

Zonificación Ecológico-Económica de una pequeña cuenca de captación ubicada en el sur de Brasil: desarrollo y comparación 3 años después de la propuesta

Vania Elisabete Schneider

veschnei@ucs.br

*Instituto de Saneamento Ambiental
Universidade de Caxias do Sul
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130-Caxias do Sul-Brasil*

Geise Macedo dos Santos

gmsantos5@ucs.br

*Instituto de Saneamento Ambiental
Universidade de Caxias do Sul
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130-Caxias do Sul-Brasil.*

Denise Peresin

dperesin@ucs.br

*Instituto de Saneamento Ambiental
Universidade de Caxias do Sul
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130-Caxias do Sul-Brasil.*

Sofia Helena Zanella Carra

sofiazcarra@gmail.com

*Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
Max-Eyth-Allee 100,14469-Potsdam-Alemania.*

Gisele Cemin

gcemin3@ucs.br

*Instituto de Saneamento Ambiental
Universidade de Caxias do Sul
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130-Caxias do Sul-Brasil.*

Catiucha Luana da Silva Rehbein

clsrehbein@ucs.br

*Instituto de Saneamento Ambiental
Universidade de Caxias do Sul
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130-Caxias do Sul-Brasil.*

Resumen

La legislación y las tendencias naturales de los usos del suelo son algunos de los puntos más relevantes a considerar durante el proceso de planificación. En Brasil, la Ley n. 4.297/2002 consiste en un instrumento que instruye la elaboración de una Zonificación Ecológico-Económica para el manejo de diferentes regiones. La Cuenca del Arroyo Chácara está ubicada en el Municipio de Vacaria, en el Sur de Brasil y se utiliza como cuenca de captación, por lo que se identificó la necesidad de una definición de zonificación específica debido a su importancia en el abastecimiento público de agua. Con base en las legislaciones, mapeo e investigación de campo se elaboró una propuesta de Zonificación Ecológico-Económica. Las clases de zonificación consideradas el perfil agrícola, las necesidades urbanas y, industriales, el potencial turístico y las áreas de protección. Las áreas más representativas corresponden a las zonas consolidada de uso agroforestal (55 % del área de la cuenca), de preservación permanente de recursos hídricos y humedales, zona de protección de campos y remanentes de bosques nativos (27 %).

En la actualidad se observó la pérdida de áreas consideradas naturales en la zonificación. Los resultados proporcionaron una visión macro del área, apoyando al municipio en las decisiones relacionadas con los usos del área de acuerdo con la legislación y la limitación natural para seguir utilizando sus recursos.

Palabras clave: Sistema de información geográfica (SIG), planificación territorial, recursos hídricos

Abstract

Legislation and natural trends of soil uses are some of the most relevant points to be considered during the planning process. In Brazil, the Law n. 4,297/2002 consists of an instrument that instructs the elaboration of an Ecologic-Economic Zoning to manage different regions. The Chácara Watershed is located in the Municipality of Vacaria, in Southern Brazil and is used as catchment basin, therefore, it was identified the necessity of a specific zoning definition due to its importance in public water supply. Based on the legislations, mapping and field research were elaborated an Ecologic-Economic Zoning proposal. Zoning classes considered agricultural profile, urban and industrial needs, touristic potential, and protection areas. The major areas correspond to the classes of consolidated agricultural production and pasture use zone (55 % of the watershed area), water resources and wetland permanent protection zones, grasslands, and native forests remaining protection zone (27 %). Although, nowadays it was observed the loss of natural areas considered in the zoning. The results provided a macro vision of the area, supporting the municipality on decisions related to the area's uses in accordance with the legislation and the natural limitation to keep using its resources.

keywords: Geographic Information System (GIS), territorial planning, water resources

1. Introducción

En el contexto de la interacción entre el ser humano y el medio ambiente, es comprensible que las acciones cuidadosamente planificadas por las personas conduzcan a impactos ambientales predecibles y manejables. Sin embargo, en la historia, vemos esa falta de planificación adecuada, creando impacto en el paisaje primero y después gestionando las consecuencias. En Brasil, los intentos iniciales de establecer Planes Maestros tuvieron lugar recién en el siglo XX, especialmente considerando el Plan Piloto de Brasilia, en 1957, previo a la obligatoriedad del desarrollo de Planes Maestros en este país (COSTA, 1985; PIRES, 2012). Recién en 1988, fue establecido como plan obligatorio en la Constitución brasileña para municipios mayores de 20 mil habitantes y los procedimientos para su elaboración fueron definidos por el Estatuto de la Ciudad (BRASIL, 1988; BRASIL, 2001). Si bien, la Zonificación Ecológico-Económica fue definida en 1981 por la Ley n. 6.938/1981 (BRASIL, 1981) anterior al establecimiento de la Constitución brasileña (BRASIL, 1988), como instrumento de la Política Nacional de Medio Ambiente (BRASIL, 1981). La terminología fue cambiada a Zonificación Ecológico-Económica por el Decreto n. 4.297/2002 (BRASIL, 2002). El Decreto n. 4.297/2002 (BRASIL, 2002) contine los criterios que se deben considerar para crear una Zonificación Ecológico-Económica. La ley definió la zonificación como instrumento obligatorio a ser utilizado en la organización del territorio para asegurar la calidad ambiental mediante el establecimiento de medidas y patrones destinados a la protección ambiental. El Decreto exige una amplia participación democrática de la población durante el proceso,

para validar los datos y compartir el conocimiento y la responsabilidad. La escala de detalles se determina en el Decreto, así como la importancia del uso de Sistemas de Información Geográfica y movilización social. Sobre el contenido de la zonificación, el área debe dividirse en zonas considerando la protección, conservación y preservación de los recursos naturales y el desarrollo sostenible. La potencialidad y tendencia del área y las fragilidades deben ser consideradas en cada zona. La Zonificación Ecológico-Económica dirige la planificación pública, por lo tanto, implicando especialmente en el uso en áreas amplias, como municipios, cuencas hidrográficas, áreas ambientales importantes, por ejemplo. Considerando esto, el uso de la cartografía y el geoprocetamiento consisten en herramientas prácticas, rápidas y precisas para evaluar el territorio. Longley et al. (2012) describen la importancia del uso de SIG (Sistema de Información Geográfica) en un entorno gubernamental, pasando del gobierno federal al gobierno local y las comunidades, el uso de SIG varía desde la auditoría y la inspección hasta la prestación de servicios locales, respectivamente. Las aplicaciones de SIG para servicios locales son discriminadas por los autores como desarrollo económico, transporte, vivienda, infraestructura, salud, tributación, seguridad pública, ordenamiento territorial (contemplando zonificaciones), recreación, monitoreo ambiental, manejo de emergencias y geodemografía (LONGLEY et al., 2012). Según Lillesand, Kiefer y Chipman (2008), el uso y la cobertura del suelo constituyen un factor importante para la planificación y gestión de un área y un elemento fundamental para entender la Tierra como sistema. A través del uso del suelo y la cobertura del suelo se hace evidente las tendencias de uso considerando los intereses sociales y económicos. Los mismos autores explican la terminología, el término “uso” considera las clases antrópicas y el término “cobertura” se refiere a la cobertura natural del área. La elaboración del mapa de uso y cobertura del suelo utiliza datos de teledetección y sistemas de información geográfica para procesar datos georreferenciados (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2008). Y una de las aplicaciones del mapa de uso y cobertura del suelo, es que se utilizará como base de datos para elaborar la zonificación. El Sistema de Información Geográfica (SIG) es un software que reúne herramientas destinadas a crear, procesar y administrar datos georreferenciados (MOREIRA, 2005), es decir, datos ubicados en la superficie terrestre a través de coordenadas. En términos generales, los SIG son herramientas que mejoran la eficiencia y la efectividad del tratamiento de la información relacionada con aspectos y eventos geográficos (LONGLEY et al., 2012). A pesar de su uso común, la Zonificación Ecológico-Económica se puede utilizar para fines específicos. En el municipio de Vacaria, ubicado en el sur de Brasil, en la región noreste del estado de Rio Grande do Sul, el 98% de sus habitantes se abastecen de agua extraída de una pequeña cuenca de captación (SNIS, 2015). Aunque en 2007 se publicó una Ley Municipal (VACARIA, 2007) definiendo las reglas para la protección de las cuencas hidrográficas, el gobierno y la población se dieron cuenta de la importancia del desarrollo de un diagnóstico y pronóstico ambiental completo de esta área que culminó con la propuesta de zonificación de la cuenca. Esta necesidad se refiere especialmente a los conflictos de intereses existentes en la cuenca, relacionados con las presiones urbanas y agrícolas hacia los espacios naturales y los recursos hídricos que abastecen a casi toda la población. Una evaluación y reglamentación actualizada y completa guiaría las decisiones del gobierno municipal. Posterior a la propuesta de una zonificación, es importante monitorear la aplicación del instrumento. Así, este trabajo presenta el proceso de elaboración y resultado de la Zonificación Ecológico-Económica de la Cuenca del Arroyo Chácara, Vacaria, Estado de Rio Grande do Sul y la

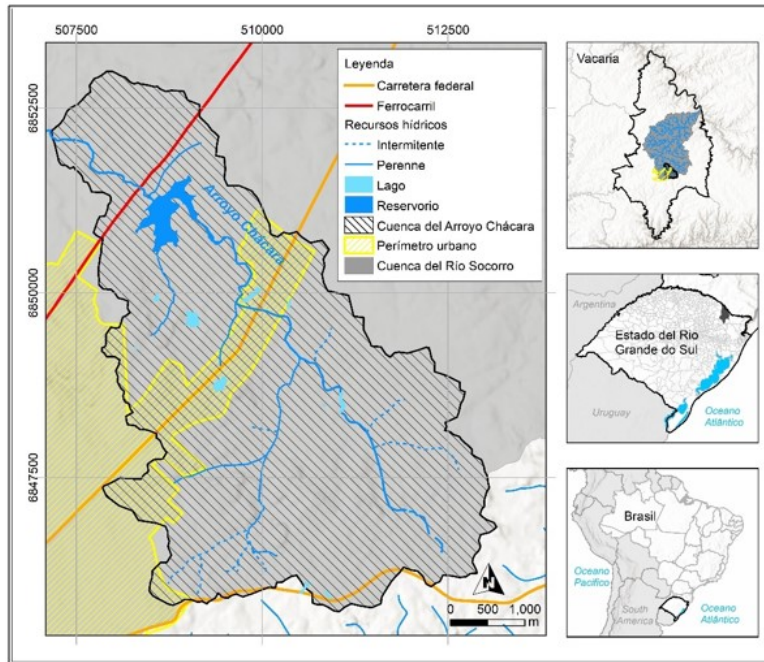


Figura 1: Ubicación de la Cuenca del Arroyo Chácara. La cuenca del Arroyo Chácara está ubicada en la cuenca del Río Socorro, en el municipio de Vacaria, Estado del Rio Grande do Sul, Brasil. Fuente: los autores.

comparación entre la situación de uso y cobertura del suelo antes del proceso (2016) y tres años más tarde la propuesta (2021).

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El municipio de Vacaria está ubicado en la Región Noreste de Rio Grande do Sul, en el Estado más austral de Brasil. Mientras que el municipio tiene 2.123 km², la cuenca del Arroyo Chácara solo tiene (Figure 1) 1.10 % (23.48 km²) de su área. La cuenca abastece al 98 % de sus habitantes (IBGE, 2018; SNIS, 2015), siendo 64.585 habitantes abastecidos en 2015. Una carretera federal y un ferrocarril cruzan la cuenca, así como hay un distrito industrial y también existe un barrio dentro de su área. Además, hay cultivos agrícolas temporales, como maíz, soja, manzana y otros en toda la cuenca. Según Bertê et al. (2016), la región donde se ubica Vacaria, se denomina COREDE Campos de Cima da Serra y los COREDEs son foros regionales de discusión estratégica que apuntan al desarrollo armónico sustentable de la región y consecuentemente a la mejora de la calidad de vida (BÜTTENBENDER et al., 2011). Esta región tiene un perfil agrícola, destacando el cultivo de uva y manzana, granos (soja, maíz y trigo), papa, y la producción de ganado y ganado lechero.

2.2 Metodologías de zonificación

En Thomas (2012), para crear la zonificación ambiental del municipio de Arroio do Meio, Brasil, el autor analizó las características físicas, bióticas y antrópicas en la parte diagnóstica. El autor adaptó la realidad del municipio en cuatro zonas previamente establecidas en la obra de (2004): Zona de interés de protección ambiental, Zona de interés de control ambiental, Zona de interés de rehabilitación ambiental y Zona de interés de adecuación ambiental. La primera zona (Protección Ambiental) consiste básicamente en áreas de cobertura natural, la segunda (Control Ambiental) incluye áreas agrícolas, pero también áreas naturales conservadas, la tercera (Rehabilitación Ambiental) presenta características similares a la Zona de Interés de Control Ambiental, pero en una etapa más avanzada de degradación y la Zona de Interés de Adecuación Ambiental indica las áreas de mayor nivel de degradación de todas. Para identificar estas áreas se utilizó el relieve, las áreas de preservación permanente y el mapa de uso y cobertura del suelo. Sin embargo, esta metodología no se consideró adecuada para el desarrollo de este trabajo. Pero la cuenca del Arroyo Chácara, corresponde a un área pequeña, con situaciones específicas que se deben considerar, por ejemplo, hay un área que recibe el Rodeo Internacional de Vacaria, un impacto recurrente con actividades específicas que se desarrollan allí. Por tanto, las zonas y criterios utilizados por Thomas (2012) no son suficientes para evaluar esta área. Silva Neto (2013) creó una herramienta para subsidiar la planificación del uso del suelo en la Cuenca del Río Salobra, Brasil. El área de estudio tiene 2.350 km², cien veces mayor que el área de estudio de este trabajo. La elaboración de la zonificación fue totalmente automática a través de las operaciones matemáticas con los mapas adoptando la metodología de fragilidad de suelos, pluviometría, relieve, litología y uso y cobertura del suelo, adoptando pesos para cada clase en cada parámetro, resultando en cinco zonas: consolidación, consolidación/conservación, conservación, preservación y preservación/recuperación. Esta metodología tampoco abarca la particularidad de esta cuenca. La creación automática de clases, las descripciones de las zonas y el tamaño de la cuenca no resultarían en una zonificación que representaría la realidad de esta cuenca. Lima y Oliveira (2018) desarrollaron la propuesta de una zonificación para el municipio de Caraguatatuba, Brasil, adoptando una metodología similar a Silva Neto (2013), por lo que las zonas definidas en la obra y el carácter automático no concilian la necesidad de esta cuenca. Ferreira, Lima y Corrêa (2017), para lograr una zonificación de la Cuenca del Río Moju, adoptaron una metodología más inadecuada aún a esta cuenca, considerando subcuencas enteras como unidades para delimitar la zonificación. Así, evaluando estas metodologías y las diferentes necesidades de cada trabajo, optamos por unir algunas metodologías de análisis de la cuenca para brindar datos para identificar y delimitar las zonas de nuestra cuenca, en especial lo Decreto n. 4.297/2002 y considerando las especificidades de la cuenca de captación del Arroyo Chácara.

2.3 Proceso

La Zonificación Ecológico-Económica se elaboró según las definiciones del Decreto n. 4.297/2002 (BRASIL, 2002). En la fase de diagnóstico se evaluaron las particularidades de la cuenca. La Figure 2 representa la secuencia de actividades relacionadas con esta obra, considerando el proceso de elaboración de la zonificación y el análisis posterior de la obra. Primero, ocurrió la elaboración manual del mapa de uso y cobertura del suelo basado ini-

cialmente en la imagen de Google Earth, de 2016 donde se identificaron las clases área urbana, bosque nativo, cultivo permanente, cultivo temporal, pastizales, recursos hídricos, silvicultura y suelo desnudo. Posteriormente se identificó la necesidad de un uso y cobertura del suelo de alta resolución para verificar los límites de las clases y la existencia de otras clases relevantes. Por lo tanto, se generó un nuevo mapa de uso y cobertura del suelo basado en vehículo aéreo no tripulado (Unmanned aerial vehicle - UAV) con 10 centímetros de píxel, creado por el Instituto de Saneamiento Ambiental, que también elaboró este trabajo. El uso y la cobertura del suelo del UAV también se generó manualmente e identificó las clases camino de tierra, carretera, carretera federal, cultivo permanente, cultivo temporal, suelo desnudo, edificios, ferrocarril, humedales, silvicultura, pastizales nativos, pastos/aceras, recursos hídricos y vegetación arbórea. Luego, analizando los mapas de uso y cobertura del suelo, notando la gran presencia de cultivos temporales y la posibilidad de erosión, optamos por utilizar una adaptación de la metodología de Ross (1994), utilizando directamente el mapa de pérdida de suelo y el uso y cobertura de suelo. La metodología de Ross (1994) es una metodología empírica para identificar la fragilidad considerando las características físicas del área reclasificada como fragilidad ambiental baja, moderada, alta y muy alta (Figura 2). Por tanto, la metodología RUSLE (WISCHMEIER; SMITH, 1965) se aplicó para calcular la pérdida de suelo. Primero, es necesario elaborar los parámetros de la siguiente ecuación aislados. La metodología RUSLE implica la multiplicación de mapas como muestra la ecuación.

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

A ser,

- A: pérdida de suelo calculada, medida en t/ha.año;
- R: factor de precipitación y escorrentía medido en MJ.mm/(ha.hr.año), factor que expresa la capacidad de la lluvia para causar erosión;
- K: factor de erosionabilidad del suelo, medido en t.hr/(MJ.mm), factor relacionado con las propiedades inherentes del suelo;
- L: factor de longitud de pendiente, adimensional, relacionado con la longitud de pendiente de ladera;
- S: factor de inclinación de la pendiente, adimensional, relacionado con la pendiente de la ladera;
- C: factor de cobertura y manejo, adimensional, factor que varía de cero para las coberturas que protegen el suelo, hasta uno, para las regiones de suelos expuestos;
- P: factor de práctica de apoyo, la relación de pérdida de suelo considerando la práctica de apoyo (adimensional). Para obtener el factor R, erosividad pluvial, es necesario analizar la información existente sobre precipitaciones mediante la siguiente ecuación.

$$EI = 89,823.(Pm2/Pa)^{0,759} \quad (2)$$

Dónde,

- EI: promedio mensual del índice de erosión en MJ.mm/(hr.ha) al mes considerado;
- Pm: precipitación media mensual en milímetros (mm) del mes considerado;
- Pa: precipitación media anual, en milímetros (mm).

El factor EI utilizó los datos de precipitación de la estación meteorológica Bom Jesus, en el Estado de Rio Grande do Sul, próximo a el municipio de Vacaria. La erosionabilidad del suelo (K), por otro lado, se obtuvo de las bibliografías existentes, con valores de erosionabilidad adoptados para cada tipo de suelo presente en la cuenca. Los factores C (factor relacionado con el uso y cobertura del suelo) y P (factor relacionado con la práctica conservacionista adoptada) también fueron adoptados con base en la bibliografía consultada. Los datos base fueron el mapa de uso y cobertura del suelo del UAV, y los datos de relieve se obtuvieron a través de la base cartográfica del Estado de Rio Grande do Sul (HASENACK; WEBER, 2010). Los factores L y S se calcularon mediante el análisis del terreno, utilizando la expresión algebraica de Mendonça et al. (2014) y Bertoni y Lombardi Neto (2012).

$$L = \sqrt{P^2 + \left(\frac{D}{100}P\right)^2} \quad (3)$$

A ser,

- L: pendiente-longitud (adimensional);
- P: tamaño del pixel;
- D: pendiente en porcentaje.

$$LS = 0,00984.L^{0,63}.D^{1,18} \quad (4)$$

A ser,

- LS: factor topográfico (adimensional);
- L: pendiente-longitud (adimensional);
- D: pendiente en porcentaje.

Luego, ambos mapas (pérdida de suelo y uso y cobertura del suelo) fueron reclasificados, utilizando la herramienta Reclass en el software Idrisi, como fragilidad baja, moderada, alta y muy alta. Por ejemplo, las áreas donde la pérdida fue inferior a 10 t/ha.año se clasificaron como de baja fragilidad (Figure 2). En cuanto al uso y cobertura del suelo, las áreas de muy alta fragilidad fueron consideradas como vegetación nativa, debido a la necesidad de protección y relevancia ambiental y la consideración de baja fragilidad como suelo desnudo y área urbana se relaciona con el uso antrópico. Los resultados de pérdida de suelo y usos del área consolidada, que significan áreas sin posibilidades de reordenamiento según ley brasileña n. 12.651/12, fueron comparadas con leyes federales, estatales y municipales para compatibilizar el uso de la tierra, especialmente la ley municipal n. 2.414/2007.

La ley municipal n. 2.414/2007 regulada el uso de la cuenca del Arroyo Chácara, existen en esta la identificación del área, delimitación (áreas de protección), usos del agua, preservación del área, instalación de nuevas industrias o expansión, manejo de residuos (sólidos, líquidos y gaseosos), depósitos de químicos y combustibles, áreas destinadas a la agricultura y ganadería, nuevo núcleo habitacional o expansión, rutas de transporte o creación de las mismas y daños al medio ambiente y monitoreo. Esta Ley sirvió como base para la elaboración de las proposiciones, permisos y restricciones de las zonas, que no son el foco de este trabajo. También se utilizó para delimitar las áreas de preservación permanente, considerando 100 metros como áreas de preservación permanente como en las áreas de protección descrito en la Ley.

Después de la creación de los mapas de uso y cobertura del suelo, el mapa RUSLE, los mapas de fragilidades y la discusión del requerimiento de necesidades sociales, ambientales y económicas por parte del gobierno y la población, se sugirió y delimitó las siguientes clases: zona consolidada de uso agroforestal, zona de interés turístico y recreativo, zona de protección de campos y remanentes de bosques nativos, zona de preservación permanente de humedales, zona de preservación permanente de recursos hídricos, zona industrial consolidada, zona perimetral urbana, y recursos hídricos.

Terminado el mapa, proposiciones, permisos y restricciones, los resultados fueron presentados a la población y gobierno municipal en reuniones y audiencia pública para evaluar y ajustar la obra y finalmente aprobar los productos finales en la audiencia pública final.

Todo el proceso se concluyó en 2018 y ahora se elaboró el uso del suelo y la cobertura del suelo en base a la imagen de Google Earth al año 2021, elaborado manualmente. El mapa de uso y cobertura del suelo de 2021 se comparó con el mapa de uso y cobertura del suelo de 2016 y la zonificación, para identificar la eficacia de la zonificación.

El mapa de uso y cobertura del suelo de 2021 identificó área urbana, bosque nativo, cultivo permanente, cultivo temporal, pastizales, recursos hídricos, silvicultura y suelo desnudo. Los mapas se superpusieron a través cruzamiento en el software Idrisi que identifica el porcentaje de cambio y ocupación de cada clase y zona.

3. Resultados

3.1 Área de estudio Zonificación Ecológico-Económica

El uso y la cobertura del suelo de 2016 (Figure 3) generados a partir de la digitalización de imágenes de Google Earth proporcionaron la información previa del avance del trabajo. En ese momento, la cuenca estaba compuesta especialmente por pastizales (40 %) y cultivos temporales (40 %). Existían prados y bosques nativos de protección de los recursos hídricos, aunque había bandas de protección limitadas.

El mapa de uso y cobertura del suelo elaborado a partir de datos de UAV (2017) refinó los datos de uso y cobertura del suelo creados con base en los datos de Google Earth. Como resultado, el 51 % del área de la cuenca se definió como clase de cultivo temporal, coberturas naturales, como humedales, pastizales y vegetación arbórea, compuesta por 34 %. Otras clases identificadas, como suelo desnudo, carreteras federales, silvicultura, pastos/aceras, carretera de tierra, el cultivo permanente, el ferrocarril, la carretera y los recursos hídricos constituyeron el 15 %.

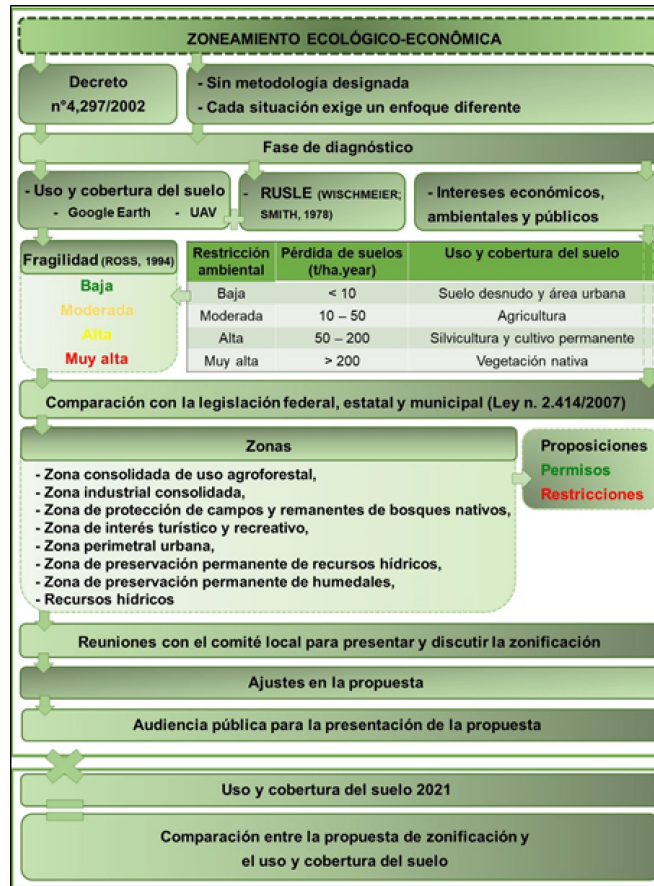


Figura 2: Metodología adoptada. La figura presenta los principales puntos adoptados para la elaboración de este trabajo. Fuente: los autores.

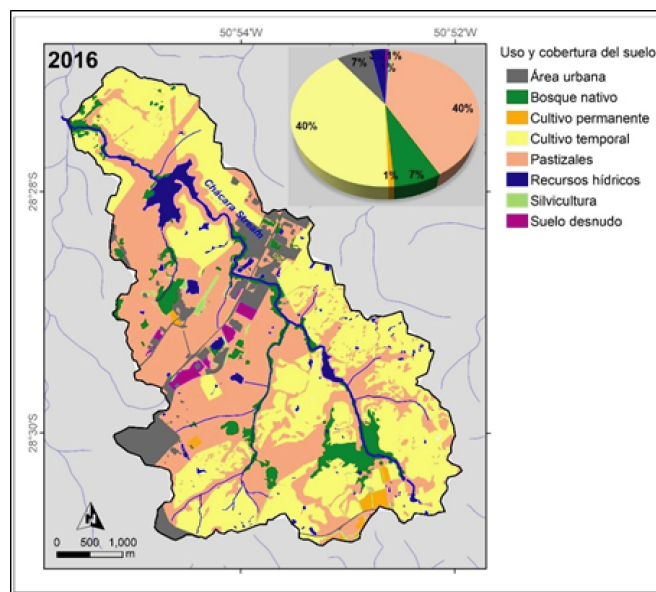


Figura 3: Mapa de uso y cobertura del suelo de 2016. Presenta la configuración de uso y cobertura del suelo en la cuenca del Arroyo Chácara. Fuente: los autores.

La reclasificación del mapa de uso y cobertura del suelo (Figure 4) se elaboró de acuerdo con la Figure 2, relacionada con las restricciones ambientales. La reclasificación señala como áreas más sensibles las áreas naturales, clasificadas como de muy alta fragilidad.

La Figure 5 contiene los resultados de la pérdida de suelo y su reclasificación. Considerando solo los resultados numéricos de la pérdida de suelo, es difícil identificar el impacto real de esta pérdida en la cuenca, aunque la reclasificación de fragilidad permite discriminar los puntos más frágiles identificándolos como clase de fragilidad muy alta. Aquellos (clases moderadas, altas y muy altas) constituyen el 9% del área de la cuenca. A pesar del alto porcentaje de áreas agrícolas, el potencial erosivo no contribuye mucho a la fragilidad de la cuenca.

El resultado del mapa de fragilidad (Figure 6) está especialmente determinado por la reclasificación del uso del suelo y la cobertura del suelo. El mapa de fragilidad indica 55% de clase de fragilidad baja, 7% de fragilidad moderada, 4% de fragilidad alta y 34% corresponde a fragilidad muy alta. El área más frágil representa las áreas naturales, por lo tanto, la elaboración de la zonificación debe considerar esas áreas con más cuidado que las otras.

La Figure 7 muestra el mapa de zonificación Ecológico-Económica y la ocupación de cada clase. La zonificación final resultante es similar al mapa de uso y cobertura del suelo y al mapa de fragilidad. Existía la preocupación por el mantenimiento de las áreas naturales remanentes, siendo incluidas en la zona de protección de campos y remanentes de bosques nativos, zona de preservación permanente de recursos hídricos y zona de preservación permanente de humedales. La zona consolidada de uso agroforestal, la zona perimetral urbana, la zona industrial consolidada representan áreas privadas o áreas públicas con uso antrópico consolidado. Un punto importante fue la creación de la zona de interés turístico

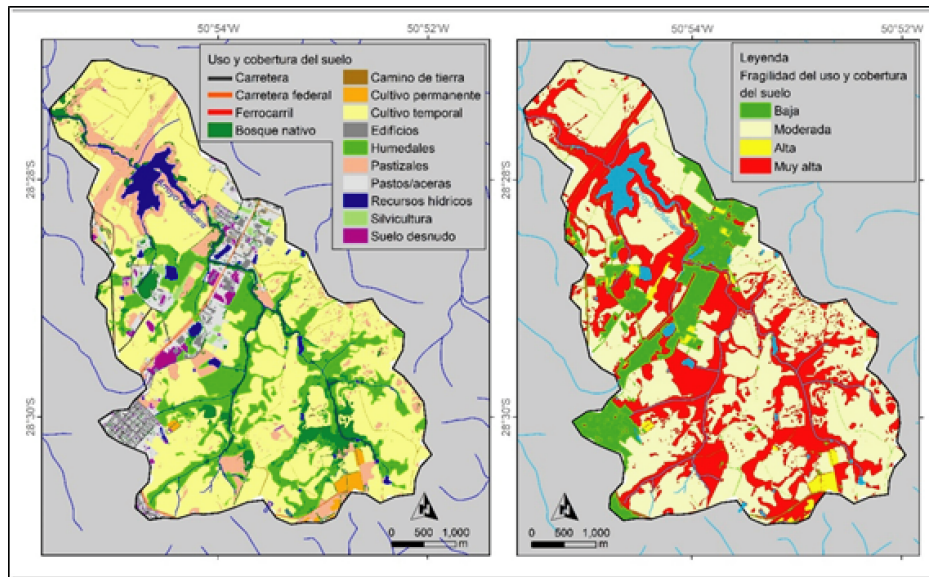


Figura 4: Mapa de uso del suelo y cobertura del suelo de UAV y su fragilidad. Presenta la configuración de uso y cobertura del suelo en la cuenca del Arroyo Chácara y la fragilidad del uso del suelo. Fuente: los autores.

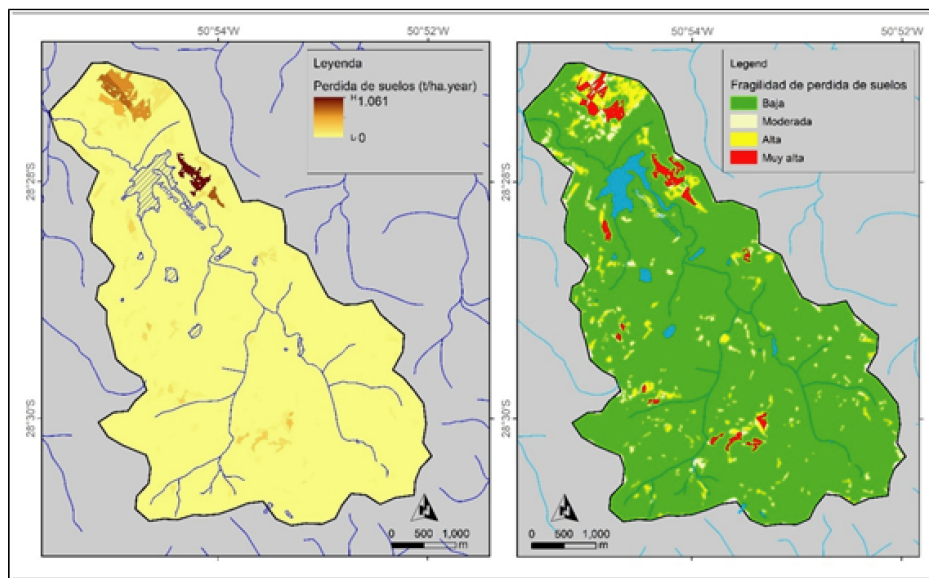


Figura 5: Pérdida de suelo y pérdida de fragilidad del suelo. Presenta la configuración de pérdida del suelo en la cuenca del Arroyo Chácara y la fragilidad de la pérdida del suelo. Fuente: los autores.

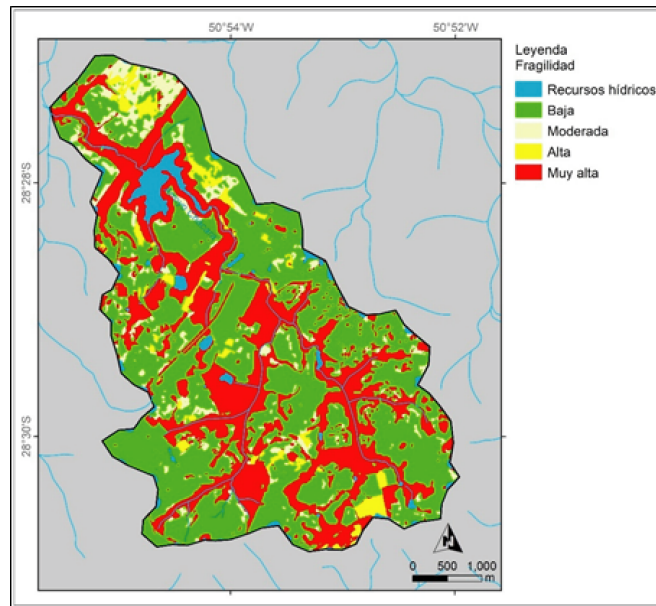


Figura 6: Mapa de Fragilidad de la Cuenca del Chácara. Presenta la conjunción de la fragilidad del uso del suelo y la fragilidad de la pérdida del suelo en la cuenca del Arroyo Chácara. Fuente: los autores.

recreativo, establecida debido al uso del área de la cuenca para un uso antrópico, el Rodeo Internacional de Vacaria. Aunque el rodeo ocurre cada dos años, el impacto en la cuenca no puede pasarse por alto. El punto más importante de la zonificación es a pesar de la identificación de las áreas ocupadas por cada zona, es la regulación de zonas. Por ejemplo, la zona de interés turístico y recreativo propone programas de manejo ambiental relacionados con residuos sólidos y efluentes. Permitiría a la población visitar y acampar en la zona, pero se restringirá la remoción de vegetación, así como el uso de equipos náuticos que utilicen diesel y gasolina o cualquier otra actividad que pueda dañar la fauna y la flora. El uso del área debe ser aprobado por el gobierno municipal. Las mayores áreas corresponden a las clases de producción agrícola consolidada y zona de uso agroforestal (55 % del área de la cuenca), recursos hídricos, zonas de protección permanente de humedales, pastizales y bosques nativos que quedan como zona de protección suman (27 %). Incluso cuando la zona representa un uso antrópico, se especificaron las condiciones de uso de cada zona para minimizar el impacto en la cuenca.

Nobre (2008) desarrolló un estudio similar en una cuenca hidrográfica ubicada en el Estado de São Paulo, Brasil. El autor resaltó la importancia de la Zonificación Ecológico-Económica como herramienta de ordenación y planificación ambiental ya que identifica zonas homogéneas de potencialidades y fragilidades de un área. El autor también observó la responsabilidad del gobierno en el establecimiento de la zonificación y su regulación.

Como resultado de una cuidadosa política de gestión, Pereira et al. (2012) evaluaron la calidad del agua de una cuenca hidrográfica ubicada en el Estado de Rio de Janeiro, Brasil. Se elaboró una Zonificación Ecológico-Económica y los autores concluyeron la necesidad

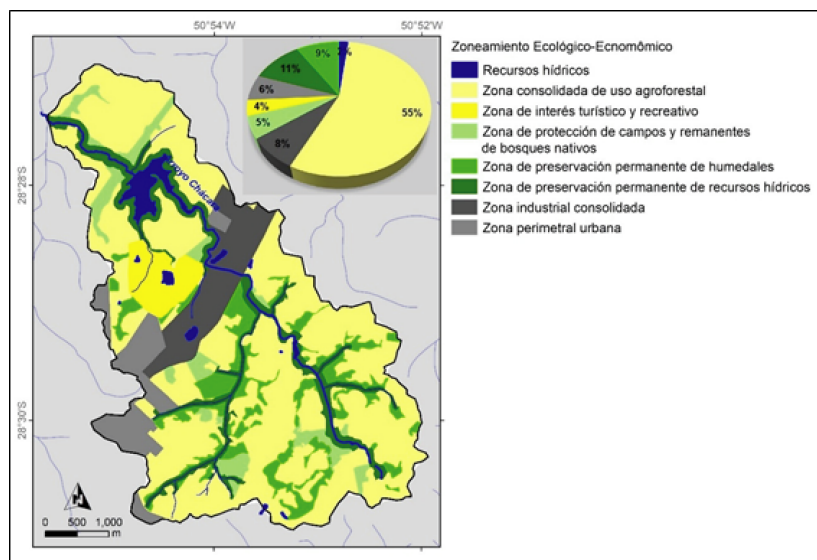


Figura 7: Zonificación Ecológico-Económica de la Cuenca del Chácara. Presenta la Zonificación Ecológica-Económica separando las zonas homogéneas para gobernar el uso. Fuente: los autores.

de mejorar la calidad del agua en las zonas relacionadas con usos de restricción ambiental. Por lo tanto, se podrían lograr resultados positivos similares en la cuenca, especialmente considerando que se utiliza el agua para abastecimiento de la población.

Es importante señalar que en 2020, en Vacaria, se aprobó la Ley n. 4.653/2020, que instituye el Plan Maestro de la cuenca de captación del Arroyo Chácara y da otros arreglos. Esta Ley sustituye a la Ley n. 2.414/2007. La nueva Ley contiene la Zonificación Ecológico-Económica presentada en este trabajo y los datos complementarios elaborados para el municipio.

3.2 Comparación

El uso y la cobertura del suelo de 2021 generados a partir de la digitalización de imágenes de Google Earth proporcionaron la situación actual de la cuenca (Figure 8). Actualmente, la cuenca está compuesta especialmente por pastizales (33 %) y cultivos temporales (48 %). Al analizar la Tabla 1, cuando las áreas de cada clase del mapa de uso y cobertura del suelo de 2016 se superpusieron con el mapa de uso y cobertura del suelo de 2021, el principal cambio observado fue la conversión de las 173,17 ha de pastizales en cultivo temporal, especialmente pequeñas manchas de pastizales antes observadas en medio de cultivos temporales y en la parte oeste de la cuenca.

Cuando el mapa de uso y cobertura del suelo de 2016 y 2021 se superpuso a la zonificación, los resultados fueron la pérdida de pastizales en la zona consolidada de uso agroforestal (-108,53 ha) y el consiguiente aumento del área de cultivo temporal en esta zona (+ 125,20). En la zona de protección de campos y remanentes de bosques nativos se identificó el incremento de la silvicultura (+33,72 ha) y la clase de cultivo permanente (+21,90 ha). Hubo

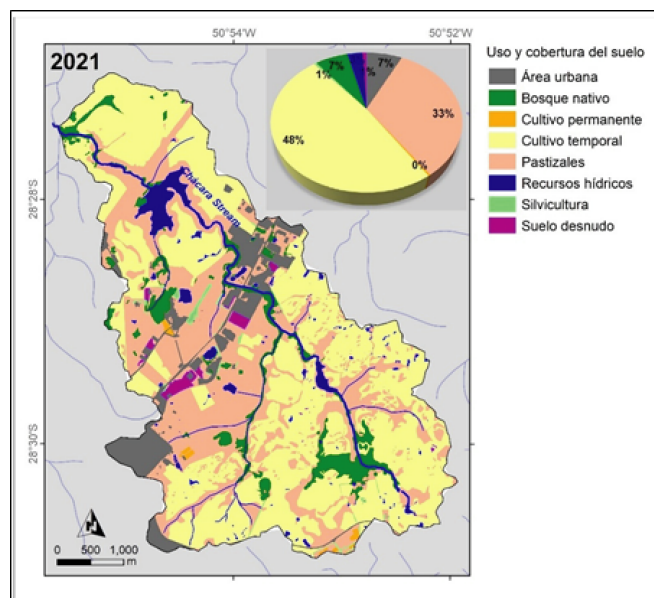


Figura 8: Mapa de uso y cobertura del suelo de 2021. Presenta la configuración de uso y cobertura del suelo en la cuenca del Arroyo Chácara en 2021. Fuente: los autores.

Clases	2021 - Área (ha)							
	Suelo desnudo	Silvicultura	Pastizales	Bosque nativo	Cultivo permanente	Cultivo temporal	Área urbana	Recursos hídricos
2016 - Área (ha)								
Suelo desnudo	16,83	0,00	0,02	-	-	-	3,56	-
Silvicultura	0,00	13,21	0,14	0,01	-	0,76	0,04	-
Pastizales	2,04	0,00	767,55	6,59	-	173,17	0,19	0,00
Bosque nativo	0,38	0,00	4,41	148,98	0,00	5,07	0,00	0,00
Cultivo permanente	-	0,00	0,03	-	6,98	12,21	0,00	-
Cultivo temporal	0,91	0,00	3,81	0,01	-	941,27	0,00	0,01
Área urbana	0,00	-	0,01	0,17	-	-	168,00	-
Recursos hídricos		-	0,02	0,00	-	-	0,00	70,35

Tabla 1: Uso y cobertura del suelo de 2016 x Uso y cobertura del suelo de 2021. Fuente: los autores.

la disminución de los pastizales (-23,34 ha) y del bosque nativo (-29,89 ha). En la zona del perímetro urbano se notó la disminución de pastizales (-32,72 ha) y el aumento de cultivos temporales (+32,73 ha). Las conversiones más preocupantes se encuentran en los pastizales

y en los bosques nativos que queda como zona de protección debido al carácter protector de esta zona. Así, esos cambios deben ser analizados puntualmente por el gobierno municipal y la Ley n. 4.653/2020 aplicada, lo que puede implicar en la reconversión del área a su cobertura anterior.

4. Conclusiones

La Zonificación Ecológico-Económica de la cuenca de captación del Arroyo Chácara brinda una visión macro del área, permitiendo al municipio decidir cómo utilizar el área respetando la legislación y la limitación natural de la cuenca para seguir utilizando sus recursos. Como resultado de este trabajo, el municipio implementó la Ley n. 4.653/2020 sobre la zonificación presentada en este trabajo. Es importante notar que el mapa de zonificación no es el único resultado ya que en la fase de diagnóstico, los mapas y la información recolectada proporcionaron la identificación de las áreas frágiles, las situaciones más preocupantes y el potencial económico del área de estudio. Esta información es esencial para la planificación y la tomada de decisiones. En cuanto a la zonificación, las zonas reflejan el uso y la cobertura del suelo de la cuenca como el aspecto principal de su elaboración, quedando para su regulación la principal herramienta para el mejoramiento de las condiciones ambientales de la cuenca del Chácara. Y analizando la situación actual, la pérdida de áreas naturales dentro de los pastizales y la zona de protección de campos y remanentes de bosques nativos es preocupante y debe evaluarse cuidadosamente y tomar medidas al respecto.

		Área (ha)						
Uso y cobertura del suelo - 2016		ZCUF	ZIC	ZPCRBN	ZITR	ZPU	ZPPRH	ZPPHRH
Área (ha)	Suelo desnudo		18,6					
		1,73	7	0,00	-	-	-	0,01
	Silvicultura	5,90	1,66	0,70	5,40	0,14	0,15	0,20
	Pastizales	305,27	66,3		55,3	76,6		
			1	87,12	2	8	173,57	184,55
	Bosque nativo		12,8		17,1			
		19,44	9	30,56	7	2,26	63,23	13,32
	Cultivo permanente	17,41	-	0,02	1,71	0,06	-	0,01
	Cultivo temporal	918,68	6,47	240,00	0,12	-	4,48	13,78
Área urbana		69,2			67,3			
	22,01	3	0,57	8,62	9	0,09	0,29	
Recursos hídricos	12,63	4,81	0,67	0,17	0,24	8,17	2,91	
Uso y cobertura del suelo - 2021		ZCUF	ZIC	ZPCRBN	ZITR	ZPU	ZPPRH	ZPPHRH
Área (ha)	Suelo desnudo		16,3					
		2,63	5	-	1,17	-	-	0,01
	Silvicultura	5,01	1,65	34,42	5,37	0,14	0,15	0,20
	Pastizales	196,73	65,8		49,6	43,9		
			5	63,78	1	6	171,83	183,37
	Bosque nativo		12,1		17,6			
		14,85	7	0,67	5	2,23	61,00	13,37
	Cultivo permanente	5,20	-	21,92	1,71	0,06	-	0,01
	Cultivo temporal	1043,88	6,50	0,69	4,13	32,7	3	8,44
Área urbana		72,6			67,3			
	22,09	7	0,57	8,71	9	0,09	0,29	
Recursos hídricos	12,53	4,80	0,00	0,17	0,24	8,16	2,91	

Tabla 2: Uso y cobertura del suelo de 2016 x Zonificación Ecológico-Económica y Uso y cobertura del suelo de 2021 x Zonificación Ecológico-Económica. Dónde: ZCUF = Zona consolidada de uso agroforestal, ZIC = zona industrial consolidada, ZPCRBN = zona de protección de campos y remanentes de bosques nativos, ZITR = zona de interés turístico y recreativo, ZPU = zona perimetral urbana, ZPPRH = zona de preservación permanente de recursos hídricos, ZPPHRH = zona de preservación permanente de humedales. Fuente: los autores.

Referencias

Bertê, Ana Maria de Aveline and Lemos, Bruno de Oliveira and Testa, Grazieli and Zanello, Marco Antonio Rey and Oliveira, Suzana Beatriz de. «Perfil Socioeconômico -

- COREDE Serra.» Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, 2016: 774–821.
- Bertoni, José and Lombardi Neto, Francisco. «Conservação do Solo.» São Paulo, 2012.
- Brasil. Ley n. 6.938 de 31 de agosto de 1981. «Contempla la Política Nacional de Medio Ambiente, sus propósitos y mecanismos de formulación y aplicación, y brinda otras medidas.» Brasília, 1981.
- Brasil. «Constitución de la República Federativa de Brasil de 1988.» Brasília, 1988.
- Brasil. «Ley n. 10.257 de 10 de julio de 2001. Regula los art. 182 y 183 de la Constitución Federal, establece lineamientos generales de política urbana y toma otras medidas.» Brasília, 2001.
- Brasil. «Decreto n. 4.297 de 10 de julio de 2002. Regula el art. 9 inciso II de la Ley 6.938, de 31 de agosto de 1981, que establece criterios para la ZEE de Zonificación Ecológico-Económica, y otras medidas.» Brasília, 2002.
- Brasil. «Ley n. 12.651, de 25 de mayo de 2012. Regula la protección de la vegetación nativa y otras medidas.» Brasília, DF, 2012.
- Büttenbender, Pedro Luís and Siedenberg, Dieter Rugard and Allebrandt, Sérgio Luís. «Conselhos Regionais de Desenvolvimento – Coredes/RS: Articulações regionais, referenciais estratégicos e considerações críticas.» I Circuito de Debates Acadêmicos, 2011.
- Costa, Lucio. «Brasília 57-85: do plano-piloto ao Plano Piloto.» Terracap, 1985.
- Ferreira, Susane Cristini Gomes and Lima, Aline Maria Meiguins de and Corrêa, José Augusto Martins. «Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará): usos da água e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo.» Revista Ambiente e Água, (2017): 680–693.
- IBGE. «IBGE Cidades - Vacaria. » 2016.
- Lillesand, Thomas M. and Kiefer, Ralph W. and Chipman, Jonathan W. «Remote sensing and image interpretation.» J. WileySons, 2008.
- Lima, Cibele Oliveira and Oliveira, Regina Celia de. «Proposta de zoneamento geoambiental para o município de Caraguatatuba – SP.» Geosul, 2018: 140–161.
- Longley, Paul A. and Goodchild, Michael F. and Maguire, David J. and Rhind, David W. «Sistemas e Ciência da Informação Geográfica.» Bookman, 2012.
- Mendonça, Helena Furtado Pessoa de and Paterlini, Ewerton Mattos and Oliveira, Felício Santos de and Barbosa, Renan Pereira and Santos, Alexandre Rosa dos. «Estimativa de perda de solo por erosão laminar para o Município de Iconha, estado do Espírito Santo.» Enciclopédia Biosfera, 2014: 1027–1038.
- Moreira, Maurício Alves. «Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.» UFV, 2005.

- Nobre, Mayra Fernandes. «O Zoneamento Ecológico-Econômico como instrumento de planejamento e gestão ambiental: uma proposta para a bacia hidrográfica do rio Corumbataí (SP).» Universidade Estadual Paulista, 2008.
- Pereira, Priscilla da Silva and Fernandes, Lia Amorim Chaves and Oliveira Jaime Lopes da Mota and Baptista, Darcilio Fernandes. «Avaliação da integridade ecológica de rios em áreas do zoneamento ecológico econômico do complexo hidrográfico Guapiaçu-Macacu, RJ, Brasil.» *Ambi-Agua*, 2012: 157–168.
- Pires, Hindenburgo Francisco. «Planejamento e intervenções urbanísticas no Rio de Janeiro: a utopia do plano estratégico e sua inspiração catalã.» *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2012:1–19.
- Ross, Jurandyr Luciano Sanches. «Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados.» *Revista do Departamento de Geografia*, 1994: 63–74.
- Silva Neto, João Cândido André da. «Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do Rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS.» *RAEGA*, 2014: 119–142.
- SNIS. «Água e Esgoto: Diagnóstico.» 2015.
- Thomas, Bruna Letícia. «Proposta de zoneamento ambiental para o município de Arroio do Meio – RS.» *RAEGA*, 2012: 199–226.
- Vacaria. «Ley n.2.414 de 08 de enero de 2007. Prevé la protección de la cuenca de captación del Arroio da Chácara.» Vacaria, RS, 2007.
- Vacaria. «Ley n. 4.653 de 11 de agosto de 2020. Instituir el Plan Maestro de la cuenca de captación del Arroyo Chácara y dar otros arreglos.» Vacaria, RS, 2007.
- Wischmeier, Walter H. and Smith, Dwight D. «Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.» Beltsville, 1978.