areniscas tienen características friables, permeables y, en consecuencia, erosionables. La característica de un suelo poroso y permeable también puede exponer el área a la contaminación, debido a su baja capacidad para retener y eliminar contaminantes (CPRM, 2009) y este punto merece más estudios.

A la vista de los hallazgos, se resume que, por las características geológicas locales, es importante realizar obras de control de procesos erosivos e implementar instrumentos para ordenar la expansión de la ciudad y el desarrollo del drenaje urbano.

El PMSB (MERIDIANO, 2018) señaló varios factores a considerar para el sistema de drenaje y gestión de aguas pluviales urbanas, tanto estructurales (limpieza de la red de micro-drenaje, frecuencia de ejecución y obras necesarias) como no estructurales (creación de entidad para control y desarrollo de drenaje urbano, recomendaciones de acciones de gestión y creación de un servicio de verificación y análisis de proyectos). Sin embargo, se comprueba que aún queda un largo camino por recorrer para la recuperación y prevención de erosiones.

Estos hallazgos tienen como objetivo orientar a la población y al gobierno para mejorar las medidas tomadas para contener la erosión urbana, además de brindar apoyo para un breve conocimiento de la geodiversidad y sus implicaciones para la formación de estos procesos. Es necesario realizar estudios más profundos con el fin de aportar mayor detalle sobre las características geoambientales y así asegurar una mayor información para la gestión del uso y ocupación del suelo.

5 CONCLUSIONES

Este estudio permitió verificar cómo se ha incluido el tema de los procesos erosivos en la urbanización del municipio Meridiano-SP y cómo se ha tratado. Las concentraciones de puntos de erosión se encuentran en el área de expansión de la ciudad, evidenciando la necesidad de adoptar medidas constructivas para captar y disipar las aguas pluviales y residuales en nuevos urbanismos, como sumideros de energía y alcantarillado, rubros que deben seguir una estandarización de lineamientos y proyectos de saneamiento.

El Plan Municipal de Saneamiento Básico resultó completo, ya que identificó los problemas detectados y propuso mejoras a partir de la descripción de las acciones a realizar y el detalle de estructuras para galerías y disipadores de energía. Sin embargo, sigue siendo un desafío para el poder público adoptar medidas para contener el fenómeno, como se puede apreciar en las visitas a los puntos de erosión y su estado actual.

Las características geológicas y geotécnicas de la ciudad, tales como material superficial residual de la Formación Vale do Rio do Peixe, con cuarzo-arena y limo-arcillo-arena,

suelos locales del tipo arcillo rojo-amarillo, abruptos, relieve de colinas medianas, e incluso la vegetación local (sotobosque; campos agrícolas / de pasto) son favorables a la formación de erosión, ya sea por fuerzas naturales o por interferencia humana. Por tanto, tener conocimiento de la geodiversidad local puede ser una herramienta de gestión útil, capaz de proporcionar datos suficientes para determinar la vulnerabilidad o potencial de un área.

El estudio de la expansión del área urbana con las imágenes del CBERS 4 resultó ser eficiente, pero el proceso de vectorización del área urbana no es lo suficientemente preciso para delimitar todas las clases de uso del suelo, ya que la resolución espacial y la composición del color limitan la actividad. Además, para la clasificación supervisada, la composición utilizada no fue eficiente para delimitar el área urbana y distinguirla de otras áreas. En futuras etapas de la investigación se buscará un estudio de ocupación del suelo mediante clasificación supervisada con corrección de errores y el uso de imágenes de otros satélites con mayor resolución espacial para monitorear cambios en la estructura urbana y en diferentes clases de uso.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Maestra en Ingeniería Urbana Ileana Osório Acosta por revisión de los términos técnicos geológicos y escrita en español. Este trabajo se llevó a cabo con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamiento 001.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 987-995, 2001. DOI 10.1590/S0100-06832001000400021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/YWThqjjLHcvMVH3WrVDkRqp/abstract/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 06 ago. 2021.

BEZERRA, M. A. *et al.* Análise geoambiental da região de Marília, SP: suscetibilidade a processos erosivos frente ao histórico de ocupação da área. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 425-440, 2009. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/3677>. Acesso em: 23 ago. 2021.

BRASIL. **Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF: Casa Civil, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 6 set. 2021.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa geodiversidade do Estado de São Paulo**. Escala 1:750:000. São Paulo: CPRM, 2009. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14713>. Acesso em: 26 jul. 2021.

_____. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:750:000. São Paulo: CPRM, 2006. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/2966>. Acesso em: 26 jul. 2021.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. Campinas, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>. Acesso em: 25 ago. 2021.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 55, 2004, p. 53-66. DOI 10.5380/geo.v55i0.4283. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/4283>. Acesso em: 08 set. 2021.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 723-734, 2000. DOI 10.25249/0375-7536.2000304717728. Disponível em: <http://papegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/10990/10444>. Acesso em: 28 jul. 2021.

GNU General Public License. **QGIS**: A Free and Open Source Geographic Information System. Versão 3.16. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>. Acesso em: 26 ago. 2021.

GOOGLE EARTH PRO. **Versão 7.3**. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/versions/>. Acesso em: 26 ago. 2021.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. Chichester: John Wiley and Sons, 2004. 434 p.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, publicação online, v. 19, p. 93-114, 1996. DOI 10.11137/1996_0_93-114. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/index.php/aigeo/article/view/6168>. Acesso em: 22 ago. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=35&dados=1>. Acesso em 20 set. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 maio 2021.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. **Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. São Paulo: IGC, 2014. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html>. Acesso em: 20 maio 2021.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acesso em: 25 ago. 2021.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Carta geotécnica do Estado de São Paulo**. 1. ed. São Paulo: IPT, 1994. Escala 1:500.000. Folha São José do Rio Preto.

_____. **Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande - Relatório Final nº 45.015**. São Paulo: IPT, 1999a.

_____. **Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados - Relatório Final nº 45.675**. São Paulo: IPT, 1999b.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. *E-book* (216 p.).

MERIDIANO. **Lei nº 1278, de 15 de agosto de 2019**. Institui o Plano Municipal de Saneamento Básico e dá outras providências. Meridiano: Câmara Municipal, 2019.

MERIDIANO. Prefeitura Municipal. **Plano de macrodrenagem rural de Meridiano**. Meridiano: EGATI Engenharia, 2015.

_____. Prefeitura Municipal. **Produto 4 (P4) - Plano Municipal Específico Dos Serviços De Saneamento Básico Município: Meridiano, UGRHI 15, Água/Esgoto/Drenagem Urbana, Lote 4**. Meridiano: Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos de São Paulo, ENGECORPS, MAUBERTEC, 2018.

PARK, S. *et al.* Soil erosion risk in Korean watersheds, assessed using the revised universal soil loss equation. **Journal of Hydrology**, v. 399, n. 3-4, p. 263-273, 2011. DOI 10.1016/j.jhydrol.2011.01.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411000187>. Acesso em: 24 ago. 2021.

ROCHA, W. S. *et al.* Erosão urbana: microbacia do Córrego Olho D'água, município de Goiânia, Goiás. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 4, n. 1, p. 64-76, 2018. DOI 10.18224/baru.v4i1.6202. Disponível em: <http://revistas.pucgoias.edu.br/index.php/baru/article/view/6202>. Acesso em: 24 ago. 2021.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. v. 1 rev. e aum. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118p. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/2017/09/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>. Acesso em: 06 ago. 2021.

ROTTA, C. M. S.; ZUQUETTE, L. V. Erosion feature reclamation in urban areas: typical unsuccessful examples from Brazil. **Environmental Earth Sciences**, published online, n. 72, p. 535-555, 2014. DOI 10.1007/s12665-013-2974-y. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-013-2974-y>. Acesso em: 22 ago. 2021.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e aum. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 06 ago. 2021.

SIGALOS, G. *et al.* Soil erosion and degradation in a rapidly expanding industrial area of Eastern Mediterranean basin (Thriasio plain, Greece). **Nat Hazards** v. 82, n. 3, p. 2187-2200, 2016. DOI 10.1007/s11069-016-2288-y. Disponível em: <https://link-springer-com.ez31.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007%2Fs11069-016-2288-y#citeas>. Acesso em: 24 ago. 2021.

SILVA, J. E.; GUERRA, A. J. T. Análise da expansão urbana e das modificações no uso do solo nas sub-bacias do Rio Tintiba e do Córrego do Catonho, Jacarépaga, RJ e suas implicações sobre a erosão do solo. **Sociedade & Natureza**, v. 12, n. 24, p. 5-20, 2000. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/28792>. Acesso em: 23 ago. 2021.

SOUSA, B. A. A. *et al.* Análise do crescimento urbano da cidade de Cajazeiras-PB através de imagens do RapidEye. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 65020-65033, 2020. DOI 10.34117/bjdv6n9-075. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/16120>. Acesso em: 24 jul. 2021.